

Jean Staune

Préface de Trinh Xuan Thuan

Notre existence a-t-elle un sens ?

Une enquête scientifique et philosophique



PRESSES
DE LA
RENAISSANCE

Notre existence a-t-elle un sens ?

Sous la direction du même auteur

Science et quête de sens, Presses de la Renaissance, 2005.
L'homme face à la science, Critérion, 1992.

Jean STAUNE

Notre existence a-t-elle un sens ?

Une enquête scientifique et philosophique

Préface de TRINH XUAN THUAN

Postface de Dominique LAPLANE

Présentation de l'ouvrage par Bernard d'Espagnat
à l'Académie des sciences morales et politiques

PRESSES
DE LA
RENAISSANCE



Ouvrage réalisé
sous la direction éditoriale d'Alain NOËL

Si vous souhaitez être tenu(e)
au courant de nos publications,
envoyez vos nom et adresse, en citant ce livre,
aux Éditions des Presses de la Renaissance,
12, avenue d'Italie, 75013 Paris.
Et, pour le Canada,
à Interforum Canada inc.,
1055, bd René-Lévesque Est,
11^e étage, bureau 1100,
H2L 4S5 Montréal, Québec.

Consultez notre site Internet :
www.presses-rennaissance.fr

ISBN 978.2.85616.969.8
© Presses de la Renaissance, Paris, 2007.

*À ma mère, Nicole Staune, qui a soutenu mes efforts
tout au long des dix-neuf années de recherches
qui ont fourni la base de cet ouvrage.
À ma femme Danya Qing,
qui m'a donné l'énergie de mener ce travail à son terme.*

Préface

Depuis les temps les plus reculés, et à travers toutes les cultures, l'homme a essayé de conjurer son angoisse des espaces infinis en organisant les fragments d'information sur le monde extérieur en un schéma unifié et cohérent. Les univers se sont ainsi succédé et la représentation du cosmos a pris des formes diverses à travers le temps et l'histoire. Il y a quelques dizaines de milliers d'années, l'homme vivait dans un univers magique peuplé d'esprits : l'esprit Soleil pendant le jour, les esprits Lune et étoiles pendant la nuit, l'esprit pierre contre lequel on butait et auquel on demandait pardon, l'esprit rivière qui coulait à flots, bref un univers réconfortant et familier, à la mesure de l'homme. Avec l'accumulation du savoir, l'innocence disparut. L'homme perçut de plus en plus la complexité des phénomènes qui l'entouraient et son insignifiance et son impuissance face à l'immensité de l'Univers. Il y a environ dix mille ans, l'univers magique humain se mua en un univers mythique surhumain sur lequel régnaient les dieux. Les esprits se retirèrent des arbres, des fleurs et des rivières. Tout phénomène naturel, y compris la création de l'Univers, était la conséquence des actions de ces dieux, de leurs amours et accouplements, de leurs haines et guerres. Avec l'univers mythique, la religion fit son entrée. La communication avec les dieux ne pouvait plus se faire directement, comme c'était le cas avec les esprits dans l'univers magique, mais par l'intermédiaire d'individus privilégiés, les prêtres. Cette association cosmologie-religion dura près de trois millénaires jusqu'à ce que l'univers scientifique vienne supplanter l'univers mythique. Vers le VI^e siècle av. J.-C., survint le « miracle grec ». En plein milieu de l'univers mythique, une poignée d'hommes extraordinaires eut l'intuition révolutionnaire que le monde pouvait être disséqué en ses différentes composantes, que celles-ci étaient régies

par des lois qui pouvaient être appréhendées par la raison humaine. Il n'était plus question d'observer les phénomènes naturels sans les comprendre, ni de s'abandonner aveuglément aux dieux. Cet univers scientifique est encore le nôtre aujourd'hui.

Les Grecs pensaient que la Terre était le centre du monde. Cet univers géocentrique a régné en maître pendant plus de vingt siècles jusqu'en 1543, quand Copernic délogea la Terre de sa place centrale dans l'Univers. Commença alors l'inexorable rapetissement de l'homme à la fois dans l'espace et dans le temps. L'Univers devint mécanique et déterministe avec l'introduction de la loi de la gravitation universelle en 1687 par Newton. À la fin du XVII^e siècle, l'homme avait la vision d'un univers infini dont il n'était plus le centre (Newton pensait que si l'Univers possédait des limites, il devrait posséder un centre. La gravité ferait alors tout s'effondrer vers ce centre, ce qui n'était pas conforme aux observations). Rendu insignifiant dans ce vaste univers, l'homme occidental du XIX^e siècle se consolait en songeant à sa filiation céleste. Après tout, il était le descendant d'Adam et Ève. Même en ayant perdu sa place centrale dans l'Univers, il restait l'enfant chéri de Dieu. Charles Darwin ne lui laissa même pas cette consolation. En publiant en 1859 son *Origine des espèces*, le naturaliste montre que les origines de l'homme étaient beaucoup moins nobles. En remontant le temps, ses ancêtres étaient tour à tour des primates, des reptiles, des poissons, des invertébrés pour aboutir aux cellules primitives. L'âge de l'Univers, que Newton avait évalué à 6 000 ans, fut remis en question. L'évolution biologique nécessitait des milliards d'années pour opérer, une échelle de temps confirmée par les études géologiques. L'Univers, qui s'était agrandi dans l'espace, s'agrandissait à présent dans le temps. Les découvertes de la fin du XIX^e siècle et du XX^e siècle ont continué à diminuer la place de l'homme dans l'Univers. L'arpentage de la Voie lactée montra que celle-ci avait la forme d'un disque de 90 000 années-lumière de diamètre et que le Soleil n'était qu'une étoile parmi les centaines de milliards d'étoiles de la Voie lactée. La taille du système solaire s'était réduite à un milliardième de celle de notre galaxie, comparable au rapport qu'a la taille d'une amibe avec celle de l'océan Pacifique ! De nouveau, l'ego démesuré de l'homme l'amena à penser que si la Terre n'était pas au centre du monde, sûrement notre astre devait être au centre de la Voie lactée (celle-ci consti-

tuait, jusqu'à nouvel ordre, l'Univers tout entier). Patatras ! Les astronomes démontrent que le Soleil n'est qu'une simple étoile de banlieue, située à un peu plus de la moitié du rayon du disque galactique, vers le bord. Le fantôme de Copernic a continué à frapper. En 1923, Edwin Hubble démontre l'existence d'autres galaxies, bien au-delà des limites de la Voie lactée. Le cosmos s'agrandissait de plus en plus et, bientôt, notre galaxie allait se perdre dans l'immensité de l'Univers tout comme le système solaire s'était déjà perdu dans l'immensité de la Voie lactée. Aujourd'hui, elle n'est plus qu'une galaxie quelconque parmi les centaines de milliards de galaxies qui peuplent l'univers observable.

Les télescopes les plus puissants sur terre et dans l'espace peuvent maintenant capturer la lumière de galaxies lointaines situées à une distance d'une dizaine de milliards d'années-lumière environ. Parce que la lumière met du temps pour nous parvenir, voir loin, c'est voir tôt. La lumière de la Lune nous parvient après un peu plus d'une seconde, celle du Soleil après huit minutes, celle de la plus proche étoile après quatre années, celle de la plus proche galaxie semblable à la Voie lactée (Andromède) après plus de deux millions d'années (en d'autres termes, la lumière est partie d'Andromède à peu près au moment où le premier homme marchait sur terre, quelque part en Afrique), celle de l'amas de galaxies le plus proche après cinquante millions d'années, et ainsi de suite. C'est en utilisant les télescopes comme des machines à remonter le temps que les astronomes ont pu reconstituer l'histoire de nos origines. Nous disposons aujourd'hui d'une grande fresque historique, toujours magnifique et sans cesse envoûtante. Jamais cette histoire de nos origines ne fut déployée sur un temps si long, ni dans un espace si vaste. Nous pensons aujourd'hui que l'Univers est né dans une déflagration fulgurante appelée « big bang » qui a donné naissance à l'espace et au temps, il y a quelque quatorze milliards d'années. Depuis, sans relâche, se poursuit l'ascension vers la complexité. À partir du vide microscopique primordial, l'Univers a créé la purée initiale des particules élémentaires. Les noyaux atomiques des éléments les plus simples et les plus légers dans la nature, l'hydrogène et l'hélium, sont apparus dès la troisième minute après le big bang. Mais à cause de l'expansion de l'Univers et de sa dilution, les éléments lourds nécessaires à la vie et à la conscience ne peuvent pas se former dans l'univers primordial. Pour échapper à la stérilité, l'Univers a alors inventé les étoiles. Ce

sont elles qui, par leur merveilleuse alchimie nucléaire, sont responsables des éléments chimiques complexes nécessaires à la vie et à la conscience. Il y a quelque 4,55 milliards d'années, dans une galaxie nommée Voie lactée, parmi les quelque cent milliards de galaxies de l'univers observable, un nuage interstellaire s'effondre sous l'effet de sa gravité pour donner naissance au Soleil et à son cortège de huit planètes. Sur la troisième planète à partir du Soleil, appelée Terre, la vie s'est éveillée il y a quelque 3,8 milliards d'années. Le premier hominidé a marché sur terre il y a quelque 3,5 millions d'années, il a inventé le premier outil il y a 2,5 millions d'années. La pensée réflexive et symbolique a surgi il y a quelque 200 000 ans avec l'*homo sapiens*. L'homme est désormais capable de s'émerveiller devant la beauté et l'harmonie du cosmos, et de se poser des questions sur l'Univers qui l'a engendré. Les dessins rupestres de la grotte de Chauvet apparaissent il y a quelque 30 000 ans, et la civilisation voit le jour il y a quelque 3 000 ans. La place de l'homme dans l'histoire cosmique s'est considérablement rapetissée. Si nous imaginions un calendrier cosmique où les quatorze milliards d'années de l'Univers étaient comprimées en une seule année, tout le développement de l'espèce humaine se déroulerait seulement pendant les deux dernières heures de l'année. Les premiers humains se mettraient à marcher seulement à 21 h 49 le soir du 31 décembre. Le symbolisme et le sens de l'abstraction apparaîtraient chez l'*homo sapiens* seulement pendant la dernière minute de l'année. Il commencerait à fabriquer des outils en pierre à 23 h 59 mn 26 s et inventerait l'agriculture à 23 h 59 mn 37 s. L'astronomie verrait le jour à 23 h 59 mn 50 s, suivie de près par l'alphabet à 23 h 59 mn 53 s et par la métallurgie du fer à 23 h 59 mn 58 s. La Renaissance et l'avènement de la science expérimentale surviendraient seulement dans la dernière seconde de l'année, à 23 h 59 mn 59 s.

Face à cette réduction de la place occupée par l'homme, à la fois dans l'espace et dans le temps, un certain désenchantement s'est produit. Certains avancèrent que l'émergence de l'intelligence et de la conscience dans l'Univers n'était qu'un simple fait dû au hasard, qu'un accident de parcours dans la longue marche de l'Univers. Celui-ci n'avait que faire de notre présence. Il s'en souciait comme d'une guigne. La réponse à la question posée par le titre de ce livre est négative : notre existence n'a aucun sens. Cette réduction de la conscience humaine au néant plongea quelques-uns dans une profonde détresse. À l'immense cri d'angoisse poussé par Blaise Pascal

au XVII^e siècle : « Le silence éternel des espaces infinis m'effraie », répondent trois siècles plus tard les visions pessimistes – mentionnées par Jean Staune dans son introduction – du biologiste français Jacques Monod : « L'homme est perdu dans l'immensité indifférente de l'Univers d'où il a émergé par hasard » et du physicien américain Steven Weinberg : « Plus on comprend l'Univers, plus il nous apparaît vide de sens. » Tout comme l'auteur de ce livre, je ne suis pas d'accord avec cette vision désespérante du monde. Je suis d'avis, au contraire, que les nouvelles découvertes scientifiques et leurs implications métaphysiques, dont ce livre se fait largement l'écho, ont réenchanté le monde. D'abord parce que la cosmologie moderne a redécouvert l'ancienne alliance entre l'homme et le cosmos. Parce que nous sommes tous faits de poussière d'étoiles, parce que nous sommes tous constitués d'éléments lourds fabriqués par l'alchimie nucléaire des astres, nous partageons la même généalogie cosmique que les gazelles des savanes et les nymphéas des étangs. Ensuite, parce que les découvertes scientifiques du dernier siècle, aussi bien en physique, en astrophysique, en biologie, en neurobiologie, en paléontologie qu'en mathématiques, ont donné une vision plus enchantée et plus exubérante du monde. Le siècle passé a bouleversé notre façon de concevoir le monde comme le montre Jean Staune dans cet ouvrage, de façon synthétique, claire et concise.

En physique, après avoir dominé la pensée occidentale pendant trois cents ans, la vision newtonienne d'un univers fragmenté, mécaniste et déterministe a fait place à celle d'un monde holistique, indéterminé et débordant de créativité. Pour Newton, l'Univers n'était qu'une immense machine composée de particules matérielles inertes, soumises à des forces aveugles. À partir d'un petit nombre de lois physiques, l'histoire d'un système pouvait être tout entière expliquée et prédite si l'on pouvait le caractériser à un instant donné. Laplace exprime ainsi le credo déterministe : « Pour une intelligence qui embrasserait dans la même formule les mouvements des plus grands corps de l'Univers et ceux du plus léger atome, rien ne serait incertain pour elle, et l'avenir comme le passé seraient présents à ses yeux. » L'Univers était enfermé dans un carcan qui lui ôtait toute créativité et lui interdisait toute innovation. C'était un monde où le réductionnisme régnait en maître. Il suffisait de décomposer tout système complexe en ses éléments les plus simples et d'étudier le comportement de ses parties pour comprendre le tout.

Car le tout n'était ni plus ni moins que la somme des composantes. Ce déterminisme contraignant et stérilisant, ce réductionnisme rigide et déshumanisant prévalurent jusqu'à la fin du XIX^e siècle. Ils furent bousculés, transformés et, en fin de compte, balayés par une vision beaucoup plus exaltante et libératrice au cours du XX^e siècle. Avec l'avènement de la mécanique quantique, le hasard est entré en force dans le monde subatomique. Et à l'ennuyeuse certitude déterministe se substitua la stimulante incertitude du flou quantique. Le réductionnisme étroit et simpliste fut balayé et la réalité morcelée et localisée devint holistique. Si deux particules de lumière ont interagi, elles se souviennent l'une de l'autre et l'une sait instantanément ce que fait l'autre sans aucune transmission d'information, même si elles sont à deux extrémités de l'Univers. La réalité dans le monde subatomique est non locale et non séparable. La matière elle-même a perdu sa substance : les particules élémentaires ne forment plus qu'un monde de potentialités ou de possibilités, plutôt que de choses et de faits. Ainsi un photon n'a pas d'existence intrinsèque : il prend à sa guise l'aspect d'une onde ou d'une particule selon que l'instrument de mesure est activé ou non. En d'autres termes, la nature du réel dépend de l'observateur. Le monde macroscopique n'a pas non plus été épargné. Avec la théorie du chaos, le hasard, l'indétermination et l'imprédictibilité envahirent non seulement la vie quotidienne, mais aussi le domaine des planètes, des étoiles et des galaxies. En progressant, la science a commencé à percevoir ses limites : elle s'est rendu compte que, au-delà du réel accessible aux instruments de mesure et aux méthodes d'investigation qui lui sont propres, il existe ce que Bernard d'Espagnat appelle un « réel voilé » auquel elle n'a pas directement accès. Cette limite des méthodes scientifiques se retrouve dans le raisonnement logique. Gödel démontra un théorème magique, appelé « théorème d'incomplétude », selon lequel il n'est pas possible de démontrer par la logique qu'un système est cohérent en restant à l'intérieur de ce système. Pour le faire, il faut en sortir. Gödel démontre aussi qu'un système d'arithmétique cohérent et non contradictoire contient inévitablement des propositions « indécidables », c'est-à-dire des énoncés mathématiques dont on ne pourra jamais dire par la logique s'ils sont vrais ou faux.

Incertitude, indétermination, imprédictibilité, incomplétude, indécidabilité : la science sait désormais qu'elle ne peut pas tout

PRÉFACE

savoir. Pour aller jusqu'au bout du chemin et accéder à la réalité ultime, il nous faut faire appel à d'autres modes de connaissance, comme l'intuition mystique ou spirituelle, informés et illuminés par les découvertes de la science moderne. La science et la spiritualité sont deux fenêtres complémentaires qui permettent à l'homme d'appréhender le réel. Jean Staune nous a rendu un immense service en réalisant cette superbe synthèse des implications métaphysiques de la science contemporaine, qui met en lumière cette complémentarité. La science se doit de reprendre sa place dans le giron de la culture humaine. Elle s'en est trop éloignée dans le passé à cause d'une vision par trop matérialiste, fragmentée, réductionniste et mécaniste. Ce n'est plus le cas à l'heure actuelle comme ce livre nous le montre amplement.

TRINH XUAN THUAN
Charlottesville, février 2007

I

La question la plus importante qui soit

Le désenchantement du monde (et de l'homme !)

« Tout ce qui existe dans l'Univers
est le fruit du hasard et de la nécessité. »

Démocrite

Pendant des millénaires, l'homme, face aux phénomènes inexplicables qu'il voyait autour de lui – tempêtes, volcanisme, tonnerre, maladies, etc. –, ne pouvait faire autrement que d'en attribuer la cause à l'action de forces invisibles qui, bien que ne faisant pas partie du monde, avaient un effet sur le monde.

C'est ainsi que naquirent les dieux. L'existence de sépultures où l'on déposait des offrandes de nourriture semble montrer qu'à ce premier concept s'en est très vite ajouté un deuxième : celui de la survie de l'homme après la mort. Après tout, cela est parfaitement logique : puisque le monde est constamment agité par les conséquences des actes d'esprits invisibles, impliquant l'existence d'un autre niveau de réalité que celui que nous percevons et où nous vivons, pourquoi ne pas penser que, tout comme nous sommes apparus un jour dans ce monde (puisque l'on constate l'arrivée d'êtres qui n'étaient pas là auparavant), lorsque nous le quittons, une forme de survie existe ?

Toutes les grandes traditions religieuses de l'humanité ont repris ces deux concepts :

Le monde où nous vivons ne peut être compris à partir de lui-même. Il y a une incomplétude radicale de ce monde : sans l'intervention des esprits, des dieux ou de Dieu, il n'y a pas d'explication cohérente du monde qui tienne. Il est donc nécessaire de faire appel à un autre niveau de réalité dont on ne sait presque rien... sauf qu'il doit forcément exister.

Et s'il y a un autre niveau de réalité, une autre façon d'exister que celle que nous éprouvons tous les jours, il est logique de penser que nous rejoignons ce niveau après notre mort.

L'existence d'un autre niveau de réalité et l'existence d'un lien particulier entre l'homme et cet autre niveau apparaissent donc comme les intuitions majeures de l'humanité, celles qui furent présentes en tout temps et en tout lieu.

Il y a deux mille cinq cents ans, à l'aube du développement de la pensée rationnelle, il n'est donc pas surprenant de voir que ce sont ces deux intuitions que vont attaquer frontalement les premiers philosophes matérialistes. Leur but était noble, comme le montre cette analyse de Bernard Pullman : « La crainte devant les mystères du cosmos et les manifestations impressionnantes de la nature et la peur, plus obsédante, de la mort, sont les compagnes inséparables des humains, et aucun bonheur véritable n'est possible aussi longtemps que leurs ombres se projettent sur notre existence. Il faut donc se délivrer de ces craintes. Or, quel meilleur moyen d'y parvenir que de montrer que ces mystères et ces manifestations sont explicables en termes d'une physique résolument et strictement mécaniste, dépourvue de toute finalité, ne mettant en jeu que des principes matériels et leurs interactions ? Une telle élucidation des causes des phénomènes naturels, dont la mort même n'est qu'un échantillon, doit servir de fondement à la construction d'une morale conduisant à la sagesse et au bien-être¹. »

Ainsi, c'est pour délivrer leurs contemporains de la peur qui découlait de leur croyance selon laquelle leur destin dépendait entièrement du bon vouloir des dieux que Démocrite, Leucippe, Épicure vont développer la première « théorie atomique » expliquant la genèse du monde complexe dans lequel nous vivons par l'interaction aléatoire de composants élémentaires : les atomes.

Les dieux existent peut-être, mais ils n'interagissent nullement avec le monde, contrairement à ce que stipulaient toutes les conceptions antérieures (non seulement celles de l'*Illiade* et de l'*Odyssée*, mais également celles qui existaient depuis des milliers d'années), il n'y a donc pas lieu de les craindre, et cela parce que le monde suffit pour expliquer le monde.

1. Bernard Pullman, *L'atome*, Fayard, 1995.

Le rejet de la deuxième intuition en découle logiquement. Pour Épicure, « les châtiments dans l'enfer ne sont pas à craindre parce que les âmes périssent après la mort et que l'enfer n'existe pas du tout », et Lucrèce affirme : « Quand nous ne serons plus, quand sera consommée la séparation du corps et de l'âme dont l'union constitue notre être, il est clair que rien absolument ne pourra nous atteindre, nous qui ne serons plus. » Ainsi débarrassé de la peur des dieux qui ne peuvent intervenir dans les affaires du monde et de la peur de la mort – puisqu'il n'y a rien au-delà à espérer ou à redouter –, l'homme peut mener une vie sage et responsable.

Il est tout à fait extraordinaire de constater comment les siècles qui précèdent le nôtre ont apporté de l'eau au moulin de ce qui, il y a deux mille cinq cents ans, n'était alors qu'une hypothèse et qui fut considéré pendant deux mille ans comme une spéculation plus ou moins extravagante, en particulier à partir du moment où le christianisme s'est développé et a distingué avec force le Créateur de la créature. Non, le tonnerre n'est pas une colère de Zeus ; non, une bonne récolte n'est pas le fruit d'une récompense divine, mais de conditions climatiques favorables alliées à une bonne exécution des tâches agricoles ; non, les grandes épidémies ne sont pas des punitions, mais sont liées à la propagation des microbes ou des virus ; non, l'homme n'est pas physiologiquement différent d'un animal, etc.

Toutes les grandes découvertes effectuées depuis la Renaissance jusqu'à l'aube du XX^e siècle ont ainsi confirmé de façon éclatante cette intuition selon laquelle les événements se produisant dans notre monde physique pouvaient être expliqués à partir de causes provenant elles aussi du monde physique. Ainsi, Dieu n'intervenait pas dans le monde et dès le XVII^e siècle, redécouvrant Démocrite et le dépassant grâce à l'avalanche des découvertes scientifiques, des philosophes affirmèrent que Dieu était une hypothèse inutile.

Jean Fourastié décrit la façon dont la vision du monde de l'ensemble de la société en fut petit à petit affectée : « La science du XIX^e siècle et du début du XX^e reste ainsi dominée non seulement par l'espoir mais par la certitude d'expliquer par le réel tout le réel [...] Le mouvement de discrédit des surnaturels (populaires et savants) né des premières découvertes de la science expérimentale s'étendit en effet à la grande majorité de la population.

Des académies des sciences, l'esprit nouveau passa dans les académies littéraires, dans les cerveaux des poètes, des artistes, des publicistes, des romanciers, des journalistes ; et de là, successivement, dans ceux du grand public : bourgeois, fonctionnaires, instituteurs, puis dans les classes populaires urbaines, et enfin, à une date plus récente, dans les campagnes [...] Tout ce mouvement, ces causes et ces effets peuvent être rattachés directement ou indirectement au progrès des sciences expérimentales : directement par l'exclusion affirmée de Dieu, hypothèse inutile, et du "surnaturel", inobservé, jugé inobservable, attribué donc à l'illusion, à la naïveté primitive de l'âge préscientifique, à la superstition ; indirectement par le spectacle permanent de l'efficacité scientifique opposée à celle de la foi qui, malgré la formule célèbre, n'a jamais (?) transporté de montagnes¹. »

Dans les années 1900, nous semblons ainsi arriver à une « fin de l'histoire ». C'est l'époque des certitudes. Certitudes matérielles comme celles qui firent graver « repas à 2 F » sur les vitres des restaurants tant on était sûr que les prix n'augmenteraient pas.

Certitudes intellectuelles comme celles qui firent dire à lord Kelvin, l'un des plus grands physiciens du XIX^e siècle : « La physique a fourni une description cohérente et *a priori* complète de l'Univers. »

Ces certitudes étaient fondées sur une vision du monde où, dans un espace euclidien à trois dimensions, stable et éternel – ce qui rend sans signification la question de son origine –, se meut la Terre qui contient des êtres vivants issus d'une évolution due au hasard et à la sélection naturelle, où la conscience de l'homme est sécrétée par le cerveau comme la bile par le foie et où tout cela est composé de matière, c'est-à-dire de petits corpuscules tournant autour de noyaux comme la Terre autour du Soleil.

Tout ce qui existe est issu des interactions entre ces corpuscules qui, au cours de milliards d'années, se sont lentement agrégés les uns aux autres sous l'influence des lois physico-chimiques connues ou de lois que l'on découvrira bientôt. Certes, ce qui reste encore à découvrir est immense, mais l'essentiel est acquis : la cause de tout ce qui existe dans notre Univers provient de notre Univers lui-même. Comment pourrait-il en être autrement ? De quel autre endroit pourrait-elle provenir ? « Circulez, il n'y a rien (d'autre) à voir ! » nous dit la « science classique »,

1. Jean Fourastié, *Ce que je crois*, Grasset, 1981, p. 123.

rien d'autre que cet Univers, que ce niveau de réalité dans lequel nous vivons, immergés dans le temps, l'espace et la matière. Nous sommes donc bien arrivés à une fin, dans cette grande quête de la compréhension de la condition humaine que l'homme poursuit depuis les grottes du Pléistocène jusqu'aux laboratoires des scientifiques du XIX^e siècle, en passant par les penseurs grecs.

Cela est simple et sans mystère. L'homme arrive à concevoir le monde dans sa totalité, et il n'y a plus, dans cette conception, la moindre place pour l'existence d'une dimension transcendante, d'un autre niveau de réalité.

Comme le dit très joliment Trinh Xuan Thuan : « Le fantôme de Copernic n'a pas cessé de nous hanter¹. » Non seulement la Terre n'est pas au centre du monde, non seulement le Soleil n'est qu'une « étoile de banlieue » dans notre galaxie, mais notre galaxie elle-même n'est qu'une galaxie standard parmi des milliards d'autres. Cette « décentration » qui interdit à l'homme de prétendre être au centre de l'Univers se poursuit encore dans d'autres domaines. Darwin nous montre que l'homme n'est qu'un animal parmi d'autres et qu'il ne peut pas plus revendiquer une place centrale dans le monde de la biologie que dans celui de l'astronomie.

Puis, la psychanalyse et la notion d'inconscient conduiront à affirmer que l'homme n'étant pas au centre du monde, il n'est pas non plus au centre de lui-même, puisqu'une grande partie de ses actes sont dictés par quelque chose dont justement il n'est pas conscient. Avec une grande lucidité (et une grande immodestie !), Freud en arrivera à parler de la « triple humiliation » infligée à l'homme par Copernic, Darwin et... Freud !

Un tel Univers ne peut avoir de sens, et déjà Ernest Renan annonce l'ère « positive », celle où une humanité lucide, débarrassée des superstitions ancestrales telles que les religions, se retrouvera seule face à son destin.

Dieu (ou les dieux ou les esprits – Jacques Monod regroupera ces trois concepts sous le vocable « animisme ») semble ainsi expulsé de l'histoire parce qu'il n'existe aucune raison objective de croire en l'existence d'un autre niveau de réalité. Certes, de nombreux croyants subsistent, y compris parmi les grands esprits scientifiques. Mais ceux-ci sont obligés de séparer leur science de leur foi (on les appelle ainsi des « séparationnistes »). On peut croire ce

1. Trinh Xuan Thuan, *La mélodie secrète*, Fayard, 1988.

que l'on veut à titre personnel, mais cela n'a aucun lien avec la connaissance objective. Dieu devient un concept vague et ne saurait entrer en interaction avec le monde (comme le dit un grand scientifique chrétien, « depuis que l'on a énoncé les lois de la gravitation, on rapporte beaucoup moins de miracles de lévitation ! »).

La diffusion de cette vision du monde, issue de l'évolution des sciences, a eu, au cours du XX^e siècle, un énorme retentissement artistique, intellectuel, philosophique (tel le développement de la philosophie de l'absurde, par exemple), tous ces domaines connaissant une progression du « non-sens » qui ne fut pas non plus sans influence en matière d'éthique.

Il est absolument fascinant de mettre face à face les objectifs du projet d'explication du réel par le réel tels qu'ils étaient énoncés par certains philosophes grecs (libérer l'homme de la peur, des dieux et de l'au-delà pour lui permettre de mener une vie sage et responsable), et le résultat de cette démarche tel qu'il est énoncé deux mille cinq cents ans plus tard par l'un des scientifiques matérialistes les plus influents, le « pape de la sociobiologie », Edward Wilson, professeur à Harvard, à la fin de son ouvrage majeur, *La sociobiologie* : « Quand nous aurons suffisamment progressé pour nous expliquer en ces termes mécanistes, et que les sciences sociales seront totalement épanouies, le résultat auquel nous nous trouverons confrontés risque de ne pas être aisé à accepter. Il semble donc approprié d'achever ce livre ainsi qu'il a commencé, avec ce sombre pressentiment d'Albert Camus : "Un monde qui peut être expliqué, fût-ce par de mauvaises raisons, est un monde familier. Mais, en revanche, dans un univers privé d'illusions et de lumière, l'homme se sent un étranger. Son exil est sans remède étant donné qu'il est privé du souvenir d'un foyer perdu ou de l'espoir d'une terre promise." C'est malheureusement exact. Mais nous disposons encore d'une centaine d'années¹. »

Ainsi, au terme du processus, ne se trouve que le désespoir absolu, et Wilson consent tout juste à nous donner un sursis d'une centaine d'années avant que nous y plongions définitivement !

Mais il n'y a pas que le désespoir. Comme nous vivons à une époque où (fort heureusement) la question des droits de l'homme est au centre des débats de société et comme tout notre

1. Edward Wilson, *La sociobiologie*, Éditions du Rocher, 1987, p. 582.

enseignement et tout notre environnement culturel stipulent que nous sommes les héritiers des Lumières qui ont dissipé les « ténèbres de l'obscurantisme », nous n'arrivons pas à percevoir clairement le potentiel d'« antihumanisme » que recèlent les progrès qu'ont acclamé tant d'humanistes.

Jacques Monod, après avoir décrit le « désenchantement du monde » en ces termes : « L'ancienne alliance est rompue, l'homme sait enfin qu'il est seul dans l'immensité indifférente de l'Univers d'où il a émergé par hasard¹ », militait encore, à la fin de son livre *Le hasard et la nécessité*, pour un « humanisme socialiste réellement scientifique », qui avait encore moins de liens avec la vision du monde qu'il avait développée au cours de son ouvrage, qu'il n'en existe entre la foi des séparationnistes chrétiens et leur appréhension scientifique du monde. Mais ceux qui osent aller jusqu'au bout de leur démarche tombent le masque et nous révèlent qu'elle débouche sur la fin de toute forme d'humanisme envisageable, qu'il s'agisse de l'humanisme chrétien de la Renaissance ou de l'humanisme matérialiste issu des Lumières.

Michel Foucault nous avait déjà prévenus (« L'homme n'a pu se constituer en objet de la science qu'en se référant à sa propre destruction² ») : le désenchantement du monde débouche sur celui de l'homme. Le prix Nobel Steven Weinberg, qui a exprimé ce désenchantement dans une phrase célèbre : « Plus nous comprenons le Monde, plus il nous semble dépourvu de signification³ », abonde en ce même sens et cite un autre astrophysicien, Jim Peebles, de Princeton : « Je suis porté à croire que nous ne sommes que des débris de bois flottant à la surface de la mer⁴... » Car si l'Univers n'a pas de sens, peut-on vraiment affirmer que l'homme peut s'en inventer un à lui-même ?

Ainsi, Marvin Minsky, l'un des pionniers de l'intelligence artificielle, nous dit que « les ordinateurs de la prochaine génération seront tellement intelligents que nous aurons de la chance s'ils nous acceptent auprès d'eux comme animaux de compagnie ». Hans Moravec, l'un des principaux spécialistes de la robotique,

1. Jacques Monod, *Le hasard et la nécessité*, Seuil, coll. « Points », 1973, p. 225.

2. Michel Foucault, *Naissance de la clinique*, PUF, 2003, p. 199.

3. Steven Weinberg, *Les trois premières minutes de l'univers*, Seuil, 1978, p. 179.

4. Steven Weinberg, *Le rêve d'une théorie ultime*, Odile Jacob, 1997, p. 227.

spécule, quant à lui, à propos de la façon dont on remplacera les différents organes du corps – y compris le cerveau (!) – par des robots, soutenu en cela par le biologiste Richard Dawkins qui annonce, après l'ère des êtres vivants, êtres fondés sur les gènes, l'ère des machines, fondée sur les « mêmes » (quantité d'information). Quant à Ruiz de Gopegui, élève de Minsky, il n'hésite pas à affirmer : « La liberté est une illusion, on n'est pas intelligent ou sot, mais bien ou mal programmé. Avec les libertés individuelles disparaîtront les libertés civiles et politiques. »

Francis Crick, prix Nobel de médecine, nous dit : « L'hypothèse stupéfiante, c'est que "vous", vos joies et vos peines, vos souvenirs et vos ambitions, le sens que vous avez de votre identité et de votre libre arbitre, ne sont rien de plus que le comportement d'un vaste assemblage de cellules nerveuses et des molécules qui y sont associées. Comme l'Alice de Lewis Carroll aurait pu le formuler : "Tu n'es rien d'autre qu'un paquet de neurones." ¹. »

Jean-Pierre Changeux, lui aussi, nous dit : « L'homme n'a plus rien à faire de l'esprit, il lui suffit d'être un homme neuronal². » Si vous pensez qu'il s'agit là de propos excessifs, dénués de conséquences pratiques, de quelques scientifiques égarés, rappelez-vous l'eugénisme nazi et la volonté des staliniens ou des khmers rouges de créer un homme nouveau, fût-ce au prix de millions de morts.

Cette idée que l'on peut façonner l'homme à sa guise n'est-elle pas la résultante de cette déconstruction de l'homme ? Un « paquet de neurones » peut se modifier et se détruire à volonté, ainsi, au nom de quoi le respecterait-on ? Certes, les terribles massacres qui ont eu lieu au cours de l'histoire pour des raisons religieuses, comme le renouveau des fondamentalismes auquel nous assistons de nos jours, sont là pour nous montrer qu'une vision non matérialiste de l'homme ne préserve en rien contre de tels agissements. Néanmoins, avec la vision réductionniste selon laquelle nous ne sommes « rien d'autre que... », un garde-fou essentiel vient de disparaître.

L'un de ceux qui avaient le mieux perçu cette idée, il y a déjà plus d'un demi-siècle, est Antoine de Saint-Exupéry. Il répond par avance à Jean-Pierre Changeux et à Francis Crick :

1. Francis Crick, *L'hypothèse stupéfiante*, Plon, 1995, p. 17.

2. Jean-Pierre Changeux, *L'homme neuronal*, Hachette, 1998, p. 211.

« L'homme de ma civilisation ne se définit pas à partir des hommes. Ce sont les hommes qui se définissent par lui. Il est en lui, comme en tout être, quelque chose que n'expliquent pas les matériaux qui le composent. Une cathédrale est bien autre chose qu'une somme de pierres. Elle est géométrie et architecture. Ce ne sont pas les pierres qui la définissent, c'est elle qui enrichit les pierres de sa propre signification¹. » Puis il perçoit avec une acuité extraordinaire « le drame de l'humanisme athée² » que des philosophes matérialistes contemporains lucides, tels qu'André Comte-Sponville³, ont eux aussi admis : l'impossibilité de trouver un fondement solide à l'humanisme dans un monde où l'homme ne serait « rien d'autre que... ».

« On ne dit rien d'essentiel sur la cathédrale si l'on ne parle que des pierres. On ne dit rien d'essentiel sur l'Homme si l'on cherche à le définir par des qualités d'homme. L'Humanisme a ainsi travaillé dans une direction barrée d'avance [...] Nous avons glissé, faute d'une méthode efficace, de l'Humanité qui reposait sur l'Homme, vers cette termitière qui repose sur la somme des individus. Qu'avions-nous à opposer aux religions de l'État ou de la Masse ? Qu'était devenue notre grande image de l'Homme né de Dieu ? [...] Si notre société pouvait encore paraître souhaitable, si l'homme y conservait quelque prestige, c'est dans la mesure où la civilisation véritable, que nous trahissons par notre ignorance, prolongeait encore sur nous son rayonnement condamné, et nous sauvait malgré nous-mêmes⁴. »

Écrits en 1940 au cœur d'une lutte contre le nazisme qui semblait sans espoir, ces propos constituent un avertissement essentiel. Certes, notre société a vaincu le nazisme et le communisme, mais il semble que nous soyons dans la situation de ces personnages de dessins animés qui courent sur une falaise, puis courent un certain temps au-dessus du vide, finissent par regarder sous eux, s'aperçoivent qu'il n'y a rien, et tombent à la verticale. Nous n'avons plus de fondements pour notre humanisme, mais nous ne nous en sommes pas encore aperçus ! L'image employée par Saint-Exupéry (« le rayonnement condamné ») est terrible : celle

1. Saint-Exupéry, *Pilote de guerre*, Le Livre de Poche, 1963, p. 221.

2. Henri de Lubac, *Le drame de l'humanisme athée*, Cerf, 1998.

3. André Comte-Sponville, « Morale sans fondement », in *La société en quête de valeurs*, Éditions Maxima Laurent du Mesnil, 1996, p. 119-138.

4. Saint-Exupéry, *op. cit.*, p. 232-234.

d'une étoile qui nous réchauffe de sa lumière, mais qui est déjà morte, qui a déjà explosé. Comme elle est située très loin de nous, sa lumière nous parvient encore, longtemps après sa mort. Mais viendra inexorablement le moment où cette lumière s'éteindra. Nous sommes ainsi condamnés à l'obscurité complète, sauf si, dans le temps qu'il nous reste, nous pouvions trouver une autre source de lumière...

Les progrès techniques risquent d'engendrer très prochainement une menace plus insidieuse mais tout aussi redoutable que les totalitarismes qui sont désormais derrière nous.

J'entendais récemment à la télévision un généticien américain, Michael Rose, qui prolonge, par manipulation génétique, de plus de dix fois, la durée de vie normale des mouches : « En quoi le génome humain est-il sacré ? Nous savons qu'il est le résultat d'assemblages réalisés par hasard au cours des siècles. Il est ce qu'il est aujourd'hui, mais il aurait parfaitement pu être différent. Au nom de quoi nous interdirait-on de le modifier ? »

C'est bien là la question. Si l'homme n'est rien d'autre qu'un paquet de neurones et de gènes, pourquoi refuser de l'améliorer ? Dans quelques décennies, il sera possible de voir cohabiter sur terre plusieurs espèces humaines qui, à cause des modifications génétiques, ne seront plus interfécondes et ne pourront plus se mélanger ! Il y aura ainsi les descendants de ceux qui auront eu les moyens de faire améliorer génétiquement *in vitro* leurs enfants, et les autres. *Le meilleur des mondes*¹ d'Aldous Huxley (autre grand prophète, tel Saint-Exupéry, des risques que recèle la modernité) est à nos portes et, face à lui, nous sommes désarmés car nos « garde-fous éthiques » ont disparu. Les pires cauchemars de la science-fiction² sont envisageables, car les progrès de la science risquent de nous fournir des outils dont les nazis les plus fanatiques ou les staliniens comme Lyssenko (qui voulait soumettre la nature à sa vision de la dialectique marxiste) n'auraient même pas rêvé.

1. Aldous Huxley, *Le meilleur des mondes*, Pocket, 2002.

2. Voir, entre autres, le film *Bienvenue à Gattaca*.

Comment ébaucher un « traité de la condition humaine » ?

« Quoi ? *La condition humaine* n'était pas le titre d'un grand ouvrage de philosophie ? Je me rappelle l'étonnement, l'émotion, presque la colère, qu'un tel titre ait pu être disponible pour un roman, si poignant soit-il. »

Jean Fourastié

Comme nous venons de le voir, c'est une caractéristique fondamentale de l'homme que de s'interroger sur la nature et le pourquoi des choses qui l'entourent, ainsi que sur sa propre destinée.

Il y a deux mille six cents à deux mille ans, de nombreuses doctrines ont été établies, chacune indépendamment des autres, mais répondant toutes à la question « comment vivre¹ ? » :

- les grandes écoles philosophiques grecques ;
- les textes de la Bible et des Évangiles ;
- les différentes écoles de l'hindouisme et les enseignements de Bouddha ;
- la doctrine de Lao-Tseu et la philosophie de Confucius.

Si elles divergent à propos de nombreuses questions, en général liées au « pourquoi » des choses, elles sont en revanche en accord sur la façon dont l'humanité doit vivre. Si les Dix Commandements sont issus de la Bible hébraïque, on peut toutefois les retrouver sous une forme ou une autre dans toutes les

1. Certaines ont des racines qui remontent à trois mille ans, voire à cinq mille ans, comme la philosophie égyptienne qui contenait déjà certains des principes dont nous parlons ici.

écoles de pensée que nous venons de citer. *Aucune* n'encourage le vol, le viol, le mépris de l'autre. *Toutes* affirment que l'amour vaut mieux que la haine, la sincérité que le mensonge, l'altruisme que l'égoïsme, etc.

D'un côté, on ne peut que constater l'incapacité des hommes à appliquer ces valeurs de façon pleine et entière. De l'autre, on peut se réjouir que cinq milliards d'hommes sur les six milliards vivant actuellement sur terre¹ se rattachent directement ou indirectement aux valeurs propagées par ces textes – ce qui démontre de façon claire que l'humanité a parfaitement reconnu que la solution à la question « comment vivre ? » se trouvait bien dans cette voie, même si elle était incapable de l'appliquer.

Un autre progrès décisif a eu lieu, il concerne la nature du monde qui nous entoure. Comme nous l'avons vu au chapitre précédent, ce progrès a engendré non seulement un désenchantement du monde, mais également un immense progrès technique :

— À la fin du XVIII^e siècle et au XIX^e siècle : les ballons, les machines à vapeur, les trains, la compréhension des lois de l'électricité et du magnétisme.

— Au XX^e siècle, les automobiles, les avions, le nucléaire, les satellites, l'informatique, les communications planétaires, les manipulations génétiques.

Reste cependant une question fondamentale : celle de la condition humaine. Sommes-nous, comme le pensent Jacques Monod, Francis Crick et Jean-Pierre Changeux, des « paquets de neurones perdus dans l'immensité indifférente de l'Univers » ? Ou existe-t-il un autre niveau de réalité que celui dans lequel nous vivons actuellement, et si oui, pouvons-nous entrer en contact avec lui, comme le pensent toutes les grandes traditions de l'humanité (et pas seulement les traditions monothéistes) ?

Je prétends qu'il s'agit de la question la plus importante qui existe actuellement. D'abord, comme nous l'avons vu, nous

1. Parmi ces cinq milliards, un milliard de personnes se rattachent au Coran apparu il y a « seulement » mille quatre cents ans. Mais Mahomet lui-même a affirmé que la révélation qu'il avait reçue de Dieu ne faisait que répéter sous une forme nouvelle des messages précédemment transmis aux hommes par Dieu mais oubliés en partie.

avons déjà la réponse à la question « comment vivre ? » depuis plusieurs milliers d'années.

Nous n'avons pas eu besoin d'attendre Kant pour savoir qu'une société dans laquelle tout le monde mentirait, volerait ou mépriserait son prochain serait invivable. Et même si des questions cruciales se posent à nous – « comment guérir le cancer ? », « comment nourrir tous les hommes ? », « comment remplacer les énergies fossiles ? » –, nous avons résolu la plupart des questions portant sur le fonctionnement de la nature et du corps humain, augmentant ainsi nos connaissances d'un facteur 100 en moins de deux siècles.

Ensuite, cette question a des implications sur la plupart des actes de notre vie quotidienne. Regardez votre conjoint et imprégnez-vous de l'idée que votre amour ne reposerait que sur la sécrétion de quelques hormones. Regardez vos enfants et admettez, comme vous l'enseignera tout bon sociobiologiste, que votre amour pour eux provient uniquement d'un gène choisi par la sélection naturelle. Écoutons ce que dit le prix Nobel de physique Erwin Schrödinger : « Cher lecteur, ou mieux encore, chère lectrice, rappelez-vous les yeux brillants et joyeux avec lesquels votre enfant vous éclaire quand vous lui apportez un nouveau jouet, puis laissez le physicien vous dire qu'en réalité rien n'émerge de ces yeux ; en réalité, leur seule fonction objectivement décelable est d'être continuellement frappés par des quanta de lumière et de les recevoir. En réalité ! Étrange réalité ! Quelque chose semble manquer en elle¹. »

Livrez-vous à une introspection jusqu'à ce que vous soyez persuadé que « vous », vos joies et vos peines, vos souvenirs, votre libre arbitre ne sont qu'un « truc de neurones ». Même la façon de regarder une fleur, un papillon, un coucher de soleil sera différente si l'Univers est dépourvu de signification. Cela devrait avoir un effet sur tous les actes de votre vie et c'est là, je crois, le sens de la boutade de Woody Allen : « Si Dieu n'existe pas, j'ai payé ma moquette beaucoup trop cher ! »

Saint-Exupéry a magnifiquement illustré la façon dont une question, *a priori* très éloignée de nos préoccupations quotidiennes, peut modifier tant notre environnement que notre vision de l'Univers : « C'est là un bien grand mystère. Pour vous qui aimez aussi le petit prince comme pour moi, rien de l'Univers n'est

1. Erwin Schrödinger, *L'esprit et la matière*, Seuil, 1990, p. 191.

semblable si quelque part, on ne sait où, un mouton que nous ne connaissons pas a, oui ou non, mangé une rose... Regardez le ciel. Demandez-vous : le mouton, oui ou non, a-t-il mangé la fleur ? Et vous verrez comme tout change... Et aucune grande personne ne comprendra jamais que ça a tellement d'importance¹ ! »

Enfin, parce que nous avons vu que les réponses à la question « comment vivre ? » ont été apportées depuis des milliers d'années, dans la plupart des cas, par des conceptions non matérialistes du monde. Si ces dernières s'avèrent être des illusions, la quasi-unanimité existant autour des valeurs minimales à respecter ne va-t-elle pas voler en éclats au profit de conceptions d'apprentis sorciers désireux de modifier l'être humain ou de « fans » de l'intelligence artificielle, désireux de nous remplacer par des robots, comme ceux que nous avons cités au chapitre précédent ?

André Comte-Sponville a montré² d'une façon très convaincante que nous ne pouvions fonder nos valeurs et notre morale :

— ni sur l'homme (comme le pensent les humanistes matérialistes) car il est capable du pire ;

— ni sur la nature (comme le pensent les écologistes) car elle est amoral ;

— ni sur l'histoire (comme le pensent les marxistes) car elle ne possède pas un sens précis ;

— ni sur la science (comme le pensent les scientifiques³) car, comme la nature, elle ne peut aborder les questions de moralité.

Seule une transcendance peut servir de fondement. Si elle n'existe pas, il nous faut respecter « une morale sans fondement ». Un philosophe comme André Comte-Sponville en est certainement capable. Mais on peut fortement douter qu'une société dans son ensemble le soit, et cela durant plusieurs siècles,

1. Il s'agit du dernier paragraphe du livre *Le Petit Prince*, de Saint-Exupéry. Pour lui, une « grande personne » est quelqu'un qui ne se préoccupe que de questions pratiques ou de questions d'argent et de pouvoir (cf. les dialogues avec le banquier et le roi dans *Le Petit Prince*) et non de la question du sens de notre vie.

2. André Comte-Sponville, in « Morale sans fondement », *op. cit.*

3. Voir par exemple *Fondements naturels de l'éthique*, sous la direction de Jean-Pierre Changeux, Odile Jacob, 1993. Luc Ferry s'est livré à une remarquable déconstruction de l'« éthique évolutionniste » prônée par cet ouvrage. Cf. Luc Ferry et Jean-Didier Vincent, *Qu'est-ce que l'homme ?*, Odile Jacob, 2000, p. 78-105.

si son unique cadre conceptuel est celui du « désenchantement du monde ».

Plus encore, Luc Ferry a montré l'extrême difficulté, voire l'incohérence, qu'il y a pour un matérialiste à parler de morale : « Il est incohérent de se dire matérialiste et d'envisager la moralité des actes humains comme si elle pouvait dépendre d'une liberté qu'on déclare par ailleurs tout à fait illusoire. Par où il me semble qu'un matérialisme conséquent devrait toujours se borner à une "éthologie" sans jamais parler de morale autrement que comme d'une illusion plus ou moins nécessaire¹. »

C'est pour cela que Saint-Exupéry nous indiquait que l'humanisme matérialiste était sans issue, que le fondement de la liberté, de l'égalité, de la fraternité provenait de notre « grande image de l'homme né de Dieu ». De nombreux spécialistes de l'histoire des idées reconnaissent que les droits de l'homme sont une laïcisation d'un concept judéo-chrétien. Donc, si les fondements de ce qui nous amenait à respecter l'homme disparaissaient avec les visions « transcendantalistes » classiques, si nous n'étions que « du bois mort à la surface de l'eau », toute forme d'humanisme risquerait bien d'être engloutie.

Certes, on objectera immédiatement que les périodes durant lesquelles les religions dominaient les sociétés humaines n'étaient guère plus brillantes en termes de droits de l'homme (et c'est un euphémisme). Mais c'est bien parce que ceux qui les représentaient faisaient exactement le contraire de ce que disaient les textes sacrés qu'ils devaient enseigner !

« La légende du grand inquisiteur » de Fedor Dostoïevski² le montre magnifiquement. Dans ce texte, qui est, selon moi, l'un des plus profonds écrits sur la condition humaine, le Christ apparaît à Séville au Grand Inquisiteur, cardinal de l'Église catholique, qui vient de faire brûler une centaine d'hérétiques pour « la plus grande gloire de Dieu ». Il s'ensuit un dialogue hallucinant dans lequel le Grand Inquisiteur se charge à la fois des questions et des réponses, car Jésus restera silencieux. Il reproche alors à Jésus de ne pas avoir cédé aux tentations du diable (accepter le pouvoir temporel sur toutes les nations, transformer les pierres en pain pour nourrir tous les hommes³). Il explique que les hommes

1. *Ibid.*, p. 96.

2. Ce texte se trouve dans *Les frères Karamazov*, 2^e partie, livre V, chapitre 5.

3. Matthieu 4, 1-10 ou Luc 4, 1-12.

sont faibles, incapables d'assumer leur propre liberté et que c'est pour le bien de l'humanité qu'« ils » (Dostoïevski parle des hommes comme lui : il ne vise pas ici uniquement la hiérarchie de l'Église catholique, mais tous ceux qui, à travers le temps et l'espace, ont utilisé la religion pour asseoir leur pouvoir temporel), ont dû beaucoup travailler pour réparer la « bêtise » faite par Jésus lorsqu'Il a voulu rendre l'homme libre. Le Grand Inquisiteur finit par avouer qu'« ils » sont avec « l'autre » et non avec le Christ au nom duquel ils agissent. Ce qu'assume le Grand Inquisiteur et que dénonce Dostoïevski, c'est l'écart extraordinaire pouvant exister entre un texte religieux et les actes commis en son nom. Mais comme la perpétuation de ces textes sacrés fait partie des tâches fondamentales d'une religion, l'espoir persiste qu'une nouvelle génération se rende compte de cette « trahison des clercs¹ » et inverse la tendance.

Même si tout est encore loin d'être parfait aujourd'hui, l'Église catholique est infiniment plus proche du message du Christ qu'à l'époque des bûchers de l'Inquisition ou de celle où le pape était un Borgia, famille bien connue pour son goût du meurtre et de l'orgie !

Il est probable (et très souhaitable !) que l'islam connaisse une évolution de ce type et que l'ensemble des musulmans rejettent un jour les meurtres commis par certains fondamentalistes au nom d'« Allah le tout miséricordieux » avec autant de force que les chrétiens rejettent aujourd'hui les massacres commis au nom de Jésus alors que lui-même sermonnait Pierre d'avoir brandi son épée pour le défendre !

Ainsi, il semble que pour l'humanité dans son ensemble (non pour un individu donné, vivant sous le joug de l'Inquisition hier, ou du fondamentalisme islamique aujourd'hui), il vaille mieux une civilisation non matérialiste, même profondément dévoyée de manière temporaire par ses responsables, qu'une civilisation matérialiste parlant constamment des droits de l'homme mais n'ayant rien sur lequel les fonder dans le long terme ! Par civilisation non matérialiste, nous n'entendons pas forcément ici une religion, mais tout système fondé sur une transcendance, sur l'existence d'une réalité plus profonde, dont

1. Il s'agit du titre d'un livre de Julien Benda mais utilisé dans un autre contexte.

le nôtre serait issu et dans lequel une partie (au moins) des valeurs et du sens n'est pas une création humaine mais un « donné » venant de l'extérieur.

Dostoïevski nous conduit dans ce sens. Car sa « légende » ne dénonce pas seulement les religieux ayant trahi leur religion. Elle dénonce également ceux qui prétendent faire le bonheur de l'homme sur le plan strictement matériel et qui, pour cela, édifieront une société totalitaire dont Dieu aura été exclu.

C'est tout le futur communisme et le collectivisme que récuse Dostoïevski avec un prophétisme saisissant¹ lorsque son Grand Inquisiteur dit à Jésus : « Sais-tu que des siècles s'écouleront et que l'humanité proclamera par la bouche de sa science et de sa sagesse que le crime n'existe pas, et que, par conséquent, il n'y a pas de pécheurs mais seulement des affamés. Nourris-les, et alors seulement exige d'eux la vertu ! Voilà ce que l'on tracera sur l'étendard que l'on brandira contre Toi et qui détruira Ton temple. À sa place surgira un nouvel édifice : une terrible Tour de Babel [...] Jamais, jamais, les hommes ne parviendront à se nourrir sans nous ! Aucune science ne leur donnera du pain aussi longtemps qu'ils resteront libres et ils finiront par déposer leur liberté à nos pieds pour nous dire : "Soumettez-nous à votre joug, mais nourrissez-nous." Ils comprendront enfin que la liberté et le pain terrestre² pour tout le monde sont incompatibles, car jamais, jamais, ils ne sauront se répartir le pain entre eux³ ! »

Le cardinal Grand Inquisiteur se révèle être un matérialiste et là est son secret, nous dit Dostoïevski⁴.

Voilà donc les raisons pour lesquelles la question « Notre existence a-t-elle un sens ? » (c'est-à-dire s'inscrit-elle dans un projet

1. Ce texte a été écrit en 1880.

2. Le Grand Inquisiteur oppose le « pain terrestre » (les biens matériels) au « pain céleste » promis par Jésus et affirme que seule une élite peut se satisfaire de ce « pain céleste » tandis que la grande majorité des hommes ont besoin avant tout de biens matériels que seule une société tournée vers le matérialisme pourra leur donner.

3. Les citations sont extraites de *La légende du grand inquisiteur*, traduction de Cyrille et Nicole Wilczkowski, DDB, 1958, p. 182-183. Il s'agit d'un ouvrage entièrement consacré à ce texte de Dostoïevski (et actuellement épuisé). La façon la plus simple de lire ce texte est de se reporter à une édition de l'ouvrage *Les frères Karamazov*, 2^e partie, livre V, chapitre 5.

4. Fedor Dostoïevsky, *La légende du Grand Inquisiteur*, op. cit., p. 202.

quel qu'il soit ou n'est-elle que le résultat d'une série d'accidents ?) est la plus importante actuellement :

- parce qu'elle a un effet sur notre vie de tous les jours ;
- parce que la survie de notre civilisation dans le long terme en dépend.

Mais comment répondre à une telle question ? Jean Fourastié, que nous avons vu irrité que « la condition humaine » soit le titre d'un roman, a ébauché ce que pourrait être un « traité de la condition humaine », c'est-à-dire le résumé de ce que l'humanité sait ou croit savoir d'elle-même et du milieu dans lequel elle vit.

« Beaucoup des chapitres de ce traité pourraient être écrits dès maintenant, auraient pu l'être ou même, l'ont été. Ce sont *les synthèses qui manquent* [souligné par moi]. Et surtout la conscience des lacunes et le consensus. L'ouvrage serait divisé en deux tomes : le milieu de vie (où sommes-nous ?) et l'homme (qui sommes-nous ?). Dans le premier, on trouverait la description du cosmos, de la Terre, la géologie, la géographie, la flore et la faune ; non seulement on nous ferait savoir l'essentiel pour nous de ces choses, mais on nous les ferait comprendre. On nous dirait pourquoi et comment elles sont là ; pourquoi, comment, si et dans quelle mesure nous formons – ou non – avec elles un même projet, un même "plan" rationnel, ou une même aventure. Le second tome traiterait de l'homme et des groupes qu'il forme : familles, ethnies, sociétés, nations. On y trouverait les grands résultats de la démographie, de la biologie, de la génétique¹. »

Ce n'est pas un hasard si l'hypothétique « traité de la condition humaine » décrit par Fourastié repose en grande partie sur les sciences exactes, alors qu'il consacre une grande partie de l'ouvrage dans lequel il évoque la nécessité d'un tel traité à analyser les religions et leur rôle dans la société humaine. En effet, la religion et la philosophie ne sont pas à même de donner des réponses argumentées à des questions portant sur la nature de l'homme et de l'Univers. Seule la science peut le faire.

Une objection très fréquente consiste à dire qu'il est vain d'utiliser des arguments scientifiques pour essayer de répondre à des questions sur la nature ultime de l'homme et de l'Univers puisque les théories scientifiques évoluent et qu'une conclusion établie sur la base d'une théorie scientifique peut se révéler par-

1. Jean Fourastié, *op. cit.*, p. 43.

faitement fausse lorsque cette théorie aura été remplacée par une autre qui prendra le contre-pied de la première. Cette objection peut sembler irréfutable... et pourtant elle ne l'est pas. Car une multitude de choses sont définitives en science !

Par exemple, toutes les philosophies et idéologies fondées sur la certitude que la Terre est au centre du monde, ou que le monde a été créé en moins de dix mille ans, ou toute conception de l'homme faisant du cœur, et non du cerveau, le siège de notre conscience sont définitivement éliminées.

Nous avons les connaissances scientifiques suffisantes pour être assurés que l'évolution des sciences ne leur redonnera pas une crédibilité. Certes, il s'agit là d'exemples qui paraissent évidents, cependant la même façon de raisonner sur les acquis de la science peut amener à des conclusions plus subtiles et d'une grande importance pour les questions que nous posons ici. C'est ce qui en légitime une approche scientifique.

Il est par exemple impossible d'affirmer que Platon soit plus proche qu'Aristote de la vraie nature de l'Univers. On peut, en revanche, parfaitement dire, à propos de celle-ci, que Newton est plus proche de la vérité que Ptolémée ou qu'Einstein en est plus proche que Newton. C'est ce qui fait toute la force et l'intérêt de la science, et c'est la raison pour laquelle nous utiliserons la science pour tenter de répondre à la question fondamentale que nous posons ici concernant le sens de la vie.

Bien entendu, il n'est pas question d'avoir l'ambition d'écrire seul un tel traité qui, s'il était possible (ce qui n'est pas certain), exigerait une coopération interdisciplinaire de milliers de scientifiques. Notre but sera une synthèse des différents domaines déjà explorés par la science, qui essaiera de déboucher sur la meilleure réponse actuellement disponible à cette question.

Vers de nouvelles « lumières »

« Notre science n'est plus ce savoir classique, nous pouvons déchiffrer le récit d'une nouvelle alliance. Loin de l'exclure du monde qu'elle décrit, la science retrouve comme un problème l'appartenance de l'homme à ce monde. »

Ilya Prigogine

Le XX^e siècle a été témoin d'un événement rare : un changement global de paradigme. Qu'est-ce qu'un paradigme ? Ce terme est utilisé par Thomas Kuhn¹ dans un ouvrage fondamental d'histoire des sciences. Il s'agit de « l'ensemble des croyances, des valeurs reconnues et des techniques qui sont communes aux membres d'un groupe donné² ». C'est-à-dire qu'il s'agit du cœur de ce qui constitue la vision du monde d'une société à une époque donnée. Sur le plan scientifique (et c'est dans ce domaine que Kuhn va l'utiliser le plus souvent), un paradigme est l'ensemble des règles et des conceptions (ou des croyances !) qui constituent les fondements d'une science. On parlera ainsi du « paradigme newtonien » qui succéda au « paradigme ptoléméen » (qui fut en vigueur pendant plus de mille cinq cents ans) avant d'être lui-même remplacé par le « paradigme einsteinien ».

Ce qui est très intéressant et essentiel à notre propos, c'est l'analyse que fait Kuhn de la manière dont un paradigme se substitue à un autre.

1. Thomas Kuhn, *La structure des révolutions scientifiques*, Flammarion, 1983.

2. *Ibid.*, p. 238.

— Il existe à une époque une « science normale » (j'utiliserai, par la suite, l'appellation « science classique »).

— Des crises se produisent du fait que la science classique ne parvient pas à expliquer certains faits.

— Une véritable révolution se produit : des concepts radicalement différents de ceux de la science classique apparaissent pour expliquer les faits que celle-ci n'arrivait pas à intégrer.

— Une bataille se déroule alors, qui peut durer de quelques années à près d'un siècle – et qui est parfois violente –, entre les tenants de l'ancien et du nouveau paradigme.

— Puis le nouveau paradigme s'impose et sert de fondement à une nouvelle science qui deviendra à son tour classique.

Ainsi, l'évolution des sciences n'est pas « un long fleuve tranquille », mais une suite de crises : « Le passage d'un paradigme en état de crise à un nouveau paradigme d'où puisse naître une nouvelle tradition de science normale est loin d'être un processus cumulatif, réalisable à partir des variantes ou extensions de l'ancien paradigme. C'est plutôt une reconstruction de tout un secteur sur de nouveaux fondements, reconstruction qui change certaines des généralisations théoriques les plus élémentaires de ce secteur [...] Quand la transition est complète, les spécialistes ont une tout autre manière de considérer leur domaine, ses méthodes, et ses buts¹. »

Ce qui est fascinant, c'est que des scientifiques qui se situent dans le cadre d'un paradigme puissent ne pas voir des faits qui sortent de ce cadre. En juillet 1054, une étoile explosa et devint pendant quelques jours la plus brillante dans le ciel. Les astrologues occidentaux qui scrutaient les cieux l'avaient forcément remarquée. Pourtant, aucune trace, aucun témoignage n'en subsistent. Car le paradigme dominant à l'époque était le paradigme aristotélicien qui affirmait que les cieux étaient immuables. Malgré sa visibilité, une telle « anomalie » était donc impensable pour les intellectuels de l'époque, qui l'ont pourtant vue mais se sont dépêchés de l'oublier. Il fallut donc aller consulter les archives des Chinois qui, eux, étaient ancrés dans un tout autre paradigme – admettant des changements célestes – pour connaître la date exacte de l'explosion de ce qui est aujourd'hui la nébuleuse du Crabe.

1. *Ibid.*, p. 124.

Certains problèmes peuvent être résolus dans le cadre d'un paradigme alors que d'autres, qui au premier abord paraissent semblables, ne peuvent l'être que grâce à un autre paradigme.

Lorsqu'on détecta des anomalies dans l'orbite d'Uranus, on supposa l'existence d'une autre planète. Et c'est ainsi que Neptune fut découverte. Lorsqu'on détecta des anomalies dans l'orbite de Mercure, on chercha une autre planète. Comme on ne la trouva pas, on décréta qu'elle était noyée par le Soleil. En fait, elle n'existait pas, les anomalies de l'orbite de Mercure s'expliquèrent grâce à un autre paradigme : la relativité d'Einstein.

Enfin, certains concepts peuvent connaître des éclipses avant d'être à nouveau acceptés, d'une nouvelle façon. Ainsi, les alchimistes affirmaient que les éléments pouvaient transmuter, que le plomb pouvait se transformer en or. Dans le cadre de la classification des éléments, celle qui fut développée par la science classique dans la seconde partie du XIX^e siècle, une telle idée semblait définitivement discréditée. Aujourd'hui, les transmutations des éléments sont un phénomène quotidien dans les grands accélérateurs utilisés par la physique nucléaire (ce qui ne cautionne pas pour autant la démarche pratique des alchimistes).

Si la science apparaît donc comme plus objective que la philosophie, il ne faut pas pour autant exagérer cette objectivité avant d'entreprendre notre voyage à travers les connaissances actuelles. Le schéma d'évolution de la science que nous avons décrit (existence d'un paradigme, crise, déstabilisation du paradigme dominant, élaboration d'un nouveau paradigme, conflit entre les tenants des deux paradigmes, reconnaissance du nouveau paradigme comme étant le paradigme classique) suppose l'existence de nombreux phénomènes affectifs (on est souvent attaché au paradigme au sein duquel on a été élevé ou auquel on doit ses principales réussites), voire obscurantistes (« excommunication » des hérétiques en science).

Cela ne doit pas nous amener pour autant à accepter les idées relativistes, telles celles de Feyerabend pour qui « tout se vaut¹ ». Ni à consacrer du temps à toutes les spéculations absurdes sous prétexte qu'il s'agit peut-être de nouveaux paradigmes en

1. Paul Feyerabend, *Contre la méthode. Esquisse d'une théorie anarchiste de la connaissance*, Seuil, 1983.

devenir. Je reçois régulièrement des lettres de chercheurs à domicile qui disent avoir mis au point telle ou telle théorie géniale. Comment faire le tri ? Un nouveau paradigme, même s'il prend à contre-pied les idées reconnues de son époque, ne tombe pas du ciel. Il doit permettre de regrouper des pièces d'un puzzle jusque-là éparses. Ainsi, la théorie de la dérive des continents de Wegener pouvait sembler farfelue avant la découverte des dorsales océaniques, montrant que les continents étaient comme des tapis glissant sur la lave présente sous l'écorce terrestre. Néanmoins, l'existence, en Afrique et en Amérique du Sud, de fossiles identiques dans les mêmes couches géologiques aurait pu en faire réfléchir certains, qui, au lieu de décréter cette théorie absurde, auraient pu l'appréhender comme une spéculation intéressante.

Toutes ces considérations sur les paradigmes et l'évolution des sciences sont importantes, car le XX^e siècle a vu surgir toute une série de nouveaux paradigmes, certains d'ores et déjà bien établis, d'autres encore en gestation. Issus tout d'abord de l'étude de l'infiniment petit (la physique quantique) et de l'infiniment grand (l'astrophysique), ces nouveaux paradigmes sont ensuite apparus en logique, puis dans l'étude de la vie (biologie) et, enfin, dans celle de la conscience.

Et voilà qu'il se passe quelque chose d'extraordinaire : un lien semble exister entre tous ces nouveaux concepts. On parle ainsi d'*incomplétude*, d'*imprédictibilité*, d'*incertitude*, d'*indécidable*... Il est très important de noter qu'il ne s'agit pas d'un recul du savoir, d'une abdication de l'homme devant des mystères qui le dépassent. Au contraire, la méthode scientifique nous permet de savoir avec une extrême précision les raisons pour lesquelles nous ne savons pas et, dans bien des cas, les raisons pour lesquelles nous ne saurons jamais certaines choses ! C'est donc un progrès et non un échec de la science.

Mais pour le comprendre, un renversement des perspectives, une évolution des mentalités sont nécessaires. Bref, alors que l'ancien paradigme était fondé sur la certitude et sur le réductionnisme (le fameux « rien d'autre que... ») et refermait sur lui-même le réel dans lequel nous évoluons, les nouveaux paradigmes sont ceux de l'ouverture. Ils permettent d'ouvrir sur d'autres horizons les conceptions que les sciences nous donnent de l'homme et du monde.

Les convergences de ces nouveaux paradigmes permettent ainsi, malgré la diversité de ces derniers, de parler d'un nouveau paradigme global. Et cela est quelque chose de très rare. Le dernier exemple d'un tel phénomène est celui du passage de la vision du monde du Moyen Âge à celle des Temps modernes. Toutes les disciplines avaient alors progressivement – sur une longue période, et pas toutes ensemble – évolué pour permettre l'apparition d'une nouvelle synthèse, devenue aujourd'hui la science classique ou moderne. Et voilà que maintenant nous assistons au même phénomène : nous passons de la modernité à quelque chose d'autre que l'on appelle parfois la « postmodernité ».

Nous vivons donc une période tout à fait passionnante, une nouvelle Renaissance, cinq cents ans après la première. Comme à cette époque, des idées radicalement nouvelles apparaissent, de nouvelles synthèses sont envisageables, de nouvelles possibilités philosophiques s'ouvrent à nous.

L'objectif de cet ouvrage est d'examiner à la fois les éléments essentiels de cette mutation et dans quelle mesure ils renouvellent les réponses à la question : « Notre existence et celle de l'Univers ont-elles un sens, ou sommes-nous là par un pur hasard ? »

À cet effet, je vous propose les subdivisions suivantes :

Qu'est-ce que le réel ? Cela nous conduira à nous intéresser aux fondements de la matière et à cette discipline étonnante qu'est la physique quantique.

D'où venons-nous, où allons-nous ? L'astrophysique est la science la mieux placée pour y répondre.

Sommes-nous ici par hasard ? Regarder de près les mécanismes de l'évolution s'impose ici.

Qu'est-ce que l'homme ? Cette interrogation fondamentale sur nous-mêmes nous conduira à explorer les sciences du cerveau et de la conscience.

Les mathématiques ont-elles un lien avec une forme de transcendance ? Les mathématiques sont-elles une simple construction de l'esprit humain ou existe-t-il un monde des mathématiques que nous découvrons progressivement et avec lequel l'esprit humain a un lien privilégié ?

Les parties consacrées à la physique et à l'astrophysique auront la même structure. Je présenterai d'abord (chapitres 4 et 7 respectivement) les faits admis par la communauté scientifique. Puis j'analyserai au plan scientifique mais surtout au plan philosophique quelques-unes des implications dans chaque domaine (chapitres 5 et 8). Enfin, je résumerai quelques-unes des recherches actuelles dans ces deux domaines (chapitres 6 et 9) tout en montrant qu'elles renforcent les conclusions des chapitres précédents.

Les parties consacrées à l'évolution et à la neurologie auront une structure différente. Le premier chapitre de chaque partie (10 et 13) sera consacré à l'analyse de toute une série de positions défendues par divers spécialistes, en commençant par ceux qui représentent le courant dominant, puis en abordant le cas des minoritaires. Le deuxième chapitre de chaque partie (11 et 14) critiquera les théories établies en mettant en valeur les faits et expériences démontrant leurs insuffisances.

Pourquoi cette différence de traitement ? Est-ce parce que les théories actuelles en physique et en astronomie sont satisfaisantes pour les non-matérialistes alors que celles qui dominent en biologie et en neurologie sont, elles, favorables aux matérialistes ? Non, bien sûr ! Quoique l'objectivité parfaite soit impossible – surtout lorsqu'il s'agit d'interprétation –, l'intérêt de la démarche proposée ici est de se garder de toute idéologie pour ne se laisser guider que par les faits.

La raison en est due à un phénomène étonnant : un décalage qui semble se perpétuer depuis cinq cents ans entre les progrès réalisés dans les sciences de la matière et ceux obtenus dans celles de la vie.

Newton, pour se soigner, avait recours à des médecins qui ressemblaient à ceux que Molière ridiculisait dans ses pièces. Cela veut dire que Newton, Kepler et Galilée étaient dans leur

domaine beaucoup plus avancés dans la compréhension des choses que les scientifiques des sciences de la vie ne l'étaient dans le leur, eux qui commençaient à peine à comprendre la circulation sanguine.

Les sciences de la matière et de l'Univers ont eu près d'un siècle d'avance sur les sciences de la vie et de la conscience durant toute la période allant du Moyen Âge à nos jours ! La cause en est que les progrès des sciences de la vie dépendent en partie des moyens techniques fournis par les sciences physiques.

L'apogée de la période classique en physique et en astronomie se place à la fin du XIX^e siècle, alors que le sommet de la même période classique dans les sciences de la vie et de la conscience ne date que de la fin du XX^e siècle. En fait, nous y sommes encore.

Considérons l'évolution globale des idées et gardons à l'esprit notre propos antérieur : il est clair que des mutations fondamentales vont se produire dans les sciences de la vie parce qu'*elles ont déjà eu lieu* dans les sciences de la matière.

De nombreux physiciens ont essayé d'avertir les biologistes à ce sujet, en leur disant : « Attention, vous vous basez sur des concepts obsolètes, le monde n'est pas comme vous le croyez. » En réponse, la plupart des biologistes et des neurologues ont établi un véritable mur de Berlin, refusant tout nouveau concept provenant de la révolution ayant eu lieu en physique dans leur discipline. Il n'y a pas de pire sourd que celui qui ne veut pas entendre. Il est vrai qu'il est presque impossible pour un scientifique de reconnaître que le paradigme auquel se rattache toute sa carrière est dépassé.

On peut donc être sûr qu'une révolution conceptuelle traversera les sciences de la vie et de la conscience au XXI^e siècle, et cela parce que les causes de cette révolution existent déjà. C'est comme un tsunami donc la vague serait déjà formée mais qui n'aurait pas encore atteint la côte.

En effet, l'évolution du savoir – même s'il existe des décalages pouvant atteindre jusqu'à un siècle, comme nous venons de le voir – est homogène dans le long terme. Il est peu probable qu'une civilisation puisse envoyer une fusée sur la Lune tout en ne sachant rien, par ailleurs, du fonctionnement du système nerveux, même s'il n'existe pas de lien direct entre les deux.

Mais surtout, les molécules impliquées dans l'évolution de la vie et dans le fonctionnement du cerveau sont des objets dont les modifications reposent sur des phénomènes quantiques. Voilà pourquoi il est logique de penser que les bouleversements qui ont eu lieu dans les sciences de la matière auront une incidence, un jour, dans celles de la vie. C'est la raison pour laquelle il est logique de traiter différemment ces deux domaines dans le présent ouvrage.

Avant d'entreprendre ce voyage au sein de nos connaissances, je vous offre, comme tout bon voyageur, deux assurances :

1- Les faits qui seront présentés ici sont tous reconnus au plan scientifique.

En effet, l'un des leitmotivs de cet ouvrage est qu'il n'est nullement nécessaire de recourir à des faits non reconnus sur le plan scientifique pour avoir une nouvelle vision du monde ! Il s'agit d'un point très important : c'est ce que j'appelle jouer (et gagner !) sur le terrain de l'adversaire. C'est-à-dire sur le terrain des scientifiques qui, pour discréditer toutes les approches non matérialistes, ont voulu restreindre le débat à la rationalité scientifique. C'est ce défi-là qu'il faut relever si l'on veut avoir des raisons de penser qu'il y a une lumière au bout du tunnel du désenchantement du monde ! Un point reste à préciser : qu'est-ce qu'un « fait reconnu sur le plan scientifique » ? Aucun doute là-dessus : c'est un fait publié dans une grande revue scientifique à *referees*. Ces revues sont des revues éditées en langue anglaise, illisibles – sauf pour des professionnels –, dans lesquelles on ne publie un article qu'après validation de sa valeur scientifique par un panel de juges : les *referees*.

Des dizaines de millions de personnes peuvent considérer un phénomène comme étant un fait (la télépathie par exemple), cependant, s'il n'est pas publié dans une revue à *referees*, il n'existe pas ! On peut se révolter, crier à l'obscurantisme (il est certain que du moment que les juges se situent à l'intérieur d'un paradigme, ils seront peu enclins à accepter la publication de faits étrangers à ce paradigme), mais c'est ainsi ; et d'ailleurs, cela contribue à donner un cadre rigoureux aux faits dont nous allons parler, ce qui est très positif. Je ne parlerai donc que de faits publiés dans des revues de référence.

2- Les interprétations des faits qui seront données sont toutes partagées par au moins un scientifique du domaine concerné.

Je vous propose un travail de synthèse personnel. J'en suis le seul responsable mais chaque morceau du puzzle que je vais reconstituer sous vos yeux a été élaboré (qu'il s'agisse d'un fait ou d'une interprétation) par un scientifique s'exprimant au cœur de sa discipline. Vous aurez à chaque fois la référence des scientifiques qui, à quelques nuances près, tireront des mêmes faits des conclusions identiques aux miennes. Cela ne signifie nullement qu'eux et moi ayons raison. Néanmoins, cela constitue pour vous une importante garantie de qualité.

Enfin, rappelons-nous l'enjeu de notre démarche. Si les Weinberg, Monod, Crick et Changeux ont raison, si la vision réductionniste, mécaniste et déterministe que la modernité nous a donnée de l'homme et du monde est vraie, il faudra l'admettre. La philosophie a pour but la recherche de la vérité et non de confectionner une illusion à l'intérieur de laquelle nous pourrions vivre confortablement comme dans un cocon. Si le monde n'a aucun sens, si notre existence ne s'inscrit dans aucun projet, il faudra apprendre à vivre avec cette perspective. On pourra toujours se tourner vers les philosophes de l'absurde (Sartre, Camus) et se battre pour reculer l'échéance du « meilleur des mondes ».

Si, en revanche, notre quête de connaissances nous amenait à conclure qu'il est très probable¹ que les défenseurs de cette vision aient tort – et cela en se situant sur leur terrain, celui de la rationalité, de l'expérience, de la connaissance scientifique – alors, dans ce cas, la chose la plus importante à faire aujourd'hui pour notre civilisation, ce n'est pas de lutter contre la faim dans le monde ou contre le sida, ou pour toute autre cause aussi noble que celles-là. Non, dans ce cas, la chose la plus importante sera de le dire. De dire que cette vision qui imprègne, en Occident, toute notre culture, nos médias, notre éducation n'est pas celle qui correspond à nos connaissances les plus récentes sur le réel. Car quoique cela puisse paraître un sujet très éloigné de nos préoccupations quotidiennes et des problèmes auxquels nous devons faire face, il s'agit d'une condition nécessaire (mais non suffisante !) à notre survie, la seule qui fera apparaître une

1. Même si, bien sûr, on ne peut prétendre le démontrer à 100 %.

LA QUESTION LA PLUS IMPORTANTE QUI SOIT

nouvelle source de lumière remplaçant celle qu'a fait exploser le « désenchantement du monde ».

Donc, les questions traitées ici n'ont pas qu'un intérêt philosophique ou métaphysique, mais sont fondamentales, parce que ce sont des questions de civilisation.

Prêt pour le grand voyage à travers le réel, à la recherche de lumières sur la question du sens de notre existence ?

Alors allons-y !

II

Qu'est-ce que le réel ?

Au-delà de cette limite, notre vision du monde n'est plus valable

« Quiconque n'est pas choqué par la mécanique quantique quand il la découvre ne l'a certainement pas comprise. »

Niels Bohr

Le premier chapitre nous a montré comment l'évolution des connaissances nous avait amenés au cadre conceptuel suivant : nous vivons dans un univers où le temps, l'espace, l'énergie et la matière forment le cadre de ce qui est.

Le principe de causalité règne en maître absolu : tout ce qui se produit dans l'Univers a une cause physique. L'idée qu'une action commise à un endroit puisse avoir un effet à un autre sans que le moindre lien physique existe entre les deux est une pure absurdité.

Quelles que soient les bizarreries que recèle l'Univers, il repose sur des bases sûres telles que les notions de « force », de « trajectoire », ou de « point matériel », toutes claires et distinctes et qui nous permettent de comprendre comment l'Univers fonctionne.

Le réductionnisme est une méthode adéquate pour explorer la réalité.

Forts des progrès que ces conceptions ont apportés à l'humanité depuis plusieurs siècles, les scientifiques étaient confiants dans leur caractère désormais établi.

Revenons en 1900, car c'est à cette date que commence le voyage. À cette époque de certitude, lord Kelvin annonçait que la fin de la physique était proche¹. Quelque chose inquiétait

1. « Rien de nouveau ne sera désormais découvert en physique. Les seuls progrès consisteront en des mesures de plus en plus précises. » (!)

pourtant notre lord, à savoir deux petits « nuages sombres », deux problèmes encore inexpliqués : l'expérience de Michelson-Morley et celle du rayonnement d'un corps noir. Or, ces deux petits nuages deviendront deux tornades qui auront pour noms relativité et physique quantique et qui balaieront les conceptions de la physique de Newton !

Ce sont les faits qui ont conduit à cette révolution conceptuelle que nous analyserons dans cette partie portant sur la physique quantique (nous nous pencherons sur la relativité dans la partie suivante).

Des notions de base déjà étranges

Le problème du « rayonnement d'un corps noir » repose sur des anomalies du spectre d'un corps noir lorsqu'il est chauffé. Le rayonnement qu'émet un tel corps se situe d'abord dans l'infrarouge, puis dans le visible, puis dans l'ultraviolet (le fer, par exemple, rayonne dans le visible de 600 à 2 000 °C). Or, il s'avéra impossible d'établir une loi rendant compte à la fois des observations dans l'ultraviolet et dans l'infrarouge.

C'est ce problème, pouvant paraître d'un intérêt mineur, qui provoquera, telle la carte que l'on retire du château, le début d'un cataclysme conceptuel (c'est là l'un des pouvoirs de la science : petites causes, grands effets).

En effet, pour résoudre ce problème, Planck proposera en 1900 l'hypothèse des quanta (desquels dérive le terme « quantique »). Il proposa que le rayonnement du corps se fasse par quanta (entités indivisibles) contenant chacun une énergie égale à $h\nu$, ν étant la fréquence de la radiation et h , une constante égale à $6,626 \cdot 10^{-34}$ joules-secondes. De ce fait, l'énergie est émise de façon discontinue.

Bien qu'il portât sur un domaine limité, ce concept parut tellement révolutionnaire – c'était la première fois qu'une discontinuité de cet ordre était mise au jour dans la nature – que, pendant plusieurs années, Planck lui-même lutta contre sa propre théorie en essayant de l'intégrer de force dans la théorie classique. Mais il fallut se rendre à l'évidence : il n'y avait pas d'autre manière d'expliquer le problème du rayonnement du corps noir

(si la constante de Planck était plus élevée, le monde serait très étrange. George Gamov a imaginé la vie dans un tel univers¹).

Mais les ravages de h ne faisaient que commencer. En 1905, Einstein montra que l'effet photo-électrique (le fait que la lumière peut créer un courant électrique en arrachant les électrons du métal) implique que la lumière soit constituée de corpuscules qui seront appelés « photons » : un électron est éjecté lors d'un choc avec un photon à condition que celui-ci soit porteur d'une énergie suffisante² (la constante h intervient dans le calcul de cette énergie).

Ce résultat est encore bien plus surprenant que le premier, car si Newton concevait déjà la lumière comme ayant une nature corpusculaire, cette conception était tombée en désuétude à cause d'une expérience prouvant justement que la lumière avait un caractère ondulatoire.

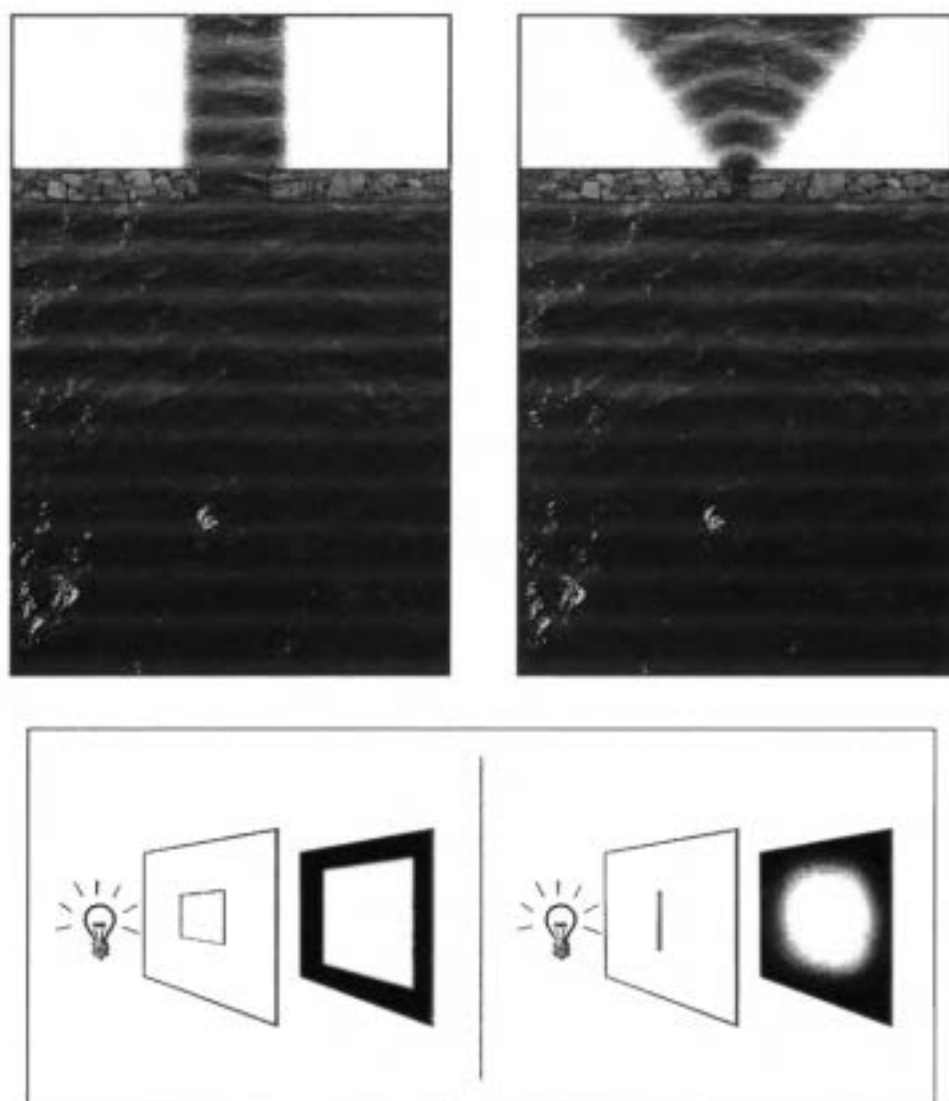
Cette expérience, c'était celle dite des « fentes de Young ». Si vous jetez une pierre dans l'eau, vous verrez, centrées sur le point de chute de la pierre, des vagues se propager à la surface.

Si vous mettez dans l'eau un muret percé d'un trou de faible largeur (cf. figure 4.1), vous verrez un phénomène de diffraction : au-delà du trou, les vagues se répandront dans toutes les directions, alors qu'elles progresseront en ligne droite si le trou est plus large. La lumière aura le même comportement : la forme de la tache lumineuse sur l'écran ne correspond plus à celle de la fente si celle-ci est étroite, alors que c'est le cas si elle est grande (cf. figure 4.2).

Maintenant, imaginez qu'il y ait deux trous de petite taille dans le muret de la figure 4.1. Il y aura alors, au-delà du muret, deux phénomènes de diffraction, chacun centré sur un trou. Lorsque les vagues issues de ces deux trous se rencontreront, il se produira un phénomène dit d'*interférence* : à certains endroits, les vagues s'annuleront et l'eau sera calme (creux + bosse = plat !), lorsque, à d'autres, elles se renforceront (bosse + bosse = super bosse !).

1. George Gamov, *Mr Tompkins au pays des merveilles*, Le Pommier, 2002.

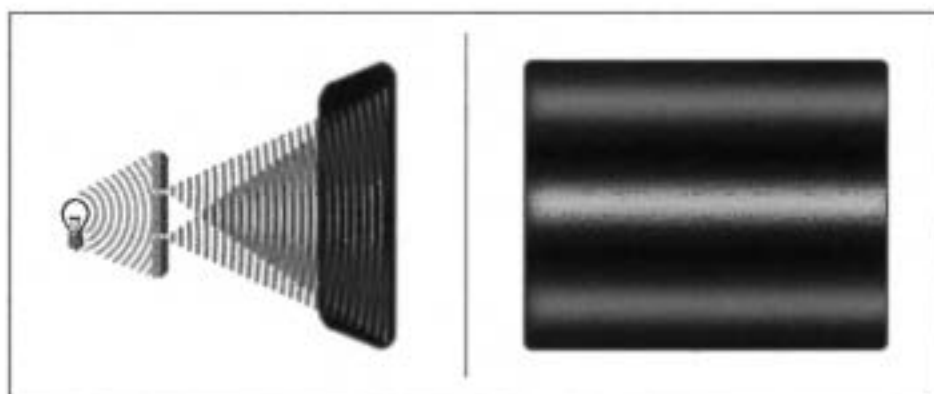
2. Si les photons ne possèdent pas cette énergie, aucun électron n'est éjecté, même si l'on envoie un très grand nombre de photons (effet seuil) car il s'agit d'une interaction binaire entre un électron et un photon.



Figures 4.1 et 4.2.

Le phénomène de diffraction : quand une vague « explose » ;
la diffraction avec de la lumière.

Eh bien, la lumière produit aussi des interférences, comme le montre la figure 4.3. Vu de face (cf. figure 4.4), le mur montre une alternance de raies sombres et lumineuses. Lorsque les ondes s'annulent les unes les autres, on dit qu'elles sont en « opposition de phase » (cela correspond à la situation « creux + bosse »). Lorsqu'elles se renforcent (comme les vagues dans la situation « bosse + bosse »), on dit qu'elles sont en phase.



Figures 4.3 et 4.4.
Le phénomène d'interférence :
l'interaction entre deux diffractions.

Ainsi, à certains endroits, lumière + lumière = obscurité ! Cela nous montre donc que la lumière est bien une onde puisqu'elle permet d'obtenir des phénomènes de diffraction et d'interférence qui sont caractéristiques d'une structure ondulatoire telle qu'une vague. On appelle cela l'« expérience des fentes de Young ». Et voilà qu'Einstein nous montre que la lumière est composée de particules ! Cela jeta un grand trouble chez les physiciens. Comme nous le rapporte Banesh Hoffmann qui fut l'élève d'Einstein : « Il est bon que le lecteur se rende compte par lui-même de la torture endurée par les physiciens de cette époque. Ils ne pouvaient faire autrement que de la supporter bon gré mal gré et erraient, çà et là, la mine sombre, disant d'une voix triste et plaintive que les lundis, mercredis et vendredis, ils considéraient la lumière comme une onde, et les mardis, jeudis et samedis, comme une particule. Les dimanches, tout simplement ils priaient¹. »

Cependant, la lumière ne fut pas seule à être prise dans la tourmente. Le tour de la matière arrive, dès 1913, lorsque Niels Bohr introduit la discontinuité au cœur de l'atome en montrant (toujours à l'aide de h) que les électrons ne peuvent occuper que des orbites particulières autour du noyau et qu'ils passent

1. Banesh Hoffmann, *L'étrange histoire des quanta*, Seuil, coll. « Points », 1981, p. 50.

de l'une à l'autre... sans passer par la moindre orbite intermédiaire !

Puis, Werner Heisenberg établit son fameux « principe d'incertitude », dans lequel h joue également un rôle central. Lorsqu'on veut mesurer la vitesse et la position d'une particule, des incertitudes apparaissent dont le produit est toujours supérieur à h^1 .

Une incertitude fondamentale existe dans la nature : on ne peut connaître de façon précise tout à la fois la position et la vitesse d'une particule.

Ce principe a d'abord été interprété en termes classiques : si l'on veut « voir » un électron, il faut l'« éclairer », donc lui envoyer des photons, ce qui le perturbe et modifie sa vitesse. Et si l'on essaie de moins le perturber en lui envoyant des photons moins énergétiques (c'est-à-dire ayant une fréquence moins élevée), on ne peut plus le « voir » de façon suffisamment claire pour connaître sa position.

La réalité est, en fait, bien plus étrange : on ne peut même pas dire que les particules aient une position et une vitesse lorsqu'on ne les observe pas ! En toute rigueur, il vaudrait mieux parler de principe d'indétermination (la position et la vitesse des particules ne sont pas déterminées hors de l'observation) que de principe d'incertitude (qui laisse entendre que cette position et cette vitesse existent mais qu'on ne les connaît pas).

Quoi qu'il en soit, ce principe représente la première différence cruciale qui existe entre la physique classique et la nouvelle physique que l'on appellera « quantique » : il nous montre que, au niveau microphysique, *l'observation n'est plus neutre*, elle agit sur l'objet observé.

Le deuxième grand bouleversement se produisit lorsque, partant de l'idée que la lumière, considérée comme une onde, pouvait également être considérée comme formée de particules, Louis de Broglie montra en 1923 qu'il était possible d'attribuer une fréquence (et donc des ondes) aux particules matérielles ! Cette « théorie ondulatoire de la matière » fut accueillie avec

1. Le produit de l'incertitude sur la quantité de mouvement q (qui est égal à la vitesse multipliée par la masse de la particule) par l'incertitude sur la position est supérieur à h ($\Delta p \cdot \Delta q \geq \frac{h}{2\pi}$).

scepticisme (sauf par Einstein), mais bientôt des expériences la confirmèrent¹.

Lorsqu'un électron se rencontre lui-même

Remplaçons dans la figure 4.3 la source de lumière par un canon à électrons capable d'envoyer des électrons un par un (donc ne pouvant pas interférer avec d'autres électrons) en direction des deux fentes. Ces électrons arrivent un à un sur l'écran, *a priori* de façon complètement aléatoire. Pourtant, au bout d'un certain temps, on constate que les électrons forment eux aussi des franges d'interférence sur l'écran (comme c'est le cas pour la lumière) en se regroupant sur certaines lignes et en évitant soigneusement certaines zones (cf. figures 4.5 A, B et C) !

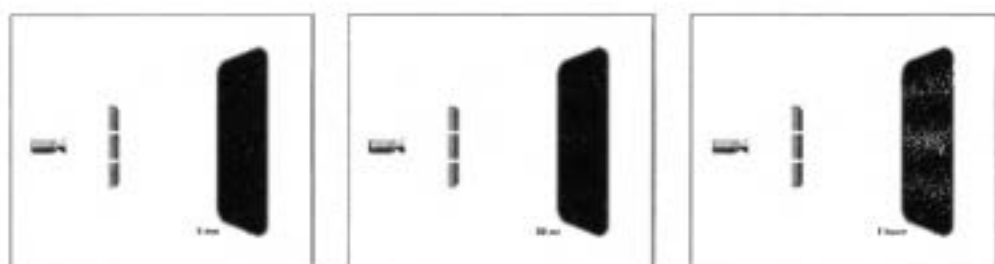
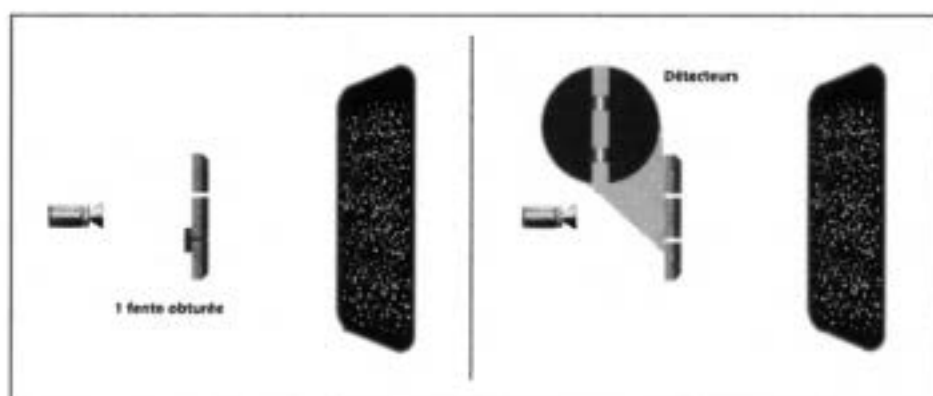


Figure 4.5 A, B et C.

Le résultat d'une expérience d'interférence avec des électrons :
ils se comportent comme des ondes !

Si l'on ferme l'une des deux fentes (cf. figure 4.6), alors les électrons se répartissent sur tout l'écran au lieu de se regrouper autour de certaines lignes horizontales (comme sur la figure 4.5 C).

1. Clinton Joseph Davisson et Lester Halbert Germer firent dès avril 1925 une expérience permettant de prouver cette théorie. Ils reçurent pour cela le prix Nobel en 1937. Il ne s'agit pas exactement de la même expérience que celle décrite ici, mais les conclusions en sont les mêmes.



Figures 4.6 et 4.7.

Expérience de Young modifiée.

4.6 : Une seule fente est ouverte : c'est une diffraction.

4.7 : Deux fentes sont ouvertes mais il y a un contrôle aux fentes : c'est comme s'il n'y avait qu'une seule fente ouverte !

Cela montre bien que les *électrons ont la potentialité d'aller sur tout l'écran* lorsqu'ils passent par une fente. Si les électrons étaient donc semblables à de très petits grains de sable, ils recouvriraient l'écran deux fois plus lorsque les deux fentes sont ouvertes que lorsqu'une unique fente l'est. On n'imagine tout de même pas qu'un électron qui arrive sur l'une des deux fentes se dise : « L'autre fente est ouverte, donc je vais simuler le comportement d'une onde. »

Mais, au fait, par quelle fente passent les électrons lorsque les deux fentes sont ouvertes ? Pour le savoir, un détecteur est installé sur les fentes (cf. figure 4.7 – il s'agit d'un jet de photons qui interfère avec les électrons).

On constate alors que les particules passent sagement par une fente ou par l'autre. Mais (deuxième surprise !), le résultat de l'expérience sur l'écran est le même que celui de la figure 4.6 et non pas celui de la figure 4.5.

Résumons toute cette histoire qui doit déjà commencer à vous paraître folle :

1) Lorsqu'une seule fente est ouverte dans le mur, les électrons recouvrent tout l'écran.

2) Lorsque deux fentes sont ouvertes dans le mur, bien que les électrons aient deux fois plus de possibilités de franchir le mur,

ils se concentrent tous dans des zones qui ne couvrent que la moitié de l'écran.

3) Lorsque deux fentes sont ouvertes dans le mur mais que l'on contrôle par quelle fente passe chaque électron, les électrons recouvrent de nouveau tout l'écran.

Comment comprendre un tel comportement ?

Tout se passe comme si l'électron était une onde lorsqu'on ne l'observe pas ; c'est cet aspect ondulatoire qui lui permet de passer par les deux trous en même temps et de se « rencontrer lui-même¹ ». En revanche, dès qu'il est observé ou qu'il interagit avec quelque chose (ce point est fondamental et sera discuté au chapitre 6), il nous montre son visage de particule.

Pour qu'une telle transition soit possible, il faut qu'un phénomène tout à fait étonnant se produise : la « réduction du paquet d'ondes » par laquelle l'électron-onde, largement « étalé » dans l'espace comme toute onde, devient – instantanément – un corpuscule très, très petit. Et ce phénomène peut, bien entendu, se produire dans l'autre sens : « Quand je ne l'observe pas, l'électron rejette son masque de particule et revêt son masque d'onde². »

Le côté irritant de cette situation, c'est que nous ne verrons jamais un électron sous sa forme ondulatoire, car il agit tels des élèves prenant une posture d'enfants sages lorsque le directeur ouvre la porte et ne reprenant le chahut qu'après son départ ; seules des expériences comme celle décrite ici nous montrent, de manière indirecte, que l'électron paraît bien être dans un état ondulatoire lorsqu'il n'est pas observé. Mais alors, comment devons-nous nous représenter un électron ?

Sven Ortoli et Jean-Pierre Pharabod utilisent l'exemple du *poisson soluble* pour nous aider à acquérir une vision plus proche de la réalité : un poisson nage dans une mare boueuse ; le pêcheur ne le voit pas. Pour la physique quantique, le poisson n'est pas en un point précis : il est « dissous » dans la mare, c'est un poisson soluble. Et c'est uniquement quand on le pêche que l'on peut savoir où il se trouve. De même, si on le jette à l'eau ensuite, se re-dissout-il !

1. On dit qu'il est dans une « superposition d'états » : il est à la fois dans l'état « l'électron est passé par la fente 1 » et dans l'état « l'électron est passé par la fente 2 ».

2. Trinh Xuan Thuan, *La mélodie secrète*, op. cit., p. 289.

Nous pouvons maintenant construire une représentation de l'expérience présentée.

1) Lorsqu'une seule fente est ouverte, les électrons sont ondulatoires dès qu'ils quittent le canon à électrons. Ils passent en état ondulatoire par la fente ouverte, ils diffractent (cf. figure 4.6), ce qui leur permet d'aller sur tout l'écran.

2) Lorsque les deux fentes sont ouvertes, la conclusion qui en découle nous laisse pantois : « Il n'y a pas d'autre issue possible, la dure conclusion est inévitable... que nous le voulions ou non, cet électron isolé est passé par les *deux* ouvertures en même temps et à la sortie, il a interféré avec lui-même¹ ! »

Bien sûr, tout le monde admet qu'un électron ne se coupe pas en deux comme un melon et que l'électron passe donc par les deux fentes sous forme ondulatoire². C'est cela qui permet l'interférence avec lui-même et l'apparition de franges d'interférence sur l'écran (on se retrouve dans une situation identique aux figures 4.3 et 4.4).

3) Lorsque le contrôle est mis en place sur les fentes, une première réduction du paquet d'ondes a lieu au niveau de celles-ci. L'électron se réduit et passe par une fente et une seule sous forme d'une particule. Dès qu'il a quitté la fente, il redevient ondulatoire. Mais c'est trop tard, il ne peut plus interférer avec lui-même, étant passé par une seule fente. Il ne peut que diffracter, d'où un résultat semblable au cas dans lequel une seule fente est ouverte – bien que les deux fentes le soient –, c'est-à-dire celui de la figure 4.6 et non celui de la figure 4.5 C.

Cette expérience est cruciale puisqu'elle permet de conclure que l'observation ne modifie pas seulement les propriétés des particules élémentaires, comme c'était le cas avec le principe d'incertitude de Heisenberg, mais également leur nature. Et cela

1. Banesh Hoffmann, *L'étrange histoire des quanta*, op. cit., p. 160.

2. Pour des raisons pédagogiques, je présente dans cette première approche de la mécanique quantique l'électron comme étant une onde qui se transforme en particule. En fait, la réalité est encore plus étrange. Selon le principe de complémentarité développé par Niels Bohr, si l'on veut se représenter ce qu'est un électron hors de toute observation (ce que Bohr aurait considéré comme étant dénué de signification !), il faut imaginer qu'il est *à la fois* une onde et une particule. C'est-à-dire qu'on ne peut même plus se représenter ce qu'est réellement un électron ou toute autre particule élémentaire puisque sa nature est contradictoire avec le sens commun.

est vrai pour l'électron mais aussi pour le neutron ou le proton et toutes les autres particules.

Mais qu'en est-il des atomes, me direz-vous ? Rien à faire, eux aussi permettent d'obtenir, en les projetant sur des cristaux, des phénomènes de diffraction et d'interférence : eux aussi sont donc des ondes lorsqu'on ne les observe pas ! « Entre le moment où l'atome a été envoyé vers le cristal et celui où il est de nouveau détecté, il passe par un état potentiel d'onde de probabilité¹. »

Nous voyons donc pourquoi cette histoire qui, dans un premier temps, paraissait se dérouler dans un monde lointain et étranger, nous concerne en fait de près : car nous, et les objets qui nous entourent, sommes constitués d'atomes ! Or, le modèle atomique « planétaire », représentant l'atome comme un système dans lequel des électrons-planètes tournent autour de noyaux-soleils, est faux. Pourtant, cette vision est largement dominante dans les milieux non spécialisés (et même dans les milieux spécialisés. Bernard d'Espagnat raconte que lorsqu'il était en poste au Cern à Genève, le service de communication avait choisi comme logo du papier à en-tête le modèle planétaire. Il le fit changer en arguant qu'un organisme comme le Cern ne devait pas donner au public une vision erronée des choses). La première conclusion est là dans toute sa splendeur : « Les objets que nous connaissons, les êtres vivants, ne sont pas des assemblages de micro-objets mais des combinaisons d'entités élémentaires qui, elles, ne sont pas des objets². »

D'autres conclusions dérivent de ce que nous venons de voir :

— Comme nous l'avons déjà évoqué, il n'y a pas seulement incertitude sur la trajectoire d'un électron, c'est la notion de trajectoire qui disparaît. Quand l'électron n'est pas observé, il n'a pas de trajectoire puisqu'il est partout à la fois. Mais si on le place dans un dispositif tel qu'une chambre à bulles, on fera alors apparaître une trajectoire en interagissant avec lui.

— Il est impossible de savoir en quel point de l'écran un électron particulier va arriver, même si l'on connaît avec la plus grande précision les caractéristiques du canon à électrons. En effet, la fameuse réduction du paquet d'ondes est un phénomène

1. Sven Ortoli, Jean-Pierre Pharabod, *Le cantique des quantiques*, La Découverte, 1984, p. 67.

2. *Ibid.*, p. 63.

totale­ment aléatoire. La physique quantique intro­duit donc un indéterminisme radical dans notre monde. Il est toutefois impor­tant de noter que la physique quantique permet des prédictions extrême­ment précises sur le comporte­ment des particules élé­mentaires, mais de façon globale. Ainsi, elle pourra prédire la figure que formeront des milliers de particules arrivant sur un écran, mais non le point d'arrivée d'un électron particulier.

La non-localité, porte ouverte vers une autre réalité

Après ce que nous venons de voir, on pouvait penser que les ravages de la physique quantique s'arrêteraient là, mais le pire (ou le meilleur !) était encore à venir ! Niels Bohr était persuadé que la physique quantique était complète, c'est-à-dire que le travail était terminé et que la représentation des fondements de la réalité qui en découlait était la meilleure possible. Mais cette représentation était trop floue pour satisfaire Einstein ; il la combattait en mettant au point des « expériences de pensée » dont le simple énoncé devait démontrer que la physique quantique était incomplète. Dès l'idée émise, Bohr démontrait *illico* que la physique quantique pouvait avaler cette nouvelle couleuvre et donc garder son statut de théorie achevée.

Pour des raisons philosophiques (« Dieu ne joue pas aux dés »), la cible prioritaire d'Einstein était le principe d'incertitude. Werner Heisenberg a témoigné de l'intensité extraordinaire de leurs « joutes intellectuelles » durant le célèbre congrès Solvay de 1927 : « Nos controverses commençaient en général tôt le matin, Einstein nous exposant au petit déjeuner une nouvelle expérience idéale susceptible, à son avis, de contredire le principe d'incertitude. Bien entendu, nous commençons immédiatement à analyser cette expérience ; et sur le chemin vers la salle de conférences, où j'accompagnais en général Bohr et Einstein, une première clarification de la question posée et de l'affirmation formulée était réalisée. Au cours de la journée, de nombreuses discussions étaient menées sur ce problème, et en général nous arrivions le soir à un point où Bohr prouvait à Einstein, au cours du dîner, que l'expérience envisagée ne pouvait pas aboutir à une réfutation du principe d'incertitude. Einstein était alors quelque

peu inquiet, mais déjà le matin suivant, au petit déjeuner, il avait une autre expérience idéale, toute prête, à nous proposer, plus compliquée que la précédente, et à son avis susceptible de démentir définitivement le principe d'incertitude. Cette tentative devait elle aussi échouer le soir même¹... »

Après quelques jours de ce petit jeu, Einstein s'entendit dire par son ami Paul Ehrenfest : « Einstein, j'ai honte pour toi, car tu argumentes maintenant contre la nouvelle théorie quantique exactement de la même manière que tes adversaires contre la théorie de la relativité². » Peut-être cela fit-il réfléchir Einstein. Toujours est-il qu'il mit une sourdine à ses attaques. Cependant, il ne renonça pas. Et huit ans après, en 1935, il revint pour frapper un nouveau coup – qui, cette fois-ci, il en était sûr, était décisif – avec le « paradoxe EPR », du nom d'Einstein et de deux de ses collaborateurs, Boris Podolsky et Nathan Rosen.

Leur article, l'un des plus célèbres de l'histoire de la physique, s'intitule « Peut-on considérer que la mécanique quantique donne de la réalité physique une description complète ? ».

Puisque le principe d'incertitude nous dit qu'on ne peut connaître à la fois la position P d'une particule et sa vitesse V^3 , les auteurs proposent donc de prendre un système de deux particules corrélées A et B , qui ont été éjectées d'un même atome et sont parties dans des directions opposées à la même vitesse. La mesure de la position de A , $P(A)$, permet de déduire celle de B , $P(B)$. La mesure de la vitesse de B , $V(B)$, permet de déduire la vitesse de A , $V(A)$. On peut donc connaître la position et la vitesse de A et B au même moment, ce que la mécanique quantique ne peut pas faire⁴. Cette dernière est donc incomplète et le principe d'incertitude, remis en cause. Einstein a dû savourer cette phrase : « Nous nous voyons contraints de conclure que la description de la réalité physique donnée par les fonctions d'ondes n'est pas complète⁵. »

1. Werner Heisenberg, *La partie et le tout*, Flammarion, 1972, p. 116.

2. *Ibid.*

3. En fait, comme je l'ai déjà dit, il s'agit de la quantité de mouvement. Mais, ici, je parle de « vitesse » pour la clarté de l'exposition.

4. Donnée ici en raison de sa valeur didactique, cette présentation de l'argument est en fait abusivement simplifiée. Dans sa version d'origine, seule pertinente, l'argument est nettement plus complexe.

5. Albert Einstein, Boris Podolsky et Nathan Rosen, « Can quantum-mechanical description be considered complete? », *Physical Review* 47, 1935, p. 777-780.

Instruit par l'expérience du congrès Solvay, Einstein a longuement peaufiné son argument et prévient les critiques. Il a identifié une faille possible dans sa démonstration : on pourrait affirmer que la mesure de A ne modifie pas seulement l'état de A mais également celui de B. Dans ce cas, la mesure effectuée de la vitesse de B serait $V'(B)$ – c'est-à-dire « la vitesse de B après mesure de la position de A ». On en déduirait un $V'(A)$ qui serait différent de $V(A)$, valeur de la vitesse de A au moment où l'on a mesuré la position de A. Dans ce cas, le principe d'incertitude serait toujours valable.

Mais c'est impossible, nous dit Einstein. Car – et c'est là un des fondements de la relativité restreinte –, dans notre Univers, on ne peut pas dépasser la vitesse de la lumière (nous en verrons les raisons page 132). Donc il suffit que A et B soient suffisamment éloignés et que les mesures soient effectuées de manière suffisamment rapide pour qu'aucun signal ne puisse, partant de A, atteindre B avant que la mesure soit effectuée. On peut donc mesurer A *sans perturber aucunement* la mesure de B.

À ceux qui s'acharneraient tout de même à prétendre qu'une telle perturbation est possible, Einstein dit à l'avant-dernière phrase de l'article : « Aucune définition de la réalité un tant soit peu raisonnable n'autorise cela. »

Niels Bohr répondit immédiatement. Sa réponse est relativement obscure, même pour les physiciens professionnels. Néanmoins, il semble qu'il affirme – de façon plus ou moins voilée, peut-être à cause de l'énormité d'une telle proposition – que la mesure sur une particule aura bien un effet sur l'autre, où qu'elle se trouve : « La question essentielle est celle d'une influence sur les conditions mêmes qui définissent les types possibles de prédictions relatives au comportement futur du système¹. »

Einstein n'accepta jamais cette réponse : « On ne peut échapper à cette conclusion [que la théorie quantique est incomplète] qu'en supposant que la mesure pratiquée sur une particule modifie [télépathiquement] la situation réelle de l'autre particule, ou qu'en niant l'indépendance de situations réelles relative à des objets qui sont séparés spatialement les uns des autres. L'une et l'autre branches de l'alternative me semblent entièrement inacceptables². »

1. Niels Bohr, « Can quantum-mechanical description be considered complete? », *Physical Letters* 48, 1935, p. 696-702.

2. Albert Einstein dans Paul Schilpp (dir.), *Albert Einstein, philosopher scientist*, Harper et Row, 1949.

En effet, comme nous l'avons dit, si, lors de la mesure, les électrons sont suffisamment éloignés l'un de l'autre, l'influence, qui en fonction de la mesure de l'un modifie l'état de l'autre, doit être supralumineuse ! Einstein parlait (pour s'en moquer) de l'« action fantôme à distance » et soutenait le « principe de localité » selon lequel des mesures effectuées en un endroit ne sauraient avoir d'impact sur des mesures faites ailleurs de façon si rapide qu'aucun signal se propageant à la vitesse de la lumière n'a pu aller d'un endroit à l'autre.

Comment savoir la vérité ?

En 1965, John Bell montra qu'un test expérimental était possible¹, non pas avec des positions et des vitesses mais avec les polarisations des photons. La polarisation d'un photon est aléatoirement « + » ou « - » quand elle est mesurée dans une direction donnée. En faisant « sauter » des électrons d'une couche à une autre dans un atome, il est possible d'émettre un couple de photons qui donneront des réponses identiques quand on mesurera leur polarisation selon une même direction. En revanche, si l'on mesure la polarisation des membres d'un couple selon des directions différentes, alors cette « corrélation stricte » disparaît.

Pour mieux comprendre la situation, imaginons des jumeaux participant à un jeu télévisé. Installés dans deux cabines insonorisées, isolés l'un de l'autre, ils donnent exactement les mêmes réponses aux mêmes questions. On peut en déduire que les jumeaux ont les mêmes aptitudes et qu'ils ont acquis les mêmes connaissances durant leur vie. Mais alors que la corrélation entre leurs réponses continue au fur et à mesure que de nouvelles questions sont posées, une autre hypothèse peut venir à l'esprit : les jumeaux communiquent entre eux d'une façon ou d'une autre.

Donc, lorsque l'on constate ce type de corrélation, soit les réponses aux questions *préexistaient* dans les cerveaux de ces jumeaux avant le début du jeu, soit c'est grâce à une communication *au moment où on leur pose la question que la corrélation peut exister*. Vous me direz que cela importe peu. Mais lorsqu'il s'agit des deux particules, la différence entre les deux situations est vertigineuse.

Dans la première, les deux photons possèdent dès le début une polarisation qui, si elle est mesurée dans une direction

1. John Bell, *Physics* 1, 195, 1965.

quelconque (disons X), donnera la réponse « + ». Comme dans l'exemple des jumeaux, c'est la « vie commune » des particules avant leur séparation qui explique leur corrélation, et durant le trajet vers les appareils de mesure, les deux particules « portent » en elles des caractéristiques qui se « révéleront » à l'arrivée, lorsqu'on leur posera la question : « Quelle est la valeur de ta polarisation dans la direction X ? »

Comme cela est vrai quelle que soit la direction X, il en résulterait que chaque particule porterait en elle les caractéristiques de polarisation relatives à toutes les directions à la fois. Étant donné que cette dernière assertion est en contradiction avec les principes de base de la physique quantique, il faut conclure que celle-ci est incomplète et qu'il existe des « variables cachées » qui, si elles étaient connues, permettraient de prédire le résultat des mesures. C'était là, bien sûr, la position d'Einstein.

Mais, comme nous l'avons vu avec les jumeaux, il existe une deuxième possibilité à laquelle Niels Bohr osait à peine faire référence lorsqu'il parlait « d'influence » sur les conditions de l'expérience. Ici, les particules ne sont porteuses d'aucun « + » ou « - » durant leur parcours vers les instruments de mesure. À l'arrivée, lorsque l'une des particules répond, de façon *aléatoire* – par exemple « + » –, l'autre, de façon *totalelement coordonnée*, répond la même chose. Si la mesure n'avait pas été effectuée sur la première, la réponse à une mesure sur la deuxième aurait été totalement aléatoire. Mais lorsque l'on observe la réponse « + » de la première particule, on sait avec une certitude absolue que l'autre répondra « + » aussi.

Or, ces deux particules peuvent être très éloignées dans l'espace et les mesures, effectuées de façon suffisamment rapprochée pour qu'aucun signal allant à la vitesse de la lumière ne puisse « informer » une particule de la mesure que l'autre a subie.

Ainsi, si la deuxième hypothèse est la bonne, notre vision du monde est radicalement modifiée car nous avons alors un drôle de bébé sur les bras : l'« action fantôme à distance », dont Einstein disait qu'elle ne peut être acceptée par « aucune conception raisonnable de la réalité ».

Comment savoir quelle est la bonne hypothèse ? Ce que John Bell a montré dans son article de 1965 – cf. note p. 65 –, c'est que si l'on pose des questions différentes aux deux photons d'un même couple (par exemple, « Quelle est la valeur de ta polarisation en direction X » pour l'un, et « en direction Y » pour

l'autre), il existe des relations entre les résultats des mesures sur certains couples de photons, qui doivent toujours être respectées si la première hypothèse est vraie. Ces relations sont exprimées par des inégalités que l'on appelle les « inégalités de Bell » et qui portent sur les résultats de séries de mesures effectuées sur des couples de photons dont la polarisation de chaque membre a été mesurée dans une direction différente de celle de son « jumeau ». Si ces inégalités sont violées, cela constitue une démonstration de la fausseté de la première hypothèse, hypothèse selon laquelle les particules portent en elles des propriétés bien déterminées avant la mesure¹. Il ne reste plus alors qu'à accepter la deuxième hypothèse quelle que soit son étrangeté.

On a commencé à effectuer les mesures en question dans les années 1970 mais il manquait un ingrédient essentiel : il fallait accomplir les mesures dans un intervalle de temps si réduit qu'aucun signal se propageant de A à B à la vitesse de la lumière ne puisse arriver à temps pour permettre une communication entre les deux particules. Alain Aspect, Philippe Grangier et Gérard Roger ont alors mis au point une expérience de ce type à l'université Paris-XI. Les particules sont séparées par 12 mètres, les mesures sont réalisées en un milliardième de seconde (!). La lumière met 40 milliardièmes de seconde pour parcourir 12 mètres. Donc toute influence exercée par une mesure sur l'autre doit aller (au moins) quarante fois plus vite que la lumière.

En 1982, l'expérience livra un verdict implacable² : si l'on choisit d'effectuer ces mesures sur les photons dans certaines directions, les résultats violent les inégalités de Bell (et cela, qui plus est, dans les proportions prédites par la physique quantique !). Einstein avait tort, le principe de localité volait en éclats.

Une grande réunion fut organisée devant la fine fleur des physiciens afin d'en présenter les résultats, de nombreux articles ou ouvrages furent édités, la prédiction la plus incroyable de la méca-

1. Les lecteurs qui voudront comprendre pourquoi le viol des inégalités de Bell constitue une démonstration par l'absurde de la fausseté de l'hypothèse « raisonnable » pourront se reporter à l'ouvrage de Bernard d'Espagnat, *Traité de physique et de philosophie*, Fayard, 2002, p. 536-541, ainsi qu'à l'article de Bernard d'Espagnat, « Théorie quantique et réalité », *Pour la Science*, n° 27, janvier 1980, ou au chapitre 12 du livre de David Mermin, *Boojums all the way through*, Cambridge University Press, 1990.

2. Alain Aspect, Philippe Grangier et Gérard Roger, *Phys. Rev. Lett.*, 49, 91 (1982) et aussi 1804 (même année).

nique quantique était vérifiée, un des fondements, non seulement de la science classique, mais de toute conception « raisonnable » du monde, venait de disparaître, et puis... rien ou presque.

Certes, un grand nombre d'ouvrages a depuis, avec plus ou moins d'insistance, vulgarisé ces résultats. Mais enfin, nous aurions dû voir d'honorables physiciens courant, nus, sur les Champs-Élysées, comme leur célèbre prédécesseur Archimède, en criant : « *Eurêka*, la non-localité existe ! »

N'allez pas croire qu'il y ait le moindre atome de doute à propos de la réalité du phénomène. Non seulement la non-localité existe, mais cette existence ne dépend pas de l'interprétation que l'on donne de la mécanique quantique. Cela veut dire que l'eau pourra passer sous les ponts, les années et même les milliers d'années s'écouler, toute théorie physique relative à la nature du monde se devra d'intégrer la non-localité, de la même façon que toute théorie cosmologique future devra intégrer le fait que la Terre tourne autour du Soleil et que le Soleil tourne autour du centre de la galaxie.

Cela est proclamé par John Bell lui-même à trois reprises dans le même livre : « Nous ne pouvons éviter que l'intervention sur l'un des côtés ait une influence causale sur l'autre¹ », « certaines corrélations particulières sont localement inexplicables. Elles ne peuvent être expliquées sans action à distance² », « pour le dispositif expérimental décrit, cela ne serait pas seulement une mystérieuse influence à longue distance (une non-localité, ou action à distance au sens faible) mais une influence se propageant plus vite que la lumière, une non-localité au sens le plus strict et le plus indigeste³ ». Cela est même reconnu par Jean Bricmont, l'un des principaux porte-drapeau des physiciens les plus rationalistes et matérialistes : « La non-localité est une propriété de la nature établie à partir d'expériences et de raisonnements élémentaires, indépendamment de l'interprétation que l'on donne au formalisme quantique. Par conséquent, toute théorie ultérieure qui pourrait remplacer la mécanique quantique devra également être non locale⁴. »

1. John Bell, *Speakable and unspeakable in quantum mechanics*, Cambridge University Press, 1987, p. 150.

2. *Ibid.*, p. 152.

3. *Ibid.*, p. 153.

4. Jean Bricmont, « Contre la philosophie de la mécanique quantique », dans *Les sciences et la philosophie. Quatorze essais de rapprochement*, sous la direction de Robert Franck, Vrin, 1995, p. 131-179.

Néanmoins, il y a en fait *deux* façons de considérer le phénomène : soit, comme vient de le dire Bell, il s'agit d'une influence qui ne peut être véhiculée par de la matière ou de l'énergie (car sinon elle ne pourrait pas aller plus vite que la lumière) et qui s'exerce d'une particule sur l'autre : on parle alors de « non-localité » car elle viole le principe de localité tel que Einstein le concevait. Soit, comme le pensent une majorité de physiciens actuels, les deux particules *forment un seul et même objet* même lorsqu'on les mesure dans des instruments pouvant, en théorie, être séparés par des milliers de kilomètres. On parlera alors plutôt de « non-séparabilité » car les deux particules ne peuvent pas être séparées (tant qu'on n'a pas effectué de mesure sur elles). Il semble, pour des raisons que nous verrons au chapitre 6, que c'est cette deuxième interprétation qui paraisse la plus probable.

De toute façon, comme le dit Bernard d'Espagnat : « En ce qui concerne la non-séparabilité, les deux descriptions sont équivalentes. Dans l'un comme dans l'autre cas, une violation de la séparabilité einsteinienne nécessite une interaction instantanée à distance, soit entre deux systèmes distincts, soit à l'intérieur d'un seul et même système étendu dans tout l'espace¹. »

On voit, dans un cas comme dans l'autre, qu'il n'y a pas d'échappatoire possible : nous sommes conduits à réviser radicalement nos conceptions relatives aux fondements mêmes de la réalité.

C'est la raison pour laquelle ce résultat est d'une telle importance : il s'agit d'une évolution majeure de nos connaissances. Au-delà de cette expérience, toute une série de visions du monde ne sont plus valables, vous pouvez les jeter comme votre ticket usagé lorsque vous sortez du métro.

Lors du passage à l'an 2000, de nombreux bilans du XX^e siècle furent réalisés. À la question « Quels seront les trois événements du XX^e siècle dont on se souviendra encore dans mille ans ? », des physiciens répondirent :

— Le débarquement de l'homme sur la Lune (comme le voyage de Christophe Colomb, on ne risque pas d'oublier un tel saut dans l'espace) ;

— Le nucléaire (avec l'existence de déchets à très longue durée de nocivité, on ne risque pas de l'oublier non plus !) ;

1. Bernard d'Espagnat, « Théorie quantique et réalité », *Pour la Science*, n° 27, janvier 1980, p. 86.

— L'expérience prouvant la non-localité (ou la non-séparabilité).

Il peut paraître incroyable de placer une obscure expérience scientifique dans un tel palmarès avant même d'évoquer les deux guerres mondiales. Mais une guerre mondiale, même avec un bilan de cinquante millions de morts, ne change pas forcément la vision du monde d'une civilisation (cf. p. 437 pour un exemple justifiant cette position).

Alors pourquoi chacun ne parle-t-il pas de la non-localité ? Pour les mêmes raisons qu'il a fallu deux siècles pour nommer le XVI^e siècle, « le siècle de la révolution copernicienne ». Tout d'abord, dans le tumulte du quotidien, seule une minorité d'esprits peut percevoir les mutations essentielles. Ensuite, dans une période de changement de paradigme, même les esprits les plus brillants abandonnent avec réticence les concepts sur lesquels repose leur vision du monde.

Ainsi, aujourd'hui, de nombreux physiciens professionnels tendent à diminuer l'importance de la non-séparabilité, voire racontent-ils des choses fausses à son sujet, Jean Bricmont écrit : « La majorité des physiciens n'est pas dérangée par le paradoxe EPR. Mais cette majorité se divise en deux types. Ceux du premier type expliquent pourquoi cela ne les dérange pas. Leurs explications tendent à être entièrement à côté de la question ou à contenir des assertions dont on peut montrer qu'elles sont fausses. Ceux du deuxième type ne sont pas dérangés et refusent de dire pourquoi. Leur position est inattaquable (il existe encore une variante de ce type qui dit que Bohr a tout expliqué mais refuse de dire comment)¹. »

La désinformation la plus grave au sujet du paradoxe EPR consiste à affirmer : « Il n'y a aucune action à distance dans les expériences de type EPR »... et à ne rien ajouter.

Nous avons vu que nous pouvions dire cela... à condition d'accepter l'idée que les deux particules forment un seul et même objet, même lorsqu'elles sont dans des instruments de mesure séparés par des dizaines de kilomètres. Dans une telle situation, on ne peut plus parler d'action d'une particule sur l'autre puisqu'il n'y a plus qu'un seul objet ! Donc on peut affirmer qu'il n'y a pas d'action à distance *uniquement* si l'on rajoute que dans

1. Jean Bricmont, « Contre la philosophie de la mécanique quantique », ouvr. cit., p. 152.

ce cas, nos concepts familiers relatifs au temps et à l'espace doivent être remis en cause encore plus profondément que s'il y avait une mystérieuse « action fantôme » entre les deux particules.

Développons une petite analogie afin de mieux comprendre la situation. Nous sommes au XVIII^e siècle. Un siècle après Galilée, 99,9 % de la population croit que la Terre se trouve au centre du monde. Un petit groupe d'esprits éclairés affirme néanmoins que la Terre tourne autour du Soleil, ce qui lui vaut de nombreuses critiques.

Mais voilà que des savants déclarent : « Il est inexact d'affirmer que la Terre tourne autour du Soleil », rendant la position des pionniers du système héliocentrique encore plus ardue. Ceux-ci vont alors trouver ceux-là pour leur demander des explications. Ces derniers leur répondent :

« La Terre et le Soleil tournent autour du centre de la galaxie. Le mouvement de la Terre autour du Soleil est donc négligeable par rapport au véritable mouvement de la Terre.

— Mais alors dites-le ! Avec ce que vous avancez, les gens vont continuer à croire que la Terre se trouve au centre du monde !

— Oh, vous savez, aujourd'hui, personne ne peut imaginer ce qu'est une galaxie. »

À notre époque, l'immense majorité de nos concitoyens (du moins en Occident) croient que la réalité est totalement incluse dans le temps et l'espace. Un petit groupe de pionniers tente de leur expliquer que ce n'est pas le cas. Une des façons les plus simples de le faire (vu la complexité de la question) est de dire qu'il y a des influences qui entre deux particules échappent au temps et à l'espace puisqu'elles sont instantanées, quel que soit l'espace séparant ces deux particules, et ne reposent ni sur la matière ni sur l'énergie.

Lorsque de grands physiciens affirment que de telles influences n'existent pas, la réaction évidente du public est de penser que rien n'a changé et que la vision classique du monde reste valable. Alors que, comme nous l'avons vu, pour pouvoir affirmer que de telles influences n'existent pas, il faut encore davantage modifier nos conceptions du temps et de l'espace que si elles existaient.

Un exemple emblématique d'un scientifique effectuant ce type de démarche est celui du prix Nobel de physique Murray Gell-Mann. Dans un ouvrage de vulgarisation, il affirme : « Nul signal

ne passe d'un photon à l'autre. Il n'y a aucune action à distance¹ », laissant ainsi le lecteur penser que rien ne vient perturber la vision classique du monde. Dans son cas, c'est encore plus incroyable, car il est l'auteur, avec Jim Hartle, d'une interprétation de la mécanique quantique visant à restaurer « l'objectivité forte » (voir page 78 pour la définition de cette notion). Or, dans ce cas, comme le montre Bernard d'Espagnat², l'action à distance est la seule interprétation possible !

Il faut, à l'inverse, rendre hommage à ceux qui, comme Jean Bricmont, tout en pourfendant le rapprochement de la science et de la religion et en adhérant à l'union rationaliste, sont d'une honnêteté et d'une lucidité irréprochables. Ainsi, Bricmont compare la non-localité à l'action d'un magicien (certes il précise bien qu'il ne s'agit que d'une analogie !) capable d'agir à distance sur une personne en manipulant son effigie quelle que soit la distance qui les sépare. Il dit, à juste titre, qu'on ne peut pas transmettre d'information en utilisant la non-localité. « Mais les autres aspects sont bien là, et ils sont déconcertants : instantanéité, individualité, non-décroissance avec la distance. » Et Bricmont n'hésite pas, pour qualifier cette action – « qui ne décroît pas avec la distance, contrairement à toutes les forces connues en physique » et qui « se propage plus vite que la vitesse de la lumière » –, à parler des propriétés « magiques » de la non-localité³.

Bravo ! Mais il est savoureux de noter que Bricmont est le co-auteur, avec Alan Sokal, d'un ouvrage qui fait suite à un canular du même Sokal. Celui-ci, voulant dénoncer les propos absurdes de certains philosophes et sociologues adeptes du relativisme, a réussi à publier dans une revue qui fait référence un texte rempli d'absurdités.

Or, dans cette parodie, il affirme qu'« une observation faite ici et maintenant peut non seulement affecter l'objet observé mais également un autre objet, aussi éloigné que l'on veut du premier. Ce phénomène – qu'Einstein appelait “fantomatique” – impose une réévaluation radicale des concepts mécanistes traditionnels

1. Murray Gell-Mann, *Le quark et le jaguar*, Albin Michel, 1996, p. 196-197.

2. Bernard d'Espagnat, *Traité de physique et de philosophie*, Fayard, 2002, p. 545-548.

3. Jean Bricmont, « Contre la philosophie de la mécanique quantique », in *op. cit.*, p. 150-151.

d'espace, d'objet, de causalité et suggère une vision du monde alternative dans laquelle l'Univers est caractérisé par l'interconnexion et le holisme¹ ».

Sachant qu'il s'agit d'une parodie, le lecteur pourrait croire que cela est exagéré ou faux. Or non seulement cela est rigoureusement exact, mais ces propos sont plutôt moins audacieux que ceux énoncés par Jean Bricmont quand il présente tout à fait sérieusement le même phénomène !

Comme le disent Sven Ortoli et Jean-Pierre Pharabod, auteurs d'un ouvrage qui, vingt ans après sa parution, reste encore le meilleur moyen pour le néophyte d'aborder la révolution quantique, « la physique quantique porte en elle les germes d'une immense révolution culturelle qui, pour le moment, n'a été réalisée qu'à l'intérieur d'un petit cénacle de grands scientifiques² ».

Ce chapitre et les deux suivants ont pour but d'agrandir ce cénacle...

1. Alan Sokal et Jean Bricmont, *Impostures intellectuelles*, Odile Jacob, 1997, p. 217.

2. Sven Ortoli et Jean-Pierre Pharabod, *Le cantique des quantiques*, *op. cit.*, p. 7.

Vers un réalisme non physique

« Très vite, on se prend à penser que l'espace et le temps n'ont pas de véritable réalité. »

Richard Bach,
Jonathan Livingston le Goéland

Voici donc les faits :

- L'observation n'est plus neutre.
- Une incertitude inévitable existe dans le monde des particules élémentaires.
- Les constituants fondamentaux de tous les objets ne se comportent pas comme des objets et ne peuvent pas être conçus comme des objets.
- Soit des interactions non locales, ne reposant pas sur de l'énergie, existent dans l'Univers, soit la réalité ultime n'est pas située dans l'espace-temps.

Quelles sont les interprétations possibles de tout cela ?

Et si la science n'avait rien à dire sur la réalité ?

L'interprétation la plus classique est celle dite « de Copenhague » (à cause de l'influence de Niels Bohr). La majorité des physiciens actuels l'adoptent car elle leur permet de ne pas se poser de questions philosophiques. Bohr nous dit : « La physique quantique porte non pas sur la réalité mais sur la connaissance que nous en avons. » Donc « la physique quantique permet simplement à des observateurs disposant d'appareils de mesure de représenter

correctement les observations. Il est vain et sans signification de chercher à expliquer pourquoi elle marche. Il suffit de constater qu'elle marche et d'appliquer son formalisme¹ ».

En d'autres termes, la physique quantique prévoit les résultats des expériences, mais il est vain de chercher à se représenter la réalité qui pourrait exister (ou qui pourrait ne pas exister) derrière les phénomènes observés. Cela permet, certes, de s'épargner des migraines, mais, pour ceux qui voudraient comprendre la nature du monde, l'interprétation de Copenhague est, selon l'expression d'Étienne Klein, une « machine à fabriquer des frustrés ».

Certains adeptes de cette interprétation, tel Pascual Jordan, plongent totalement dans l'idéalisme. Il va, en effet, jusqu'à ôter toute signification à la question de l'existence d'une quelconque réalité : « Une méprise commune est celle selon laquelle, du point de vue positiviste, l'existence du monde extérieur serait niée. La négation d'une proposition dénuée de sens est une proposition dénuée de sens ; l'idée de la non-existence d'un monde extérieur réel n'a pas plus de sens que son existence. L'un et l'autre ne sont ni vrais ni faux : ils sont dénués de sens². »

Il n'est cependant pas nécessaire d'adopter une position si extrême pour avoir des problèmes avec la notion de réalité. L'interprétation de Copenhague ne nous permet en aucune façon de parler de l'existence de l'électron (et encore moins de ses propriétés) lorsqu'il n'est pas observé. Cela est très proche de l'idéalisme. Comme le dit Bernard d'Espagnat, il y a une ambiguïté dans la position de bien des physiciens qui prétendent y adhérer : « Dans leur immense majorité, les physiciens font usage de la mécanique quantique plus qu'ils ne cherchent à en étudier les fondements. Leur justification ? C'est que, selon eux, ces fondements ont déjà été éclaircis depuis fort longtemps par l'école de Copenhague. Même les physiciens qui se disent réalistes adoptent volontiers une telle attitude. Savent-ils tous à quel point ils s'écartent ainsi de tout réalisme – ou matérialisme ! – au sens habituel de ces termes ? [...] Heisenberg – à une variante près – se range sous la bannière de Kant. De sorte que le réalisme de tous les physiciens qui, pour ce qui est des fondements, font confiance ainsi à leurs aînés, ce réalisme, c'est celui – relatif, on en conviendra ! – de la philosophie connue sous le nom d'idéalisme kantien. Mes excel-

1. Cité par Sven Ortoli et Jean-Pierre Pharabod, *Le cantique des quantiques*, op. cit., p. 83.

2. Pascual Jordan, *Anschauliche Quantentheorie*, Springer, 1936, p. 309.

lents collègues sont-ils tous pleinement conscients de cette coloration de leurs idées ? Ceux qui le sont osent-ils tous la révéler à leurs étudiants ou à leur public¹ ? »

Cette position (que l'on pourrait brutalement traduire par « Tais-toi et calcule ! ») a été illustrée par le prix Nobel de physique Richard Feynman dans son allégorie portant sur les Mayas. Les Mayas savaient prévoir les éclipses mais n'avaient pas la moindre idée de la nature réelle de la Lune et du Soleil. Supposons, nous dit Feynman, qu'un étudiant maya dise à son directeur de thèse que la Terre, la Lune et le Soleil peuvent être envisagés comme trois boules flottant dans l'espace, ce qui expliquerait les éclipses.

« Pourriez-vous prévoir autre chose que ce que nous prévoyons déjà ? lui demande le directeur.

— Non.

— Alors votre théorie ne sert à rien car seule compte l'expérience, s'occuper de la nature des choses est une attitude pré-scientifique, c'est une question qui relève de la métaphysique² ! »

Le réalisme non physique

Alors, que reste-t-il pour tous ceux qui veulent aller au-delà de l'idéalisme ? Il existe bien une position de type réaliste, mais il s'agit d'un « réalisme non physique », ce qui est aux antipodes de la pensée réaliste classique, associée, par la modernité, au matérialisme.

Prenons l'exemple d'un arc-en-ciel³. Vous pourriez d'abord croire, en en voyant un pour la première fois, qu'il s'agit d'un objet solide dont les deux extrémités reposent sur le sol (encore faut-il que vous ayez la chance de voir un arc-en-ciel complet). Puis, vous constatez que, lorsque vous bougez, il bouge avec vous. Est-ce à dire que l'arc-en-ciel est une illusion, une création de votre esprit ? Non, bien sûr, son existence dépend de la présence de gouttes d'eau dans l'atmosphère et de la réfraction des rayons lumineux. Toutefois des caractéristiques importantes de l'arc-en-ciel, telles que sa position et sa vitesse, dépendent de

1. Bernard d'Espagnat, *Un atome de sagesse*, Seuil, 1982, p. 58-59.

2. Richard Feynman, *La nature de la physique*, Seuil, 1979, p. 202.

3. Cf. Bernard d'Espagnat, *Traité de physique et de philosophie*, op. cit., p. 398-402.

vous et de votre déplacement. La situation est identique pour toutes les particules élémentaires et même pour les atomes dans la conception du réalisme non physique. Ce ne sont pas des créations de notre esprit, mais certaines de leurs caractéristiques essentielles dépendent de la façon dont nous allons les observer. Cela introduit une différence radicale avec le but habituel de la science, résumé ici par Albert Messiah : « Au départ de toute entreprise scientifique, on pose comme postulat fondamental que la nature possède une réalité objective, indépendante de nos perceptions sensorielles ou de nos moyens d'investigation ; l'objet de la théorie physique est de faire un compte-rendu intelligible de cette réalité objective¹. »

Par exemple, si l'on nous dit que « la gravitation ne dépend que des masses et du carré de la distance », il s'agit d'un « énoncé à objectivité forte », car les masses et les positions des objets macroscopiques ne varient pas quand on les mesure. Mais comme les énoncés de la théorie quantique font référence à nos perceptions ou à nos instruments, ils sont objectifs seulement parce qu'ils sont vrais pour n'importe quel observateur. Donc *on ne peut dire qu'ils sont vrais dans l'absolu* puisque leur vérité nécessite une référence à la communauté des observateurs humains. Ce sont des énoncés à « objectivité faible² ».

La physique quantique ne peut donc décrire le réel en termes d'objectivité forte. C'est la raison pour laquelle le réalisme physique ou réalisme classique, même s'il abandonne la prétention matérialiste à décrire le fondement de ce qui est comme étant constitué d'objets, ne peut être compatible avec cette physique.

Une autre caractéristique de cette nouvelle forme de réalisme est son caractère « lointain ». Non pas lointain au sens géographique du terme, mais « conceptuellement lointain », parce que nos concepts familiers, ceux qui sont proches de nos sens, ne s'y appliquent plus. On pourrait parler d'un « réalisme étrange ».

Pour voir à quel point il est étrange, analysons ensemble le paradoxe de Broglie. On met un seul électron dans une boîte contenant un vide absolu (c'est une expérience de « pensée », mais aujourd'hui la technologie permet de conserver un électron à l'intérieur d'un champ magnétique sans qu'il interagisse avec d'autres corps). On coupe alors la boîte en deux, une partie est transportée à Paris et l'autre à Tokyo. On ouvre celle de Paris et

1. Cité par Bernard d'Espagnat, *À la recherche du réel*, Gauthier-Villars, 2^e édition, 1981, p. 59.

2. *Ibid.*, p. 60.

on y trouve l'électron. Franco Selleri, l'un des rares physiciens qui n'acceptent pas la synthèse de la mécanique quantique actuelle, nous dit que « si l'on ouvre la boîte à Paris et que l'on y trouve l'électron, l'attitude naturelle de la majorité des physiciens sera de dire que l'électron observé à Paris lors de l'ouverture y était déjà avant l'ouverture¹ », et que donc la demi-boîte de Tokyo était vide depuis le départ. C'est peut-être « l'attitude naturelle » mais pas l'attitude après réflexion ! En effet, la parabole du « poisson soluble » nous a montré que l'on ne peut se représenter l'électron que comme étendu dans toute la boîte. Lorsque la boîte est coupée en deux (dans la mesure où nous pouvons faire abstraction du fait que cette action a perturbé la fonction d'onde), nous devons considérer l'électron comme répandu dans les deux demi-boîtes. Lorsque l'électron est observé à Paris, il y a réduction du paquet d'ondes, et la probabilité d'observer l'électron à Tokyo s'annule seulement à ce moment-là.

Ainsi, avec la mécanique quantique – contrairement au bon sens –, nous pouvons dire que le fait que l'électron a été observé à Paris n'implique nullement qu'il était déjà dans la demi-boîte de Paris avant l'observation, et donc que celle de Tokyo était vide ! Avant l'ouverture, l'électron était dans un état de superposition de « l'électron est à Paris » et « l'électron est à Tokyo ».

Dans cette nouvelle conception d'un réalisme « étrange » et « lointain » par rapport aux principes qui commandent notre vie quotidienne, ce paradoxe ne doit pas nous surprendre ! Néanmoins, je conçois parfaitement que l'on puisse être troublé par l'affirmation : « Lorsqu'on le trouve dans la boîte, on ne peut pas prétendre que l'électron était déjà à Paris avant que la boîte ne soit ouverte. »

Comme nous l'a rappelé la citation d'Albert Messiah, le réalisme postule l'existence d'une réalité indépendante de nos perceptions et de nos moyens d'observation. Or, le grand apport de la mécanique quantique, c'est de montrer justement que s'il existe une telle réalité indépendante, il *ne s'agit pas* de la réalité physique que nous pouvons voir, toucher, mesurer ! Car justement, cette réalité-là – comme l'arc-en-ciel – n'est pas indépendante de nos perceptions et de nos moyens d'observation. Néanmoins, les expériences que nous venons de décrire nous montrent bien que, dans les phénomènes qui ont trait aux fondements du monde qui nous entoure,

1. Franco Selleri, *Le grand débat de la théorie quantique*, Flammarion, 1986.

quelque chose (dont la physique montre l'existence sans pouvoir le décrire) échappe non seulement au temps et à l'espace, mais également à la matière et même à l'énergie. Ce quelque chose est un bon candidat pour une réalité indépendante, cependant celle-ci doit alors être *non physique, lointaine*. Cette réalité indépendante ne peut être décrite par la science ; elle peut, au mieux, être très imparfaitement approchée par une science à *objectivité faible* – et non à objectivité forte.

Cette conception d'un réalisme non physique a été étudiée de façon approfondie par Bernard d'Espagnat¹. Des vues différentes, mais qui amènent elles aussi à rejeter toute conception matérialiste classique du réel et à souligner le caractère non ontologique du monde dans lequel nous vivons, ont été soutenues par de nombreux physiciens : Raymond Chiao, Olivier Costa de Beauregard, Paul Davies, Amit Goswami, Andreï Grib, Menas Kafatos, Stanley Klein, Thierry Magnin, Alexis Nesteruk, Basarab Nicolescu, Lothar Schäfer, Henry Stapp...

Pour mieux intégrer la façon dont cette nouvelle conception de la réalité diffère de l'ancienne, le mieux est de méditer le message de Bernard d'Espagnat : « Un des enseignements des sciences modernes dites (par tradition) "de la matière" est celui-ci : la "chose", s'il en est une, qui se conserve n'est pas le concret mais l'abstrait, non pas ce qui est proche des sens mais au contraire le nombre pur dans toute son abstraction mathématique telle que nous la révèle la physique théorique. En d'autres termes, par rapport à nos sens et à nos concepts familiers (qui en résument les possibilités), le réel, indéniablement, est lointain. Et cette découverte (fort importante), une des manières les plus pertinentes de l'évoquer est, selon moi, de reconnaître que le mot matière est mauvais et de réintroduire le beau mot d'Être². »

Quel extraordinaire saut conceptuel que de voir que ce qui peut être considéré comme réel est abstrait et non concret, plus proche de la formule mathématique que du grain de sable ! Quel contre-pied à toutes les conceptions scientistes et matérialistes des siècles précédents !

1. Voir *À la recherche du réel*, op. cit. (réédité en Livre de Poche), pour une introduction à la pensée de Bernard d'Espagnat ; *Traité de physique et de philosophie*, op. cit., pour une synthèse complète ; et *Le réel voilé*, Fayard, 1994, pour une présentation destinée aux spécialistes.

2. Bernard d'Espagnat, *Un atome de sagesse*, op. cit., p. 55.

*Notre conscience individuelle est-elle la cause
de l'apparence de notre monde ?*

Il existe une autre interprétation encore plus provocante pour laquelle la réalité ultime serait... notre conscience. Elle a été élaborée pour résoudre l'un des grands problèmes de la physique quantique : qu'est-ce qui provoque la réduction du paquet d'ondes ?

Pour formaliser le problème, Erwin Schrödinger construisit l'expérience de pensée suivante : un appareil enregistre l'émission d'une particule radioactive par un atome. Si cette émission a lieu, un marteau s'abat sur une fiole contenant du gaz mortel, se trouvant dans une boîte dans laquelle on a mis un chat ; si elle n'a pas lieu, le marteau reste bloqué. Si l'on suit les équations de la physique quantique, tant que le résultat de l'expérience n'a pas été observé, il y a une superposition des états : la particule a été émise et n'a pas été émise, le marteau est baissé et levé, la fiole est cassée et intacte, le chat est mort et vivant (cf. figure 5.1).



Figure 5.1.

Le chat de Schrödinger :
une superposition des états « chat mort » et « chat vivant ».

Le marteau, la fiole et le chat ne sont constitués que de particules quantiques. Pourtant, ainsi que tous les objets du monde macroscopique, ils ne sont jamais dans des états quantiques étranges, comme c'est le cas dans le paradoxe du

chat de Schrödinger, mais dans des états normaux du type « chat mort » ou « chat vivant ». Ce que l'on appelle la « superposition des états » a disparu. Aucune frontière nette n'a jamais pu être définie entre le monde quantique et notre monde à nous (malgré les progrès apportés par la notion de décohérence, cf. p. 88-90). Alors pourquoi notre monde à nous a-t-il cette apparence de normalité et de matérialité ?

Pour certains physiciens, la réponse la plus simple est que la réduction du paquet d'ondes, la disparition de cette superposition d'états, est due à l'action de notre conscience. Ainsi, le prix Nobel de physique Eugene Wigner nous dit : « C'est l'entrée d'une impression dans notre conscience qui altère la fonction d'onde [...]. C'est à ce moment que la conscience entre dans la théorie de façon inévitable et inaltérable [...]. En physique quantique, l'être conscient a obligatoirement un rôle qui est différent de celui d'un appareil de mesure inanimé¹. »

Edmond Bauer, Fritz London, John von Neumann, Olivier Costa de Beauregard et Andreï Grib ont soutenu cette interprétation : puisque les lois de la physique n'expliquent pas la réduction du paquet d'ondes, il faut faire intervenir une entité qui n'obéit pas aux lois de la physique : notre conscience individuelle. C'est elle qui est responsable des caractéristiques du monde qui nous entoure. Eugene Wigner n'hésite pas à conclure : « Quelle que soit la direction dans laquelle pourront se développer nos concepts futurs, l'étude approfondie du monde extérieur conduit à la conclusion que le contenu de la conscience est la réalité ultime². »

L'information peut-elle remonter le temps ?

Il n'existe pas, au niveau quantique, de flèche du temps, c'est-à-dire que les équations sont temporellement réversibles – autre différence existant entre le monde des quanta et le nôtre. Ainsi, le temps est irréversible « de fait » et non « de droit », selon l'expression d'Olivier Costa de Beauregard. De plus, certains

1. Eugene Wigner in Irvin John Good (dir.), *Scientists speculate*, Heinmann, 1962, p. 289.

2. *Ibid.*, p. 285.

outils de la mécanique quantique, les « graphes de Feynman », montrent que des observations peuvent être interprétées soit comme des antiparticules allant dans le sens normal du temps, soit comme des particules remontant le temps.

Cela pourrait fournir une base théorique à l'incroyable interprétation suivante. Dans les expériences de type EPR avec deux particules, la première particule, lorsqu'elle est mesurée, envoie une information qui remonte le temps, ce qui lui permet d'informer sa collègue de la mesure qu'elle a subie et qui expliquerait l'existence de la non-localité !

Vous allez penser que c'est absurde. Pourtant Olivier Costa de Beauregard affirme qu'une hypothèse de ce type est la meilleure explication possible de cette fameuse expérience. Si, le long de deux fleuves qui, en aval, n'en forment plus qu'un, on constate la même civilisation, les mêmes habitudes, alors qu'un désert hostile sépare les deux fleuves avant leur confluence, n'est-il pas plus logique de penser que cette civilisation, partie des rives d'un des deux fleuves, s'est répandue sur les rives de l'autre en remontant le courant plutôt qu'en traversant le désert ? Cela veut dire que, pour Costa de Beauregard, il paraît plus logique – plus rationnel si l'on ose dire – que l'influence dont nous avons parlé remonte le temps pour prévenir l'autre particule de la mesure que son jumeau vient de subir, en circulant sur le même chemin que celui que la particule vient d'emprunter, que de postuler que cette influence transcende à la fois le temps *et* l'espace !

Le potentiel quantique

Mais enfin, me demanderez-vous, y aurait-il une possibilité qui permettrait d'éviter toutes ces absurdités ? Oui, il existe bien une autre possibilité. Mais avant de la décrire, il faut savoir qu'elle se distingue des quatre précédentes interprétations parce qu'elle ne repose pas, contrairement à celles-ci, sur la physique quantique orthodoxe. En effet, l'interprétation de Copenhague, celle du réalisme non physique, celle de l'action de la conscience et celle de l'information qui remonte le temps reposent sur le même formalisme mathématique et ont de nombreux caractères en commun (objectivité faible, non-existence d'une trajectoire pour l'électron...).

L'interprétation dite « de Broglie-Bohm » repose, elle, sur un formalisme différent. Elle va, *a priori*, combler d'aise les matérialistes. Elle permet de restaurer l'« objectivité forte » ; elle prétend parler des choses telles qu'elles sont et non pas telles qu'on les perçoit ; les particules y ont bien une trajectoire déterminée et – cerise sur le gâteau ! – dans la fameuse expérience des fentes de Young, elles passent par une seule et unique fente.

Comment cela est-il possible ? Cela part d'une idée qu'a eue Louis de Broglie en 1926, puis qui a été développée par David Bohm en 1951. Il existerait un « potentiel quantique ». Il s'agit d'une espèce de champ, mais qui est indétectable, qui ne transporte pas d'énergie et surtout qui est non local : un impact à un endroit du champ peut produire un effet instantané sur un autre lieu très éloigné. Les particules auraient le pouvoir d'interagir avec ce champ et s'en serviraient pour recevoir de l'information. Ainsi, le potentiel quantique permettrait à l'action à distance du paradoxe EPR de se produire. C'est également lui qui, lorsque la particule passe par une seule et unique fente dans l'expérience des fentes de Young, l'informe que l'autre fente est ouverte ou fermée, ce qui permet à la particule d'« adapter » son comportement (et son arrivée sur l'écran !) en conséquence.

Malgré le côté quelque peu magique du potentiel quantique, un certain nombre de physiciens matérialistes soutiennent avec vigueur ce modèle (Jean Bricmont, Franco Selleri, Jean-Pierre Vigiér...) dit « à variables cachées non locales » (la variable cachée non locale, c'est le potentiel quantique), l'acceptation de la non-localité étant le prix à payer pour restaurer une vision réaliste du monde qui ne soit pas celle du réalisme non physique.

Toutefois, cette théorie pose de nombreux problèmes :

— Lorsque des particules se rapprochent de la vitesse de la lumière, des résultats opposés devraient être observés pour le *même* événement dans des repères différents (cela parce que la théorie n'est pas compatible avec la relativité restreinte d'Einstein ; elle nécessite en effet l'existence d'un référentiel absolu).

— Elle implique que dans certains cas les détecteurs soient « trompés » et ainsi détectent des particules alors qu'il n'y en a pas.

— Dans ce modèle, certaines particules, dont les photons, sont des abstractions au lieu d'être réelles.

Des particules fantômes, des détecteurs trompés, des résultats contradictoires¹, tout cela pour le modèle qui doit sauver le réalisme classique²...

Il est particulièrement significatif de voir l'évolution de la pensée de David Bohm. Conscient plus que quiconque des insuffisances de son modèle, il en développa un second dans lequel les particules ne sont plus ponctuelles et réelles au sens classique du mot. Elles sont la manifestation d'un ordre fondamental caché qu'il appelle l'« ordre impliqué ». En se déployant, cet ordre fait émerger le monde dans lequel nous vivons. Cet ordre n'est pas dans notre espace-temps. Comme le dit Bohm, « ce que nous savons désormais, c'est que les particules élémentaires n'obéissent que partiellement aux lois de notre espace-temps. Toute une partie de leur comportement semble régie par des lois d'un autre ordre. Un ordre sous-jacent au nôtre, dont nous savons fort peu de chose. Un ordre mouvant dont l'Univers tel que nous le connaissons serait seulement l'une des expressions, ou des explications, un ordre que, pour cette raison, je me suis permis de baptiser "ordre impliqué". Ou, plus trivialement, "univers replié". Nous ne pourrions apparemment le connaître que par le fait qu'il s'exprime. On pourrait alors dire qu'il s'ouvre comme une fleur³ ».

Comme le développe Bohm, nous avons alors un cadre conceptuel pour comprendre la nature de ces fameuses influences supralumineuses si intrigantes.

« Prenez le cas des deux fameuses particules physiquement séparées et qui pourtant semblent ne former qu'une seule entité. Eh bien, imaginez que ces deux particules ne soient en fait que deux expressions secondaires, deux projections sur deux écrans, d'une seule et même réalité primaire. Prenez un poisson dans un aquarium filmé par deux objectifs et projeté sous forme de deux

1. Cf. Bernard d'Espagnat, *Traité de physique et de philosophie*, op. cit., p. 230-236, et Michel Bitbol in *Implications philosophiques de la science contemporaine*, sous la direction de Bernard d'Espagnat, PUF, tome 2, 2002, p. 41-49.

2. D'autres modèles tentant de « restaurer » l'objectivité forte ont été bâtis, mais soit ils échouent à reproduire les prédictions de la mécanique quantique, soit ils échouent à restaurer cette objectivité, soit, enfin, il leur faut sacrifier leur crédibilité scientifique, par exemple en acceptant des situations comme celles que nous venons de décrire (cf. Bernard d'Espagnat, *Le réel voilé*, op. cit., p. 233-324 et *Traité de physique et de philosophie*, op. cit., p. 225-256).

3. Interview de David Bohm par Patrice Van Eersel, *La source noire*, Grasset, 1986, p. 318.

images. Que se passe-t-il pour le spectateur qui ne voit que les écrans ? Tout ce qui arrive à l'image du premier écran semble avoir une répercussion immédiate sur celle du second écran. Le spectateur pourra se creuser la tête pendant des heures, imaginer toutes sortes de communications vraiment folles entre ces deux images de poisson. Jusqu'au jour où il comprendra qu'il s'est fourvoyé en poursuivant des réalités secondaires : c'est derrière l'écran qu'il fallait chercher¹. »

En fait, David Bohm, en voulant combler les failles de son modèle, arriva, bien des années après, avec un nouveau modèle, à retrouver purement et simplement... le réalisme non physique, l'idée que *ce qui est* n'est pas dans l'espace et le temps, et n'est pas constitué d'énergie ou de matière ! Suprême horreur pour les matérialistes, Bohm en arrive à penser que, loin d'être issue de la matière, la conscience provient de ce réel primaire qui est voilé pour nous, exactement comme celui de Bernard d'Espagnat² : « L'ordre impliqué de l'Univers est sans doute ce qui touche notre conscience en premier, car elle-même semble fondamentalement appartenir à cet ordre. Pourtant, notre intelligence sensorielle s'interpose aussitôt entre le réel primaire et nous pour nous le rendre différencié, mais aussi du même coup, étranger. Terrible illusion du "bon sens" commun³. »

Voilà donc où nous en sommes après cette visite guidée du monde quantique. Petit à petit, le sol s'est dérobé sous nos pas, nous avons glissé vers le bord d'une falaise, nous nous sommes agrippés à une branche qui a arrêté notre chute : la théorie à variable cachée non locale de Bohm. Mais cette branche finit par craquer, notre glissade reprend... et voilà qu'au bord du précipice, une nouvelle branche apparaît. Sans réfléchir, nous nous y cramponnons désespérément, elle s'appelle :

1. *Ibid.*, p. 319.

2. Bien que, encore une fois, ils arrivent tous deux à cette même conclusion par des voies totalement différentes, ce qui pour moi donne encore plus de poids à cette conception du réel.

3. *Ibid.*, p. 322.

La théorie des univers parallèles

Ici, aucun problème avec le formalisme, il s'agit du même que celui de la physique quantique orthodoxe. Simplement, chaque fois qu'un choix doit être fait, l'Univers... se duplique pour permettre à tous les résultats possibles d'exister simultanément !

Fini le problème de la mesure (mais même dans ce cas extrêmement absurde, la non-localité est toujours présente dans chacun de ces univers) ou celui de savoir par quelle fente passe l'électron. Si, lors de l'expérience des fentes de Young, vous détectez la particule dans la fente de gauche, un autre univers apparaît aussitôt dans lequel un clone de vous-même observe la particule passant par la fente de droite. Et si la particule est à Paris dans le paradoxe de Broglie, et si le chat est mort dans le paradoxe de Schrödinger, il y aura aussitôt duplication de l'Univers et apparition d'univers dans lesquels la particule sera à Tokyo et où le chat sera vivant !

Si incroyable que cela puisse paraître, certains physiciens de haut niveau croient vraiment à cette théorie émise par Hugh Everett en 1957. Il m'est arrivé de dîner avec certains d'entre eux et de leur demander si *vraiment* ils croyaient que le fait qu'ils avaient choisi le poisson plutôt que le bœuf avait pu provoquer la duplication de tout l'Univers. Et que l'instant d'après, ces deux univers s'étaient re-dupliqués chacun de son côté, quand j'avais choisi le poulet plutôt que le porc et que notre conversation se déroulait désormais simultanément dans quatre univers où des clones de nous-mêmes exploraient toutes les possibilités offertes par la carte du restaurant¹. Eh bien, croyez-le si vous le voulez, mais leur réponse fut oui ! La raison en était leur besoin irrépressible de se débarrasser à n'importe quel prix des problèmes philosophiques posés par la mécanique quantique. Nous parlons bien de la duplication instantanée de *tout l'Univers* avec toutes ses galaxies et pas seulement du petit morceau d'univers dans lequel le choix a été fait.

1. Bien sûr, le choix d'un plat n'est pas un phénomène quantique. Il ne s'agit que d'une image. De toute façon, il y a dans la nature bien plus de phénomènes quantiques impliquant des choix que de choix faits par des êtres humains.

Pour que cette théorie résolve les problèmes qu'elle prétend résoudre, il faut que tous ces univers soient aussi réels que le nôtre¹. D'où vient alors la fantastique quantité de matière nécessaire ? Car si l'on pousse jusqu'au bout l'étude de la théorie, on se rend compte qu'à chaque instant, le nombre d'univers engendrés est quasi infini.

Tel le héros d'un film qui se rend compte que la « branche » à laquelle il s'agrippe est le bras d'un cadavre ou la langue d'une créature monstrueuse, nous poussons un cri d'horreur devant l'absurdité incommensurable de la dernière chance de survie du réalisme classique et nous lâchons la branche. Cette fois-ci, nous plongeons pour de bon dans le vide : *ça y est, nous avons accepté la physique quantique !* Allons voir jusqu'où cela va nous entraîner.

Nouvelle physique et apparences du monde qui nous entoure

Puisqu'il y a plusieurs façons d'interpréter la physique quantique (chacune se divisant en plusieurs sous-interprétations), toutes reposant sur le même formalisme, pourquoi en choisir une plutôt qu'une autre ?

On peut se satisfaire de l'interprétation de Copenhague, c'est-à-dire affirmer que la science ne nous dit rien sur la réalité véritable mais seulement sur la connaissance que *nous pouvons en avoir*, et refermer ici ce livre. Mais, dans ce cas, il faut en assumer les conséquences : impossible après cela de s'affirmer en quoi que ce soit matérialiste ou réaliste, ce serait une pure absurdité logique.

L'interprétation faisant jouer un rôle central à la conscience individuelle a du plomb dans l'aile à cause d'un phénomène dont l'importance n'a été perçue que récemment : la décohérence.

À l'instigation de Wojciech Zurek, de nombreux calculs ont été effectués depuis vingt ans, permettant de comprendre aujourd'hui les raisons pour lesquelles *nous* voyons le monde sous sa forme classique et non sous une forme d'états superposés dans laquelle les chats seraient à la fois vivants et morts².

1. Voir Jean Bricmont, *op. cit.*, p. 157.

2. Wojciech H. Zurek, *Physical Review*, n° 24, p. 15-16, 1980, et « Decoherence and the transition from quantum to classical revisited », *Los Alamos Science*, n° 27, 2002, www.arxiv.org/abs/quant-ph/0306072

Les objets macroscopiques, comme les chats ou les instruments de mesure, ne sont jamais totalement isolés de leur environnement. Ainsi, le calcul montre que le déplacement d'une masse de quelques kilos dans l'atmosphère de Sirius (à 8 années-lumière de la Terre) suffit à perturber le mouvement des molécules de l'atmosphère de la Terre. Toutefois, lorsqu'on les mesure, on ne le prend pas en compte. Pourtant, la théorie nous apprend que, si on pouvait le faire, le monde n'aurait pas l'apparence du monde classique : il serait quantique. C'est uniquement parce que nos mesures ou nos perceptions sont obligées de *se limiter à une seule partie* des mesures possibles sur un système macroscopique, en négligeant l'essentiel des interactions qui existent avec son environnement, que ce système macroscopique nous apparaît sous une forme classique « solide » et non pas sous la forme quantique.

Ce résultat a une grande importance. Il nous montre que les lois classiques sont une approximation des lois quantiques, un peu comme les lois de Newton sont une approximation des lois d'Einstein. Cela nous donne une vision bien plus rationnelle du monde que celle qui prévalait auparavant et qui est encore très répandue, vision selon laquelle le monde macroscopique et le monde microscopique obéissent à deux sortes de physique qui n'ont rien à voir l'une avec l'autre.

Mais attention, si la décohérence fait *a priori* disparaître des problèmes comme le fameux paradoxe du chat de Schrödinger (cf. p. 121-122), elle ne fait pas disparaître le modèle de l'« arc-en-ciel ». Elle ne permet pas d'affirmer que les propriétés des objets quantiques sont des propriétés objectives. Ces propriétés restent dépendantes de la façon dont nous les mesurons tout comme la vitesse et la position de l'arc-en-ciel dépendent de notre propre comportement.

La décohérence paraît éliminer la nécessité de recourir à la conscience *individuelle* dans l'interprétation de la mécanique quantique. C'est-à-dire à l'idée selon laquelle ce serait l'observateur qui provoquerait la réduction du paquet d'ondes en regardant l'appareil de mesure. Mais elle n'élimine nullement la nécessité de faire référence à la conscience *collective*, celle de l'ensemble des observateurs humains¹. Il s'agit du fameux « on a

1. Bien entendu, cette nécessité n'est en rien fondée sur l'idée que la conscience collective réduirait (mieux que la conscience individuelle !) la fonction d'onde. Comme nous l'expliquons, elle est fondée sur le fait que les caractéristiques de la réalité que nous pouvons connaître dépendent de la façon dont nous les mesurons.

fait ceci et on a observé cela », qu'on ne peut éliminer des équations de la physique quantique alors qu'il n'apparaît pas dans celles de la physique classique (de même que les phénomènes relativistes n'apparaissent pas dans les équations newtoniennes).

Ainsi, la décohérence ne rétablit nullement l'« objectivité forte » selon laquelle on pourrait décrire le monde tel qu'il est vraiment. Elle laisse à la conscience collective son rôle de filtre par lequel nous voyons non la réalité en soi mais une projection de celle-ci.

Ce point est souvent ignoré des vulgarisateurs et même de nombreux professionnels pour une raison très simple : le mot anglais *appearance* signifie à la fois « apparence » et « apparition ». Ainsi, lorsque Wojciech Zurek et les autres spécialistes disent que la décohérence explique les apparences classiques de notre monde¹, bien des lecteurs pensent qu'ils affirment que la décohérence explique l'*apparition* du monde classique, au sens objectif que peut avoir ce terme, lorsque l'on dit que « l'*homo sapiens* est apparu il y a cent cinquante mille ans ». Or ce n'est pas du tout le cas.

Cette réduction de la place accordée à la conscience individuelle dans la théorie permet de supprimer toute nécessité de faire appel à la parapsychologie. Ainsi, un physicien aussi éminent qu'Eugene Wigner fixait pour objectif à la physique la mise au point d'un détecteur « psychoélectrique » destiné à enregistrer l'action de la conscience sur les électrons². Car dans une interprétation comme celle de Wigner ou comme, en France, celle d'Olivier Costa de Beauregard, la parapsychologie, l'action physique de l'esprit sur la matière, n'est pas une curiosité mais un élément central du modèle.

Certes, la physique quantique n'interdit pas de croire à la parapsychologie et contient même parfois des analogies avec ce domaine (Einstein lui-même disait que si la non-localité existait, elle serait comme de la télépathie entre électrons). Et plusieurs résultats d'expériences parapsychologiques ont bel et bien été publiés dans une revue de physique qui fait autorité : *Foundation of Physics*³. Mais rien dans la physique quantique ne prouve la réa-

1. L'ouvrage collectif de base sur ce sujet est intitulé *Decoherence and the appearance of a classical world in quantum theory*, Springer, 1996.

2. Irving John Good (dir.), *Scientists Speculate*, op. cit., p. 301.

3. Robert Jahn, « On the quantum mechanics of consciousness, with application to anomalous phenomena », *Foundation of Physics*, août 1986, vol. 16, n° 8.

lité de la parapsychologie ni même n'indique que des recherches dans ce domaine pourraient nous aider à résoudre les problèmes posés par les théories physiques actuelles.

Avec la vulgarisation des étranges principes de base de la physique quantique, on a vu apparaître toute une industrie du quantique. Le mot est mis à toutes les sauces, « corps quantique », « médecine quantique », « astrologie quantique », etc.

Il est certes tout à fait possible que la physique quantique ait un jour des applications en biologie et permette de mieux comprendre la nature de la conscience comme le pensent d'éminents scientifiques dont Roger Penrose. Mais comment vous dire ma colère quand je vois le mot quantique mis à contribution pour vendre de la poudre de perlimpinpin supposée nous débarrasser des effets néfastes de nos vies antérieures ? ! La diffusion de la vision du monde issue de la physique quantique se heurte à l'incompréhension et à l'hostilité des tenants du paradigme classique. Dans cette véritable lutte pour faire comprendre les conceptions nouvelles, c'est un handicap terrible que d'être pris en otage par des lunatiques (au mieux) ou des charlatans (au pire).

Dans le même ordre d'idées, un autre point essentiel doit être précisé : la physique quantique *ne permet pas* de communiquer plus vite que la vitesse de la lumière. Certes, s'il y a bien quelque chose de supralumineux, la fameuse « action fantôme à distance », on ne peut pas s'en servir pour envoyer une information. Comme les médicaments « à usage interne », ce phénomène est également uniquement à usage interne de la nature. Elle seule peut s'en servir. Je conçois bien que cela soit très frustrant pour tous les lecteurs pragmatiques férus d'applications. Mais il est heureux qu'il en soit ainsi, car sinon l'Univers serait beaucoup moins rationnel. Si l'on pouvait utiliser ce phénomène, on pourrait, par exemple, envoyer des informations dans le passé, informations susceptibles de changer le cours d'une histoire s'étant déjà déroulée (c'est le paradoxe dans lequel vous remontez le temps et tuez votre grand-mère avant la naissance de votre mère ; vous ne pouvez plus exister, donc vous ne pouvez plus tuer votre grand-mère). Nous expliquerons au chapitre 6 les raisons pour lesquelles la non-séparabilité ne peut pas être utilisée pour violer la relativité et nous verrons au chapitre 8 que cette « cohérence » interne de l'Univers est peut-être très significative au plan métaphysique.

En attendant, vous voilà, je pense, rassuré(e). Vous voyez qu'en acceptant la mécanique quantique, vous n'êtes pas tombé(e) si bas que vous auriez pu le craindre :

— Nulle nécessité de faire appel à la parapsychologie.

— Nulle nécessité d'adopter une position dualiste dans laquelle matière et conscience seraient deux réalités en soi existant indépendamment l'une de l'autre et où la conscience individuelle de chacun de nous serait susceptible d'agir à distance, par télépathie, sur la matière.

— Pas de possibilité de communiquer plus vite que la lumière et de créer des paradoxes temporels.

— Un pont existe entre le monde classique et le monde quantique.

— Il est parfaitement possible d'adopter une vision réaliste selon laquelle il existerait une réalité indépendante de nous (les observateurs humains... ou tous les autres).

Bref, la situation est beaucoup moins irrationnelle que vous n'auriez pu le craindre en effectuant votre « lâcher prise », c'est-à-dire en renonçant aux interprétations bancales ou absurdes et en acceptant le formalisme orthodoxe de la physique quantique.

Néanmoins, vous allez devoir avaler un certain nombre de couleuvres...

Au cœur de l'inconnaissable

La première, nous l'avons déjà vu, c'est la non-séparabilité, selon laquelle les deux appareils de mesure et les deux particules forment un seul système étendu dans tout l'espace¹ lors des expériences de type EPR. C'est une couleuvre que vous auriez à avaler même si vous n'aviez pas accepté la mécanique quantique standard et lui aviez préféré la théorie à variable cachée non locale de Bohm (auquel cas, elle porterait le nom de « non-localité »).

On peut donc dire avec Henry Stapp que « tout ce que nous savons de la nature s'accorde avec l'idée que son processus fondamental s'établit hors du temps et de l'espace, mais engendre

1. Voici la formulation qu'en donnent Alain Aspect et Philippe Grangier, auteurs de la fameuse expérience : « Il nous faut accepter l'idée que les deux photons EPR, même à douze mètres l'un de l'autre, constituent un tout inséparable », cité par André Valenta, *Le scientisme ou l'incroyable séduction d'une doctrine erronée*, autoédité, novembre 1995, p. 245.

des événements qui peuvent être situés dans le temps et dans l'espace¹ » ou avec Banesh Hoffmann qu'« il n'existe tout simplement aucun moyen satisfaisant de décrire les processus atomiques fondamentaux de la nature en termes d'espace, de temps et de causalité² ».

C'est là un résultat d'une importance extraordinaire. Le monde d'avant la modernité était un monde ouvert sur un (ou plusieurs) autre(s) niveau(x) de réalité. Le grand Kepler lui-même, n'ayant pas à sa disposition les lois de Newton pour expliquer la rotation des planètes, faisait appel à la « poussée des anges » : les planètes tournaient parce que des anges (une cause extérieure à notre monde) les poussaient. La modernité avait déconstruit toutes ces approches préscientifiques et s'était empressée de refermer notre monde sur lui-même.

Et voilà que nous assistons à une « réouverture » du monde, non par la mystique ou la philosophie, mais par la science elle-même. Certes, ici ni démons ni anges ! Toutefois, la science elle-même nous indique qu'il paraît y avoir un niveau de réalité situé hors de notre monde et qui, loin d'être une pure abstraction, peut, dans certains cas, exercer une sorte d'*influence causale* sur notre monde. On comprend pourquoi Niels Bohr parle de la « nécessité de renoncer définitivement à l'idéal classique de causalité³ et de modifier de fond en comble notre attitude à l'égard de la réalité physique⁴ ». Banesh Hoffmann nous donne un exemple de l'étendue de cette modification : « Les paradoxes quantiques, c'est nous qui les avons fabriqués, car nous avons essayé de suivre le mouvement de particules individuelles à travers l'espace et le temps alors que ces particules n'ont pas d'existence dans l'espace et le temps. Ce sont l'espace et le temps qui existent en fonction d'elles. Une particule individuelle ne se trouve pas simultanément en deux endroits, elle n'est nulle part⁵. »

Nous pouvons maintenant comprendre qu'il n'y a aucune façon de se représenter la vraie nature des particules élémentaires,

1. Henry Stapp, « *Are super luminal connexions necessary?* », *Nuovo cimento* 40 B, 1977, p. 191.

2. Banesh Hoffmann, *L'étrange histoire des quanta*, op. cit., p. 176.

3. Non seulement à cause de l'indéterminisme que nous constatons à notre niveau, ajouterais-je, mais également à cause de l'existence d'une forme de causalité radicalement différente de la classique.

4. Niels Bohr, *Physique atomique et connaissance humaine*, Gallimard, 1991, p. 237.

5. Banesh Hoffmann, *L'étrange histoire des quanta*, op. cit., p. 192.

fondement de toute la réalité physique, avec des concepts issus de notre monde tels que des ondes, des particules, des objets quelconques.

J'ai introduit au chapitre 4 les paradoxes quantiques en expliquant que tout se passe comme si les particules, les atomes et certaines molécules assez petites pour « subir » l'expérience des deux fentes, étaient des ondes qui se transformaient en particules. La note 2 page 60 indiquait déjà que ce n'était qu'une approximation et que la réalité était encore plus étrange. La réalité, c'est qu'on ne peut pas se représenter ces particules, atomes, molécules comme des *objets* quels qu'ils soient. Comment imaginer des entités qui soient *à la fois* des ondes et des particules ? C'est pourtant ce qu'il faut faire selon la notion de complémentarité de Niels Bohr. C'est la raison pour laquelle, comme le disent les citations de Bernard d'Espagnat, Henry Stapp et Banesh Hoffmann, nous ne pouvons pas nous les représenter comme évoluant dans le temps et l'espace, et avec des positions et des trajectoires bien définies hors de l'observation. N'est-ce pas vertigineux quand on pense qu'il s'agit de ce qui nous constitue nous-mêmes ?

À côté de cela, la couleuvre de l'indéterminisme, dont on fait grand cas, et qu'il faut effectivement avaler dans le cadre de la mécanique quantique courante, est bien peu de chose...

Il reste néanmoins une dernière couleuvre de taille respectable à avaler : l'« objectivité faible ». Comme nous l'avons vu, la décohérence permet de réduire sensiblement le rôle de la conscience individuelle dans l'apparence que prend le monde qui nous environne, mais pas d'éliminer la nécessité de faire référence à la conscience collective pour mesurer les caractéristiques de la réalité empirique dans laquelle nous vivons. Comme nous l'a montré le modèle de l'arc-en-ciel, nous ne pouvons prétendre connaître les véritables caractéristiques « en soi » des particules, celles qui existeraient dans une réalité indépendante de nous, mais uniquement celles des particules que nous mesurons... et qui dépendent, pour une grande partie, de la façon dont nous les mesurons. Il faut donc admettre que la réalité est et restera voilée. Elle n'est certes pas totalement inconnaissable, nous pouvons avoir des lueurs sur elle, entre autres par le biais du formalisme mathématique, mais elle ne peut être, à cause de sa nature-même, dévoilée en totalité.

*Quelques difficultés que la physique quantique
cause aux philosophes matérialistes*

Il est clair que nombreux sont nos contemporains qui n'ont pas intégré ces progrès comme le montre par exemple le discours du philosophe Yvon Quiniou, qui affirme la « vérité scientifique du matérialisme ». Il dit prudemment, et à juste titre, que le matérialisme refusant toute métaphysique doit s'interdire toute affirmation transcendant les limites de ce qui est démontrable scientifiquement (en clair, le matérialisme ne peut pas affirmer que « Dieu n'existe pas » car comment le démontrerait-il ?). Cela posé, Quiniou croit, en toute bonne foi, qu'il est raisonnable de continuer ainsi : « Mais du coup, le matérialisme, rendu à sa modestie, peut être d'autant plus assuré de son droit à se déclarer scientifique. En effet, il constitue un monisme ontologique dont la thèse est simple : toutes les réalités (connues ou connaissables par l'homme) ne sont, par-delà leur diversité, que des formes diverses d'une même réalité matérielle dont elles sont issues. Il admet donc une réalité matérielle objective extérieure à la pensée humaine et lui préexistant [...]. Bref, comme l'affirmait déjà Engels d'une manière qui n'a pas été dépassée : "L'unité réelle du monde consiste en sa matérialité." Or, quelle est l'instance qui nous le prouve désormais, même si on a pu le supposer spéculativement bien avant dans le cadre des divers matérialismes spéculatifs, et même si l'on estime que la preuve complète, circonstancielle et technique, n'en a pas été complètement apportée dans tous les domaines ? La science¹. »

La science qui prouve la matérialité du monde ? Une réalité matérielle objective, extérieure à la pensée humaine ? Toutes les réalités qui proviendraient d'une même réalité matérielle ? Mais c'est à *hurler* de rire !

Juste après, Quiniou ajoute avec prudence (ce qui, d'une certaine façon, rend encore plus extraordinaires les excès des propos cités que s'il s'agissait d'un auteur imprudent et au discours échevelé) que ce n'est pas la science physique qui apporte cette preuve car elle « ne porte que sur la matière inanimée et

1. Yvon Quiniou, « Darwin, l'église, le matérialisme et la morale », in Patrick Tort (dir.), *Pour Darwin*, PUF, 1997, p. 48-49.

n'impose qu'un réalisme de la nature physique », mais « la théorie de l'évolution qui se prononce, elle, sur l'origine de la vie et de ses diverses formes, et donc sur le rapport de la pensée humaine à la réalité matérielle¹ ». Cela déclenche un autre éclat de rire au sujet de la physique qui « impose un réalisme de la nature physique », alors que nous avons vu que ce qu'elle est susceptible d'imposer, c'est un « réalisme de nature non physique » (que Hervé Zwirn appelle d'ailleurs un « réalisme métaphysique² ») si tant est que l'on veuille rester dans un cadre réaliste.

Et comment réagir, quels mots employer quand on lit que « la preuve complète de la matérialité du monde n'a pas encore été complètement apportée »... alors qu'il y a plus de soixante-quinze ans qu'une preuve quasiment complète du contraire a été avancée !

Et, en ce qui concerne la conscience, si les êtres pensants ont été précédés par des myriades d'êtres non pensants, cela ne suffit pourtant pas pour en déduire que la pensée est un sous-produit quelconque de la matière. En effet, les neurones sont faits de molécules, elles-mêmes constituées d'atomes dont les caractéristiques précises dépendent... de la façon dont on les observe !

Comme le dit Bernard d'Espagnat : « Les idées que ce matérialisme prend pour assises conceptuelles, celles d'atomes, de particules, etc., ne peuvent être, nous l'avons vu, que les composantes d'une description de la réalité empirique, voire épistémologique, c'est-à-dire d'un découpage du réel que *nous* effectuons par la pensée afin de rendre compte de notre expérience communicable. Il est clair qu'alors la thèse de la pensée comme simple épiphénomène – celle d'une pensée émanant d'un cerveau purement composé d'atomes – est logiquement incohérente puisque les objets qui y sont censés expliquer la pensée n'ont eux-mêmes d'existence que relative à la pensée³. »

Toutefois, une fois passé l'amusement lié à la surprise, des propos comme ceux de Quiniou ne sont pas drôles du tout. Imaginez quelle pourrait être la colère d'un marin de Magellan qui rentrerait tout fourbu de son tour du monde et qui, en se rendant à l'église pour remercier Dieu d'avoir survécu, entendrait le prêcheur affirmer du haut de sa chaire et de sa « docte ignorance »

1. *Ibid.*, p. 49.

2. Hervé Zwirn, *Les limites de la connaissance*, Odile Jacob, 2000.

3. Bernard d'Espagnat, *Traité de physique et de philosophie*, *op. cit.*, p. 307.

que la Terre est plate et que si on arrivait à son extrémité, on tomberait dans une chute d'eau d'une longueur infinie... Eh bien, c'est le même sentiment que ressent l'explorateur du monde quantique, qui revient tout fourbu d'un voyage qui l'a mené aux limites de la connaissance, au prix d'énormes efforts conceptuels, et qui tombe sur le « matérialisme scientifique » de Quiniou, qui est clairement aussi antiscientifique que peut l'être le créationnisme scientifique de certains fondamentalistes protestants américains (qui prétendent détenir des preuves du Déluge et pour qui Dieu a créé la Terre il n'y a que six mille ans) puisque, comme eux, il nie une importante partie du progrès de nos connaissances et égare ses lecteurs.

Il existe cependant d'autres matérialistes qui, eux, ont effectué le saut dans le vide, c'est-à-dire qui ont accepté la mécanique quantique. Cela les amène à renoncer à certains concepts qui étaient des piliers du matérialisme classique. C'est la raison pour laquelle Bernard d'Espagnat les nomme « néo-matérialistes¹ ». Le principal représentant français de cette position est André Comte-Sponville : « Un courant d'air n'est pas moins matériel qu'un caillou, ni une onde ou un flux d'énergie moins matériels qu'une "chose" ou qu'une particule. La vraie question n'est pas de savoir quelle est la consistance de la matière (si elle est dure, molle ou *al dente* !), ni même quelle est sa structure intime (par exemple substantielle ou énergétique, corpusculaire ou ondulatoire, permanente ou impermanente, séparable ou non séparable...) mais si elle est de nature spirituelle, idéelle (autrement dit comparable à l'expérience intérieure, qu'elle soit illusoire ou non, de ce que nous appelons notre esprit ou notre pensée), ou bien de nature physique (comparable mais pas, bien sûr, identique, à l'expérience que nous avons, au niveau macroscopique, des corps ou des forces que nous appelons matérielles)². »

La nouvelle approche de Comte-Sponville peut être résumée ainsi : partons de la définition la plus large qui soit du matérialisme (le *Petit Robert* : « Théorie qui affirme qu'il n'existe qu'une seule substance, la matière »), appelons « matière » ce qui existe

1. Pour une critique plus complète du néomatérialisme, voir Bernard d'Espagnat, *Traité de physique et de philosophie*, op. cit., p. 311-322.

2. André Comte-Sponville, Luc Ferry, *La sagesse des modernes*, Robert Laffont, 1998, p. 46.

vraiment – la réalité indépendante – sans nous soucier de savoir ce qu'elle est. L'unique chose que nous demandons à cette « matière », *quelle qu'elle soit*, c'est de ne pas avoir les caractéristiques que nous savons être celles d'un esprit. Car, nous dit-il, le matérialisme est avant tout une théorie de l'esprit. Une théorie qui affirme que l'esprit est subordonné à (ou est un sous-produit de) quelque chose n'ayant pas les propriétés de l'esprit et qu'on appelle « matière », quelles que soient ses caractéristiques.

Ainsi défini, le matérialisme (ou plutôt le néomatérialisme) semble inexpugnable. Certes, il n'occupe plus qu'une toute petite partie de l'immense territoire sur lequel régnait son ancêtre, le matérialisme classique. Mais autour de cette position de repli s'élèvent des murailles *a priori* infranchissables. Et pour plus de sécurité encore, Comte-Sponville ajoute un fossé autour des murailles en affirmant que la physique ne peut pas répondre à la question relative à la nature de cette substance primordiale. Néanmoins, il prend le risque de bâtir un pont-levis : nous pouvons opter pour l'une ou l'autre solution en nous appuyant sur la science et non par un choix arbitraire¹.

Ainsi, bien à l'abri dans son château, petit mais robuste, André Comte-Sponville attend sereinement les assauts du nouveau paradigme scientifique.

Néanmoins, sous les coups de bélier de celui-ci, quatre fissures de taille apparaissent dans les murailles. Considérons la première fissure : s'il existe de nombreuses interprétations de la physique quantique, *aucune* ne repose sur des concepts « comparables à l'expérience que nous avons au niveau macroscopique des corps et des forces que nous appelons matérielles ». La deuxième provient du fait que, si l'on ne sait pas ce qu'est la matière, comment être sûr qu'elle n'a pas les caractéristiques de l'esprit ? La troisième vient de ce que, pour la physique, il y a une autre réponse possible à la question de Comte-Sponville : la matière et la conscience peuvent provenir toutes les deux de quelque chose d'autre et sont ainsi placées sur un pied d'égalité, aucune n'engendrant l'autre. Sans être prouvée par la physique, cette hypothèse semble la plus probable. Non seulement un dissident de la physique quantique orthodoxe tel que David Bohm la soutient (la dernière partie de son ouvrage fondamental s'intitule « La matière, la conscience et leur base com-

1. *Ibid.*, p. 34.

mune¹ ») mais même quelqu'un tel que Hervé Zwirn, qui est loin d'être un spiritualiste, écrit : « La conscience n'est pas un objet physique si l'on considère qu'elle est dans le même rapport aux neurones que l'est un calcul aux puces d'un ordinateur [...]. À partir de là, il est naturel de postuler que la conscience n'a pas à être soumise aux lois de la physique². »

Cette faille pourrait être comblée en déplaçant le problème et en nommant « matière » cette nouvelle entité qui serait à l'origine de la matière et de la conscience, après avoir noté, à juste titre, que la physique ne nous indique pas que les caractéristiques de cette entité se rapprochent de celles d'un esprit, ce qui empêcherait alors de lui décerner cette appellation³.

Mais alors apparaît notre dernière fissure : peut-on être à la fois platonicien et matérialiste ?

En effet si l'on écarte :

— l'interprétation de Copenhague parce qu'elle vous interdit d'affirmer quoi que ce soit sur la réalité ;

— l'interprétation qui donne la primauté à la conscience individuelle sur la matière ;

— les univers parallèles à la Everett parce que l'on veut que le néomatérialisme ne soit pas un matérialisme de science-fiction, ou les particules fantômes à la Bohm parce qu'on ne veut pas que le néomatérialisme dépende d'une interprétation dissidente de la mécanique quantique ;

... il ne reste *a priori* que le réalisme non physique. Or celui-ci repose sur une ontologie de type platonicien comme le souligne Bernard d'Espagnat : « Les Idées de Platon ne sont pas dans l'espace-temps mais elles existent indépendamment de l'esprit humain et sont les causes des phénomènes. C'est pourquoi on parle parfois, à propos du platonisme, de réalisme des essences. En ce sens-là (une réalité indépendante lointaine, probablement non située dans l'espace-temps), le réalisme philosophique d'un physicien peut difficilement ne pas être un peu platonicien. Ainsi, Bohm lui-même, jadis porte-drapeau des physiciens "matérialistes", en est-il venu maintenant à dire que

1. David Bohm, *Wholeness and the implicate order*, Routledge & Kegan Paul, 1980.

2. Hervé Zwirn, *Les limites de la connaissance*, op. cit., p. 242.

3. Cela n'est pas toujours vrai, certains physiciens argumentant que la réalité indépendante a les caractéristiques d'un esprit. Voir Lothar Schäfer, *In search of divine reality*, University of Arkansas Press, 1997.

les objets perçus sont seulement des projections de ce qui est¹. »

Reste donc à savoir si un matérialiste même « néo » peut avaler cette dernière couleuvre : être obligé de se prétendre au moins un peu platonicien. Ce n'est pas à moi, mais à André Comte-Sponville de répondre à cette question. Si la réponse est oui, ce serait une innovation radicale vis-à-vis de toute la tradition philosophique dont est issu le matérialisme qui s'est toujours tenu éloigné du platonisme comme de la peste. Si la réponse est non, il ne reste qu'à renoncer au matérialisme ou à adopter des modèles tels que les univers parallèles ou les variables cachées non locales quels que soient les problèmes de logique et de cohérence qu'ils engendrent.

Nous pouvons donc conclure cette synthèse des conséquences de la physique quantique par cette citation de Sven Ortoli et Jean-Pierre Pharabod que je vous demande de bien méditer, tout en ayant à l'esprit que ces deux auteurs, parfaitement agnostiques, sont parmi les plus neutres possible (il ne saurait y avoir de neutralité absolue) : « Quant à la déliquescence de ce que l'on appelle [...] "rationalisme", elle ne gêne guère l'homme de la rue mais perturbe profondément bien des penseurs traditionnels. Mais un autre bouleversement devrait être considéré comme positif : c'est l'abolition du carcan matérialiste et l'émergence de nouvelles possibilités philosophiques. En effet, la science du XVIII^e siècle avait abouti au triomphe du matérialisme mécanique qui expliquait tout par l'agencement de morceaux de matière minuscules et invisibles, agencement réglé par diverses forces d'interaction qu'ils exerçaient entre eux. Cette vision assez primitive à laquelle se tiennent encore la plupart des biologistes avait pour conséquence l'inutilité des religions et des philosophies qui font appel à l'existence d'entités non matérielles. Le fait que ces morceaux de matière se soient révélés n'être en réalité que des abstractions mathématiques non locales, c'est-à-dire pouvant s'étendre sur tout l'espace et de plus n'obéissant pas au déterminisme, a porté un coup fatal à ce matérialisme classique². »

Certes, le matérialisme est encore possible, mais un matérialisme quantique qu'il faudrait appeler « matérialisme fantastique » ou « matérialisme de science-fiction³ ».

1. Bernard d'Espagnat, *Un atome de sagesse*, op. cit., p. 115.

2. Sven Ortoli et Jean-Pierre Pharabod, *Le cantique des quantiques*, op. cit., p. 125.

3. Comme la théorie des univers parallèles.

Si le matérialisme est devenu beaucoup plus difficile à penser, ce n'est pas le cas de l'athéisme. Quiniou place le matérialisme dans le champ de la science en affirmant que celui-ci peut être prouvé par la science, contrairement à l'athéisme. Le « retour de manivelle » produit par l'évolution des sciences atteint de plein fouet le matérialisme mais épargne l'athéisme. Je me rappelle que, en 1992, lors d'un grand colloque « Science et Religion » organisé par *La Croix*, André Comte-Sponville avait demandé à Bernard d'Espagnat : « Le Réel voilé nous aime-t-il ? » Bien entendu, la physique ne peut en aucune façon traiter cette question. C'est pourquoi je suis en accord avec Comte-Sponville quand il nous dit que la physique ne peut nous dispenser de philosopher.

Rien, en physique quantique, ne parle en faveur du déisme, ne nous incite à penser qu'un Dieu personnel se cacherait derrière le voile qui nous masque la réalité indépendante. Mais, en balayant les fondements de systèmes de pensée qui avaient pour conséquence l'« inutilité des religions », la physique quantique a ouvert de nouvelles possibilités philosophiques et religieuses comme le disent encore Sven Ortoli et Jean-Pierre Pharabod : « Une chose est certaine, la situation philosophique – et religieuse – n'est plus bouchée comme il y a quelques décennies. Tout devient possible, et la vision assez noire, selon laquelle nous ne serions que le résultat éphémère et sans signification de chocs et de combinaisons de “petites billes” errant dans l'espace, n'est plus la vision scientifique¹. » Sans rien prouver directement dans ce domaine, cela redonne une certaine crédibilité à l'idée de l'existence de Dieu, comme l'a énoncé Arthur Eddington dans une phrase célèbre : « La conclusion à tirer de ces arguments de la science moderne est que la religion redevint possible, pour un scientifique raisonnable, aux alentours de l'année 1927². »

1. Sven Ortoli et Jean-Pierre Pharabod, *Le cantique des quantiques*, op. cit., p. 125.

2. Cité par Franco Selleri, *Le grand débat de la théorie quantique*, op. cit., p. 187. 1927 est l'année de la première synthèse de la mécanique quantique.

***Faire connaître la physique quantique
pour faire reculer l'obscurantisme***

Nous vivons donc une période passionnante, nous assistons à un phénomène sans équivalent depuis cinq cents ans : un changement complet de notre vision du monde. Mais comment se fait-il qu'à l'ère de l'enseignement pour tous, de la télévision et d'Internet, cette révolution conceptuelle, un siècle après son origine, ait aussi peu pénétré les consciences de nos contemporains que le firent les idées de Copernic et de Galilée, un siècle après qu'elles furent émises ?

C'est que si la civilisation et les techniques changent, l'homme, lui, ne change pas. C'est le moment de se souvenir de l'analyse de Thomas Kuhn relative au changement de paradigme.

Les fondateurs de la physique quantique ont laissé des traces de leurs débats privés dans lesquels ils exprimaient leur trouble et leur désespoir à l'idée que le monde soit aussi étrange que ce que révélaient leurs découvertes. Mais ils finirent par s'incliner devant les faits comme tout savant digne de ce nom, processus qui contribue à la grandeur de la science.

Lorsque les idées de la modernité émergèrent, l'Inquisition tenta de s'opposer à leur diffusion ; cet obscurantisme religieux a été largement décrit depuis. Aujourd'hui, nous vivons une situation identique, mais ceux qui se trouvent en position dominante, et qui voient cette position s'affaiblir à la suite de l'évolution des sciences, sont, cette fois-ci, les matérialistes et les scientistes. Donc, aujourd'hui, dans nos contrées, l'obscurantisme (« s'opposer à la diffusion de la connaissance ou de la culture dans le peuple », toujours d'après le *Robert*) n'est plus religieux¹, il est matérialiste et scientiste (il ne concerne pas les matérialistes dans leur ensemble, loin de là. Mais l'obscurantisme religieux, même en ses pires périodes, n'affectait pas tous les clercs).

Il prend essentiellement trois formes :

— L'omission. Écrire un livre sur la nature du réel en étant physicien et ne pas parler du paradoxe EPR.

1. Certes, il existe encore bien des pays où prévaut un obscurantisme religieux – même aux États-Unis, au sein des milieux créationnistes par exemple –, mais il s'agit d'une autre histoire.

— Rassurer pour de fausses raisons. Parler de ces questions en disant que, certes, des choses étranges se sont produites, mais que tout est rentré dans l'ordre et que le « bon sens », c'est-à-dire nos concepts classiques, n'est plus menacé.

— La désinformation pure et simple. Dire quelque chose d'absolument inexact sur un sujet que l'on est supposé connaître.

C'est la raison pour laquelle il est d'autant plus important d'informer le plus grand nombre des progrès de nos connaissances qui contredisent la vision classique, mécaniste et désenchantée du monde.

Sven Ortoli et Jean-Pierre Pharabod concluent ainsi leur ouvrage écrit il y a plus de vingt ans : « La philosophie de base de notre civilisation reste le matérialiste mécaniste : les idées simples (voire simplistes) ont une force redoutable, et leurs échecs n'impressionnent que les spécialistes. Il a fallu des décennies pour que l'hypothèse de Galilée sur la rotation de la Terre soit acceptée et des siècles pour que sa condamnation par l'Église soit annulée. Combien de temps faudra-t-il pour ébranler les croyances actuelles¹ ? »

Là est toute la question...

1. Sven Ortoli et Jean-Pierre Pharabod, *Le cantique des quantiques*, op. cit., p. 126.

Vous qui entrez ici, perdez toute espérance !
(de revenir au monde classique)

« Théorie sauvage, subversive et dévastatrice, la physique quantique a jeté à bas l'édifice policé échafaudé au cours des siècles par la science traditionnelle. Elle nous fait entrer de plain-pied dans le monde de la science-fiction. Les révolutions républicaines, marxistes, islamistes et autres risquent d'apparaître un jour insignifiantes face à la révolution quantique. Notre organisation sociopolitique et nos modes de pensée ont été ou vont être bouleversés, davantage peut-être que par tout autre événement. »

Sven Ortoli et Jean-Pierre Pharabod

« La situation née des paradoxes de la physique quantique peut être considérée comme la fin des espérances nourries par les générations passées de physiciens : on peut dire qu'une renonciation à la représentation classique de la réalité a été introduite¹. » Plus de soixante-dix ans après ces propos tenus par Jordan, la situation est encore bien pire pour les défenseurs d'une vision classique du monde que ce qu'ils auraient pu imaginer dans leurs cauchemars les plus fous.

Pendant près de cinquante ans, des années 1930 aux années 1980, malgré les extraordinaires progrès techniques provoqués par la physique quantique (transistors pour les ordinateurs et toute l'électronique, lasers, etc.), les progrès furent réduits dans le domaine fondamental, celui qui nous intéresse ici. Depuis l'expérience de non-localité de 1982, il semble que les énergies et les imaginations aient été libérées. Des concepts nouveaux ont été

1. Pascual Jordan, *Anschaulische Quantentheorie*, op. cit., p. 309.

développés et toute une série d'expériences susceptibles de combler les fans de la science-fiction a été réalisée.

La non-localité s'échappe des laboratoires

Nous en étions resté au chapitre 4 à une démonstration de l'existence de la non-localité en 1982 par Alain Aspect, Philippe Grangier et Gérard Roger grâce à une expérience dans laquelle les deux particules étaient séparées de 12 mètres lors des mesures qui étaient faites dans un intervalle d'un milliardième de seconde. Comme nous l'avons vu, cela impliquait que la mystérieuse influence aille au moins quarante fois plus vite que la vitesse de la lumière.

Mais la mécanique quantique prédit que l'influence est *instantanée* quelle que soit la distance qui sépare deux particules, puisque, comme nous l'avons dit, on peut considérer qu'il s'agit d'un seul et unique objet, et cela même si les deux particules se trouvent dans deux galaxies différentes. Néanmoins, on ne peut pas mesurer un temps nul. On peut juste dire que « les mesures ont eu lieu en moins d'un milliardième de seconde, ou en moins d'un demi milliardième », etc. En revanche, rien n'empêche d'éloigner les deux détecteurs. Mais c'est techniquement difficile parce que les deux particules doivent être isolées pendant leur parcours – une interaction avec quoi que ce soit faisant disparaître le lien.

En 1998, Nicolas Gisin a réussi, à l'université de Genève, l'expérience sur une distance de 10 kilomètres. Cela n'a pas surpris les spécialistes car en théorie, du moment qu'il y a 1 mètre, 12 mètres ou 10 kilomètres entre les deux particules et que les mesures sont faites dans le même milliardième de seconde, la situation reste la même. Donc après le résultat positif de 1982, il n'y avait pas de doute que celui-ci serait également positif. Néanmoins, cela a permis au grand public, mais aussi à des physiciens non spécialistes de ce domaine, de comprendre que la non-localité était vraiment un phénomène macroscopique susceptible, au sens propre, de « sortir du laboratoire ». Par ailleurs, sur la distance, la fameuse « influence » (qui, encore une fois, selon la théorie, est instantanée) est au moins six millions de fois plus rapide que la lumière et non quarante fois !

La non-localité dans la panoplie des agents secrets ?

Abner Shimony a un jour écrit que le test du paradoxe EPR était « une expérience de métaphysique pure ». Des physiciens théoriciens comme lui ou Bernard d'Espagnat sont un peu des sages, au sens antique du terme. Ce sont des hommes qui vivent loin de l'agitation médiatique de notre monde et se consacrent à essayer d'approcher par la pensée et les mathématiques un réel qui, comme nous l'avons vu, échappe à toutes les images que nous pouvons nous en faire. C'est pour cela qu'ils affirmaient avec une certaine fierté dans les années 1980 « qu'il n'y avait aucune application pratique à la non-localité ». Cela n'est pas sans rappeler qu'à son invention en 1960, le laser était considéré comme « une solution en quête d'un problème » puisque personne ne semblait pouvoir imaginer d'application à cette invention insolite ! Sans aller jusqu'à prétendre qu'une technologie basée sur la non-localité se retrouve désormais dans chaque foyer, des applications pratiques pourraient voir le jour dans un avenir proche.

La plus immédiate de ces applications concerne cet art millénaire qu'est la cryptographie¹. La question du chiffrement des messages secrets a joué un grand rôle dans l'histoire. Depuis toujours, l'homme cherche à mettre au point des méthodes de communication qui puissent résister aux oreilles indiscrètes. Et depuis toujours également, le camp adverse cherche à comprendre malgré tout la teneur des messages chiffrés. Le décryptage (entre autres grâce à Alan Turing, l'un des fondateurs de l'informatique) du système cryptographique Enigma utilisé par les Allemands lors de la Deuxième Guerre mondiale, fut l'un des tournants de cette guerre. Le combat incessant entre faiseurs de codes et briseurs de codes s'achèvera-t-il un jour par la victoire éclatante d'un des deux camps ?

1. Bien des livres ont été écrits sur le sujet de la cryptographie. Nous recommandons particulièrement Simon Singh, *Histoire des codes secrets : de l'Égypte des pharaons à l'ordinateur quantique*, le Livre de Poche, 2001. Pour ceux que la langue de Shakespeare ne rebute pas, l'éternel classique demeure David Kahn, *The Codebreakers : The Comprehensive History of Secret Communication from Ancient Times to the Internet*, Scribner, édition révisée de 1996.

Il se trouve que la mécanique quantique joue un rôle fondamental dans cette bataille. D'une part, l'informaticien américain Peter Shor (maintenant au Massachusetts Institute of Technology) a démontré en 1994 qu'une application judicieuse d'une propriété de la mécanique quantique cousine de la non-localité permettrait *en principe* de casser les méthodes cryptographiques actuellement utilisées sur Internet pour protéger certaines informations confidentielles telles que les numéros de carte de crédit. Heureusement pour l'avenir immédiat du commerce électronique, nous ne disposons pas encore de la technologie qui serait nécessaire pour construire l'« ordinateur quantique » qui serait en mesure de réaliser en pratique l'« algorithme de Shor ». Mais nul ne peut prévoir quand cette révolution en informatique deviendra une réalité et il faut d'ores et déjà se préparer à cette éventualité. Se pourrait-il que la mécanique quantique marque ainsi la victoire définitive du camp des briseurs de codes ?

En fait, c'est exactement l'inverse ! En effet, dix ans *avant* la découverte de Shor, le physicien américain Charles H. Bennett (IBM) et l'informaticien canadien Gilles Brassard (université de Montréal) avaient présenté une utilisation de la mécanique quantique qui permet d'établir une communication dont on peut démontrer qu'elle est inviolable¹. Il importe de préciser que, contrairement à l'ordinateur quantique qui demeure encore aujourd'hui de l'ordre du rêve conceptuel, cette « cryptographie quantique » est à ce point réelle qu'elle est disponible commercialement². Ce sont donc bel et bien les faiseurs de codes qui gagnent, et ce pour l'éternité ! Ce qui est encore plus intéressant, c'est que la cryptographie quantique réalise un objectif dont le grand mathématicien Claude Shannon, père de la théorie de l'information, avait démontré l'impossibilité : permettre à deux individus de communiquer de façon strictement confidentielle même s'ils ne disposent pas au préalable d'un code secret aussi long que le message qu'ils désirent s'échanger. Ce n'est évidemment pas que Shannon ait fait une erreur dans sa démonstration mathématique : il avait simplement pris pour acquis que le moyen de communication se devait d'obéir aux lois de la physique classique de Newton (ou même d'Einstein).

1. Charles H. Bennett, Gilles Brassard et Artur Ekert, « Cryptographie quantique », « L'Art du secret », dossier n° 36 de *Pour la Science*, juillet-octobre 2002, p. 114-117.

2. Consultez, entre autres, www.idquantique.com et www.magiqtech.com

Bien que le principe de la cryptographie quantique mis au point originellement par Bennett et Brassard en 1984 n'utilise en aucune façon la non-localité (leur approche est fondée sur le principe d'incertitude d'Heisenberg), le physicien anglais Artur Ekert a découvert en 1991 une façon de mettre en œuvre le principe de la non-localité à des fins cryptographiques. Pour comprendre l'approche d'Ekert, il convient de savoir que la cryptographie (tant classique que quantique) se base sur la notion de « clé ».

Commençons par vouloir transmettre un seul bit d'information confidentielle, par exemple le message « oui » ou le message « non ». Si les participants partagent en secret un bit (0 ou 1) aléatoire, une façon très simple de procéder consiste à envoyer le message tel quel si le bit est 0, mais à l'inverser (dire « oui » pour vouloir dire « non » et vice versa) si le bit est 1. Le receveur légitime, qui connaît le bit utilisé par l'envoyeur, sera en mesure de déchiffrer le message correctement ; mais un espion qui ne prend connaissance que du « oui » ou du « non » ne saura pas s'il convient d'en inverser le sens. C'est ce bit secret que nous appelons la « clé ». Ce processus se généralise de façon évidente à un message de longueur arbitraire pour autant que l'envoyeur et le receveur disposent au préalable d'une clé secrète aléatoire qui soit aussi longue que le message à transmettre. Ce que Shannon a démontré, c'est qu'il n'y a pas de façon plus économique de procéder... dans un monde classique ! On se demande évidemment de quelle façon cette clé si précieuse pourra être échangée sans être comprise par l'ennemi. À l'époque de la guerre froide, c'était par la valise diplomatique que John Kennedy et Nikita Khrouchtchev s'échangeaient les clés utilisées sur le « téléphone rouge » ! Mais comment s'assurer que le diplomate est incorruptible ? De plus, un tel système n'est pas utilisable à l'ère d'Internet en raison du très grand nombre de personnes ayant besoin d'échanger des données confidentielles.

C'est ici que l'expérience EPR entre en jeu, en nous fournissant un moyen de transmettre une telle clé. Si vous partagez une suite de particules EPR avec votre correspondant et que, mesurant les vôtres, vous constatez ce résultat :

+ - - + - + + + - - + - + - - + - - - - ,

vous savez alors que votre collègue, s'il mesure le résultat de son côté, obtiendra lui aussi :

+ - - + - + + + - - + - + - - + - - - - , de sorte que vous disposerez d'une clé commune. Celle-ci peut alors être utilisée de façon classique pour envoyer un message confidentiel exactement comme si vous étiez sur le téléphone rouge ! En effet, ces 0 et ces 1 (+ = 1 et - = 0) sont totalement aléatoires, puisque fournis par la nature elle-même. Comme ils changent tout le temps, votre message est indéchiffrable.

Mais d'où viennent ces particules EPR que vous devez partager avec votre correspondant avant que vous puissiez les mesurer chacun de votre côté ? Très simple : vous produisez toutes les paires EPR chez vous et vous transmettez une particule de chaque paire à votre collègue. Cela peut se faire grâce à une fibre optique, par exemple, si vous utilisez des photons pour transmettre l'information quantique.

Vous allez me dire qu'il y a un point faible : l'ennemi pourrait se brancher sur la ligne sur laquelle circulent ces particules quantiques afin d'en soutirer de l'information. C'est là que l'histoire devient vraiment belle : il est impossible à l'ennemi de se brancher sur votre fibre sans détruire la non-séparabilité ; là aussi une loi de la nature vous protège, et c'est la meilleure garantie qui soit ! Plutôt que d'être gourmand et d'utiliser toutes vos particules pour générer la clé, vous en sacrifiez une certaine proportion pour vérifier qu'elles donnent lieu aux corrélations prévues par la mécanique quantique dont John Bell a démontré l'impossibilité dans un monde classique. Si les corrélations quantiques ne sont pas maintenues¹, vous aurez la preuve d'une tentative de piratage puisque seule la présence de l'espion aurait pu les faire disparaître ; dans le cas contraire, vous saurez que vous pouvez utiliser la clé obtenue en mesurant les particules qui n'ont *pas* été sacrifiées au test de Bell. L'espion pourra donc vous empêcher de communiquer par piratage continu, mais il ne pourra en aucun cas apprendre le contenu de votre message confidentiel, car vous n'essaierez même pas de le transmettre tant que vous n'aurez pas été certain de l'absence de piratage de votre clé secrète.

1. C'est-à-dire s'il n'y a pas viol des inégalités de Bell (voir p. 67).

Le temps n'existe pas !

C'est sous ce titre aguicheur qu'un mensuel de vulgarisation scientifique a présenté une autre expérience réalisée dans le même laboratoire de Genève par l'équipe de Nicolas Gisin d'après une idée d'Antoine Suarez.

Il s'agit toujours d'une expérience de non-localité, mais cette fois avec des appareils en mouvement ; les appareils en question étant ceux où le choix du résultat a lieu. Au chapitre 4, nous avons vu que le choix de la valeur de polarisation d'un photon (« + » ou « - ») se fait dans l'appareil de mesure au moment de celle-ci (la valeur ne préexiste pas). Mais pour établir le *moment de l'arrivée* du photon, il faut déterminer la montre avec laquelle on mesure le temps. Il est naturel de penser que cette montre est la montre associée aux appareils où le choix se fait.

Si les appareils sont en repos l'un par rapport à l'autre, il n'y a qu'une montre et, dans ce cas, le choix d'un côté se fait toujours quelques picosecondes avant le choix de l'autre côté, car les fibres optiques amenant les photons de la source aux appareils de mesure sont coupées avec une erreur de 1 millimètre. On peut alors décrire les choses en disant (comme John Bell le faisait, voir p. 68) qu'un choix se fait avant l'autre, que l'événement ayant lieu avant dans le temps est la cause de l'autre. Dans cette description, on reste encore fixé sur un modèle de causalité dans le temps.

Si, en revanche, les appareils de mesure sont en mouvement relatif l'un par rapport à l'autre, alors le temps est mesuré par *deux montres différentes*. En choisissant convenablement le mouvement des appareils et les distances, on peut créer une situation où chaque choix se fait avant l'autre, car le temps du choix est mesuré par la montre de l'appareil correspondant. Si les corrélations pouvaient être expliquées par un modèle de causalité temporelle, en termes d'avant et d'après pour un observateur qui accompagnerait l'appareil avec son mouvement¹, les corrélations

1. Il s'agit d'une conséquence de la relativité restreinte que nous analyserons au chapitre 7.

devraient disparaître, car chaque choix, ayant lieu en premier, ne peut pas tenir compte de l'autre. Pour chaque appareil, l'autre mesure n'a pas encore eu lieu. Donc il ne peut pas déjà être renseigné, même de façon instantanée, sur un événement qui n'existe pas encore ! Eh bien, dans cette situation paradoxale, la non-localité existe toujours !

Les expériences précédentes nous prouvaient que l'interaction EPR se jouait de l'espace. Celle-ci confirme qu'elle se joue également du temps. D'un côté, cela n'est pas une surprise puisqu'en relativité le temps et l'espace sont liés. D'un autre côté, c'est une grande surprise car l'expérience rend impossible toute interprétation en termes de causalité temporelle.

Cette situation rend désormais plus difficile la description de l'expérience de la façon neutre que nous avons employée jusqu'ici, en parlant d'influence, comme le faisait Bell. Il semble en effet qu'il faille renoncer à l'idée qu'il y ait ici un événement qui est la cause et un événement qui est l'effet. Il faut plutôt penser aux corrélations comme un effet dont la cause est un principe ou agent non matériel au-delà de l'espace-temps. Pour cet agent, les particules, bien que localisées à l'intérieur des détecteurs, forment un seul objet au-delà de l'espace. La « non-séparabilité » paraît l'emporter sur la « non-localité ». Comme le dit Suarez, « dans le monde quantique, il y a des choses qui se passent, mais le temps, lui, ne passe pas ».

Il est clair que plus on pénètre dans les entrailles de la physique quantique et plus on s'éloigne d'une représentation classique du monde. Il n'est plus possible de décrire ce qui se passe en termes de concepts familiers conditionnés par le préjugé déterministe de la causalité (et ce sera encore le cas avec l'effet tunnel, voir plus loin).

La téléportation... ça marche !

Tous les amateurs de science-fiction connaissent ce concept popularisé par la série *Star Trek* : un membre de l'équipage monte sur la plate-forme de téléportation, son corps s'entoure

d'un halo, il disparaît et réapparaît sur une plate-forme identique, dans un autre vaisseau ou sur la planète autour de laquelle son vaisseau est en orbite. Cette singulière « technologie » a fait rêver des générations de téléspectateurs : et si c'était possible ? Pour la petite histoire, cette notion de téléportation a été inventée par les scénaristes pour diminuer le coût des effets spéciaux ; il aurait, en effet, été bien plus onéreux de montrer l'atterrissage du vaisseau sur les planètes qu'il visite. Voilà comment de basses préoccupations matérielles peuvent accoucher de grands concepts !

En 1993, un groupe de scientifiques – parmi lesquels les Canadiens Gilles Brassard et Claude Crépeau – publie, dans la prestigieuse *Physical Review Letters* (la revue qui fait autorité dans le domaine de la physique) un article intitulé « Téléportation quantique utilisant les canaux Einstein-Podolsky-Rosen¹ » ! Et soudain, ce qui semblait impossible devint possible ! Ils démontrèrent que la fameuse connexion non séparable qui relie les deux particules peut être utilisée pour téléporter, non pas des particules, mais les propriétés des particules.

Le schéma de l'expérience est le suivant :

— On met deux particules reliées par la non-séparabilité dans deux « boîtes magiques ». Dès 1998, dans le laboratoire de Jeff Kimble, à Caltech (Los Angeles), j'ai pu observer de telles boîtes : à l'intérieur, un champ retient prisonnière la particule, l'empêchant de rencontrer tout atome pendant plusieurs jours. Cette absence d'interaction préserve la connexion entre les deux particules ;

— vous envoyez l'une des boîtes sur Mars ;

— vous ouvrez la boîte et vous y faites entrer une seule et unique particule de Mars que vous avez sélectionnée au préalable ;

— vous faites une mesure sur le couple « particule de Mars + particule non séparable venant de la Terre » ;

— le résultat de la mesure est communiqué à la Terre (par un signal normal allant à la vitesse de la lumière) ;

— on peut alors utiliser sur Terre ce résultat pour faire une opération qui va transformer la particule restée sur Terre en une copie de celle que sa jumelle a rencontrée sur Mars ;

1. Charles H. Bennett, Gilles Brassard, Claude Crépeau, Richard Jozsa, Asher Peres and William K. Wootters, « Teleportation of an unknown quantum state via dual classical and Einstein-Podolsky-Rosen channels », *Physical Review Letters*, vol. 70, n° 13, 29 mars 1992, p. 1895-1899.

— vous avez maintenant dans votre laboratoire une particule qui a exactement les mêmes propriétés qu'une particule de Mars et vous pouvez faire des expériences sur elle comme si elle venait de Mars !

Dès 1997, Anton Zeilinger, à Innsbruck, et Francesco De Martini à Rome, effectuèrent les premières téléportations quantiques¹. En 2004, la téléportation est elle aussi sortie du laboratoire : Anton Zeilinger, désormais à Vienne, a réalisé une téléportation à 600 mètres de distance entre des appareils situés sur les deux rives du Danube.

Bon, la téléportation existe, allez-vous me dire, mais que peut-on faire avec ?

On ne peut pas l'utiliser pour téléporter des objets : on ne peut téléporter que les propriétés des objets. On ne pourra donc pas l'utiliser pour voyager dans les étoiles. Mais des applications sont possibles, entre autres dans le domaine de la sécurisation de l'information.

Elle nous dévoile, néanmoins, un autre aspect fascinant de la non-localité. Quant à la taille des objets dont elle pourra transmettre les propriétés, cela est lié à une autre question que nous allons immédiatement aborder.

Un virus peut-il être quantique ?

Un chat ne peut pas rentrer dans une pièce en passant *à la fois* par la porte et par la fenêtre (sauf dans le cas du légendaire chat de Schrödinger qui est justement dans une superposition d'états !), un grain de sable non plus. Un électron, un atome, sous leur forme ondulatoire, le peuvent comme le montre l'expérience des fentes de Young. La décohérence donne une limite supérieure à la taille des objets pouvant se comporter ainsi. Mais tant qu'on n'a pas atteint cette limite, des progrès restent possibles.

1. Dik Boumeester, Jian-Wei Pan, Klaus Mattle, Manfred Eibl, Harald Weinfurter et Anton Zeilinger, « Experiment of quantum teleportation », *Nature*, vol. 390, 11 décembre 1997, p. 575-579.

En 2001, j'avais été très impressionné lorsque Zeilinger avait confié, lors d'un colloque à Rome, qu'il venait de réussir l'expérience des fentes de Young avec des molécules de fullerène C_{60} . Cela voulait dire qu'une molécule de 60 atomes était passée par les deux fentes à la fois. En 2004, il a récidivé avec une molécule de 256 atomes. Certes, on est encore loin de la taille d'un grain de sable mais c'est très impressionnant car la molécule, selon l'image que nous en avons, est un objet « solide » peu susceptible de se dissoudre et de se comporter comme une onde.

Où Zeilinger s'arrêtera-t-il ? Plus la taille des objets qu'il s'agit de faire passer par les deux fentes à la fois augmente, plus les problèmes paraissent insurmontables à cause de la décohérence. Le rêve de Zeilinger serait de réussir l'expérience avec un... virus ! S'il y parvenait un jour, cela aurait une portée symbolique et théorique énorme. Symbolique, car il serait démontré qu'une entité quasi vivante (le virus n'est pas considéré comme un être vivant, car il a besoin d'un hôte pour se reproduire) ou, pour le moins, liée au monde vivant, peut connaître un état quantique. Théorique, car la preuve serait faite que la physique quantique a son mot à dire dans le domaine de la biologie.

Quand la lumière va plus vite que la lumière

La formule paraît totalement surréaliste. Elle aurait sans doute plu à Dali à qui elle aurait inspiré une œuvre à mettre à côté de ses montres molles qui s'écoulaient avec le temps. Nous avons dit et répété que, dans notre Univers, rien ne pouvait aller plus vite que la vitesse de la lumière, alors comment la lumière elle-même le pourrait-elle ? Cela ressemble à un koan zen !

Pourtant, Raymond Chiao, professeur dans la prestigieuse université de Berkeley en Californie, est celui qui a réussi cet exploit, autre démonstration de l'étrangeté radicale du monde quantique. Pour comprendre cette expérience, il faut d'abord introduire un autre concept : l'effet tunnel. Prenons la situation (tout à fait classique) suivante (figure 6.1 A).

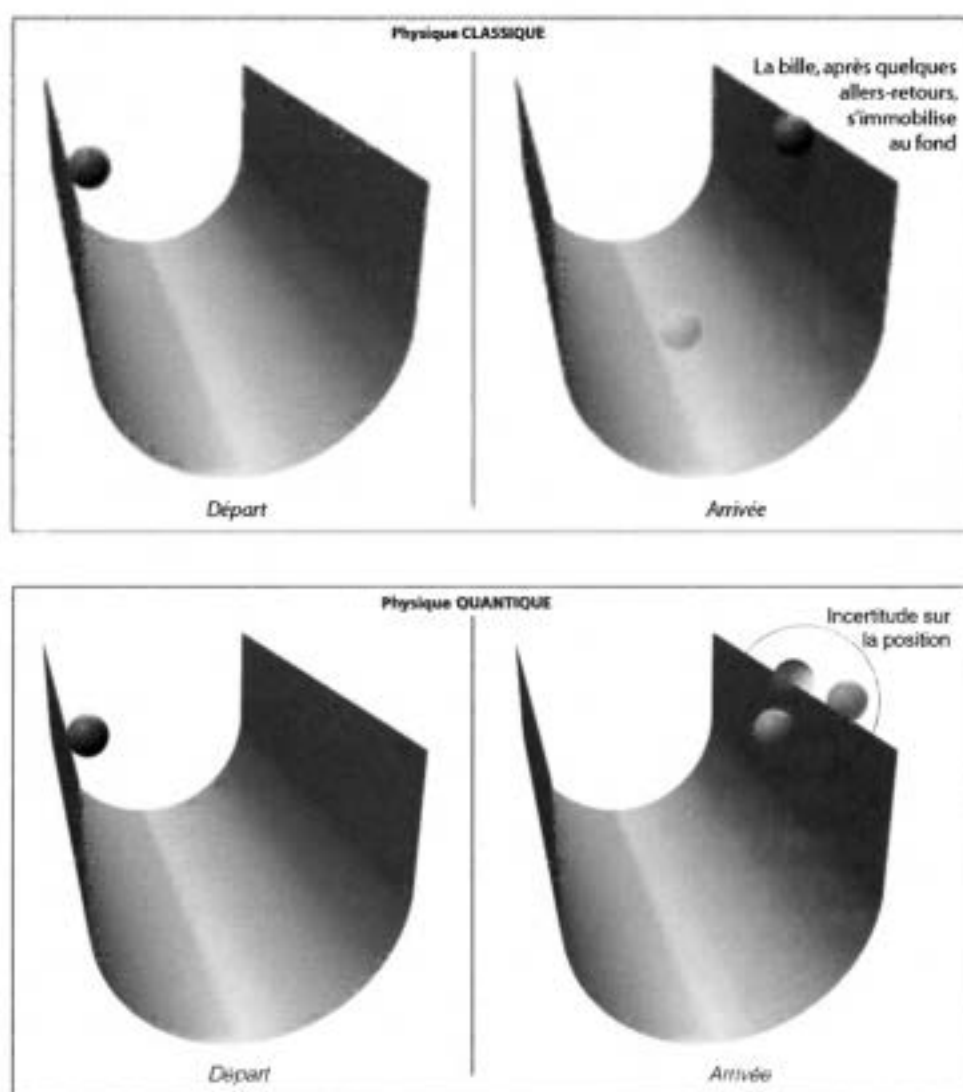


Figure 6.1 A et B.

L'effet tunnel : quand une particule quantique fait quelque chose qui est impossible dans le monde classique.

On lâche (sans impulsion) une bille dans un bol, la force de gravité va lui donner un élan lui permettant de monter à la même hauteur le long de l'autre paroi, mais jamais la bille ne sortira du bol en passant par-dessus bord. À cause des forces de frottement, après quelques allers et retours, elle s'immobilisera au fond du bol.

Imaginons maintenant le comportement d'une particule quantique se trouvant dans la même situation. Quand elle n'est pas mesurée, il existe, comme nous l'avons vu, une incertitude permanente sur sa position.

La plupart des particules qui arriveront au sommet de l'autre côté de la paroi se comporteront comme dans un cas classique et

VOUS QUI ENTREZ ICI, PERDEZ TOUTE ESPÉRANCE !

retomberont au fond. Toutefois, comme il y a une incertitude, une fluctuation, sur la position de la particule quand elle arrive au sommet, une particule sur 10 (ou une sur 100 en fonction des conditions expérimentales) montera plus haut que le sommet de la paroi, basculera de l'autre côté, et donc sortira du bol, c'est-à-dire réalisera une chose impossible pour une particule classique (cf. figure 6.1 B).

Bien évidemment, on ne jette pas des particules quantiques dans des bols. L'expérience décrite ci-dessus n'est destinée qu'à nous aider à comprendre le phénomène. Mais dans une situation réelle, c'est encore plus étrange : des électrons ou des photons sont lancés contre un mur (il s'agit, en général, d'un miroir constitué de silice et de titane). La grande majorité rebondit sur le mur et repart en arrière. Mais comme il y a une incertitude sur la position de la particule quand elle aborde le mur, il est possible que la particule soit en fait située de l'autre côté du mur. C'est comme si un tunnel s'était ouvert devant elle à travers le mur (d'où le nom donné à ce phénomène). Et, en pratique, c'est bien ce qui se produit puisque l'on récupère quelques particules sur l'écran de l'autre côté du mur !

Mais comment la particule s'y prend-elle donc pour traverser le mur ? Raymond Chiao a monté l'expérience suivante :

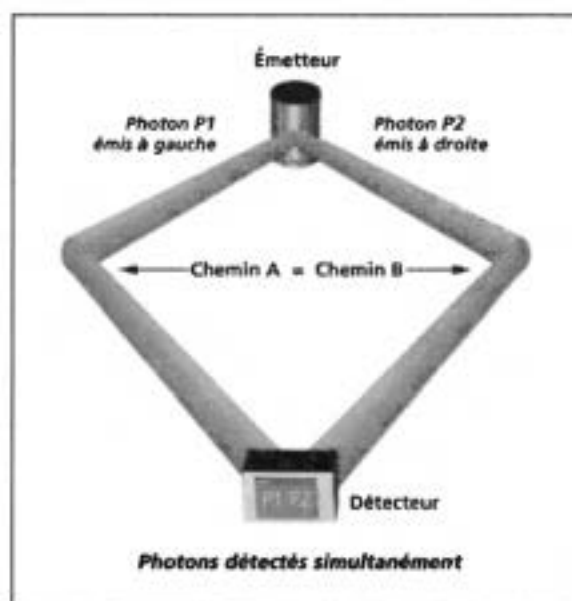


Figure 6.2 A.

Situation « normale » : les deux photons arrivent ensemble.

Une paire de photons quitte en même temps une source de photons. Le premier photon parcourt un chemin A de l'émetteur au

détecteur. Le deuxième parcourt un chemin B qui va également de l'émetteur au détecteur. Le dispositif est calibré pour que la longueur des chemins A et B soit égale. Comment peut-on être sûr que les deux chemins soient d'égale longueur ? Les deux photons servent à calibrer les deux chemins : ils partent en même temps et c'est seulement lorsque les deux chemins ont exactement la même longueur qu'ils arrivent ensemble au détecteur, puisqu'ils voyagent tous les deux à C, vitesse de la lumière. Le détecteur enregistre alors que les deux photons ont interféré ensemble, ce qui est la preuve de l'égalité de la longueur des chemins.

Maintenant, on ajoute un mur en travers du chemin B :

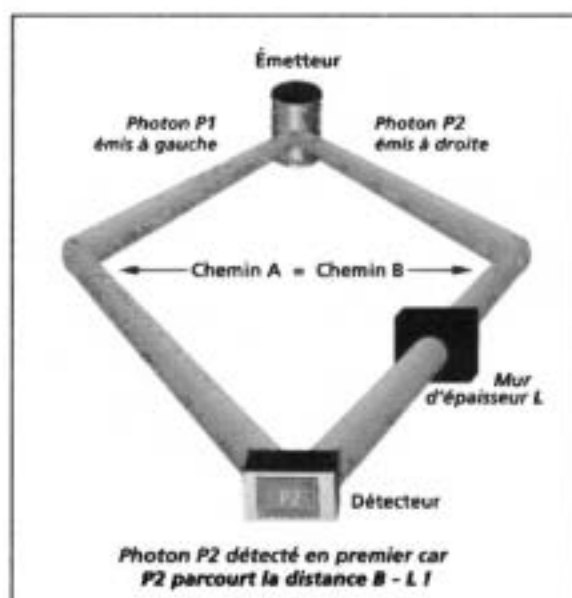


Figure 6.2 B.

Situation quantique : le photon qui a traversé le mur arrive avant l'autre ! P_1 a parcouru la longueur A : P_2 a parcouru la longueur $(B - L)$, L étant l'épaisseur du mur, c'est la raison pour laquelle il est arrivé avant P_1 !

On s'intéresse bien sûr uniquement aux couples de photons (P_1 , P_2), dans lesquels la particule P_2 a réussi la traversée du mur. Qu'observe-t-on ? Que les photons n'interfèrent plus et que le photon P_2 arrive dans le détecteur avant le photon P_1 . Or P_1 va à la vitesse de la lumière ! Comment P_2 peut-il aller plus vite que lui alors qu'il a le handicap de traverser le mur ? La seule façon d'interpréter un tel résultat est de considérer que le photon P_2 n'a pas traversé le mur mais l'a « effacé » !

La preuve que cette incroyable interprétation est la bonne, c'est que si l'on augmente L , c'est-à-dire l'épaisseur du mur, l'avance du photon P_2 sur son collègue augmente dans les mêmes proportions !

Certes, un tel phénomène échappe complètement au sens commun et donc à la façon dont nous pouvons nous le représenter. Si nous voulions tout de même nous faire une image de ce qui se passe (mais ce n'est qu'une image), il faudrait dire que « le photon disparaît quand il touche le mur et réapparaît immédiatement de l'autre côté ».

On voit ainsi qu'il n'est pas excessif de parler des « propriétés magiques » de la mécanique quantique même si tous les physiciens vous diront que tout cela est très rationnel puisque l'on peut parfaitement le décrire avec les équations du formalisme quantique.

Mais je vois déjà revenir ici les amateurs de superluminosité. Ici, me diront-ils, vous ne pouvez pas nier qu'il y a un phénomène superlumineux (ici, comme dans la téléportation, comme dans les expériences EPR) ! Le problème, c'est que l'on ne peut pas non plus s'en servir pour transmettre une information. Donc la relativité d'Einstein n'est pas violée ici non plus. Il faut néanmoins mentionner qu'un physicien allemand, Gérard Nimtz, prétend se servir d'un dispositif de ce type pour transmettre une symphonie de Mozart plus vite que la lumière. Il se balade dans les congrès de physique avec une cassette sur laquelle on entend le résultat : quelques accords au milieu d'un bruit de fond. Mais tous ses collègues affirment qu'il n'y a pas de transmission d'information et cela semble bien avoir été démontré par l'équipe de Nicolas Gisin¹.

De toute façon, l'expérience est déjà suffisamment incroyable comme cela².

1. N. Brumer *et al.*, *Physics Review Letters*, n° 93, 11 novembre 2004.

2. Il faut indiquer pour les spécialistes que les choses sont plus complexes que ce qui a été décrit ci-dessus. Le photon étant comme un paquet d'ondes quand il se déplace, il est étendu dans l'espace. On distingue le *front velocity*, qui constitue, en quelque sorte le « front de l'onde » l'endroit le plus avancé où l'on peut (rarement) trouver le photon en cas de réduction et le *group velocity*, le « sommet » du paquet d'ondes, là où il y a le plus de chances de trouver le photon en cas de réduction. Or c'est le *group velocity* qui est superlumineux et non le *front velocity*. Raymond Chiao utilise l'analogie suivante pour expliquer cela : imaginons deux tortues de même taille qui parcourent les chemins A et B. Les nez des deux tortues arriveront ensemble

La métamorphose de l'électron

L'expérience des fentes de Young est, comme nous l'avons vu, l'une des plus importantes dans ce domaine pour comprendre le comportement et la nature des particules élémentaires. En voici un raffinement qui permet de mieux appréhender encore ce qui est en jeu dans cette expérience : l'expérience du choix retardé ! Plutôt que de passer par deux fentes, les électrons peuvent suivre deux chemins – allant d'une même source à un point de croisement –, exactement comme dans l'expérience précédente de la figure 6.2 A, sauf que cette fois-ci, il n'y a qu'un *électron* à la fois dans le dispositif et non deux. Sur l'un des deux chemins, on place non pas un mur, mais un détecteur capable d'enregistrer le passage de l'électron (la situation serait celle de la figure 6.2 B, sauf que l'on va mettre un détecteur à la place du mur).

Si l'on active le détecteur, on trouvera toujours l'électron sous sa forme corpusculaire dans le détecteur. En revanche, si le détecteur n'est pas activé, l'électron arrive sur l'écran et l'ensemble des électrons crée une structure d'interférence comme au chapitre 4, figure 4.5, preuve qu'ils ont voyagé par les *deux* chemins en même temps en étant dans une forme de superposition d'états : « électron passant par le chemin A + électron passant par le chemin B ».

Mais il est possible d'activer ou de ne pas activer le détecteur alors que l'électron a déjà quitté la source, franchi le séparateur, et est donc à l'intérieur du dispositif !

Puisque l'on peut montrer que lorsque le détecteur n'est pas activé, un unique électron emprunte les deux chemins à la fois, cela veut dire que lorsque l'on active le détecteur sur le chemin B

(c'est le *front velocity*) mais le sommet de la carapace de la tortue qui a traversé le mur arrivera avant le sommet de la carapace de l'autre tortue ! Raymond Chiao, Paul Kwiat, Aephraim Steinberg, « La physique quantique », *Pour la Science*, juin 1994, p. 54-63. Mais cela ne remet pas en cause ce qui a été expliqué ci-dessus de façon vulgarisée : quelque chose a bien voyagé de façon supralumineuse même si la réalité est plus subtile (cf. la publication d'origine : Aephraim M. Steinberg, Paul G. Kwiat et Raymond Y. Chiao, « Measurement of the single photon tunneling time », *Physical Review Letters*, vol. 71, n° 5, p. 708-711, 2 août 1993).

et que l'électron s'y matérialise, « quelque chose » était présent sur le chemin A et en a disparu instantanément lors de la réduction du paquet d'ondes. C'est une sorte de test du paradoxe de Broglie (cf. p. 78) et cela permet de voir comment un électron – qui, rappelons-le, est une entité absolument indivisible – est bien « ailleurs » ou « partout » lorsqu'il n'est pas observé ! Cet exemple permet ainsi de mieux comprendre l'interprétation de la non-séparabilité dans laquelle on affirme que les deux particules forment un tout inséparable même si elles se trouvent en deux endroits éloignés puisque, vu la nature de l'expérience, on ne peut pas dire, lorsque l'électron est capturé par le détecteur, qu'il était sur le trajet B et non sur le trajet A.

Requiem pour le chat de Schrödinger

C'est une tristesse pour moi que de devoir vous annoncer le décès du chat de Schrödinger qui a tenu en haleine des générations d'amateurs de mécanique quantique, en étant dans la superposition des deux états « vivant » et « mort ».

Une équipe de l'École normale supérieure, dirigée par Serge Haroche, a en effet observé en direct la mort du chat. Le chat est constitué d'un groupe de photons introduit dans une de ces cavités qui réduisent au maximum l'interaction des particules avec leur environnement. Alors, on fait passer à travers ce groupe de photons (on parlera par la suite d'un « champ » de photons, car leur comportement sera collectif) un atome en état « double », comme notre électron de l'expérience précédente. Ce champ de photons se met alors dans un état double équivalent à celui du chat mort et vivant sauf qu'ici, il s'agit de deux phases 1 et 2.

Comment tester l'état d'un chat ? En lui envoyant une souris pour voir s'il réagit ! Ici, la « souris » qui va traverser le champ est un second atome envoyé alors que le premier est déjà sorti du champ. Les mesures faites sur cet atome lorsqu'il sort de la cavité permettent de savoir si le champ est retourné à un état normal (il est en phase 1 ou en phase 2) ou s'il est encore dans un état superposé (il est à la fois en phase 1 et en phase 2). Ainsi il a été possible d'observer pour la première fois la décohérence elle-même, c'est-à-dire le passage du monde quantique au monde classique. La disparition de l'état « superposé » prend une

quarantaine de microsecondes pour un champ constitué de trois photons. Comme le dit Serge Haroche, la décohérence « protège farouchement le caractère classique du monde macroscopique¹ » et permet de comprendre pourquoi les chats (ou les autres objets macroscopiques) ne sont jamais, pour nous, en état superposé : « les mystérieuses superpositions quantiques » s'évanouissent d'autant plus vite que l'objet est gros. Donc, dans le cas d'un chat, le temps durant lequel il peut exister en état superposé est infiniment court.

La théorie de la décohérence est donc confirmée. Mais attention, comme nous l'avons déjà dit, cela ne signifie en aucune manière un retour à l'objectivité forte du monde macroscopique.

Nous sommes exactement dans la même situation qu'avec les théories d'Einstein et de Newton. Comme nous le verrons au cours du chapitre suivant, les effets relativistes sont, dans notre vie de tous les jours, insignifiants (heureusement pour nous, sinon notre vie serait invivable). Cela ne veut toutefois pas dire qu'ils n'existent pas ! Mais ils ne se manifestent dans toutes leurs forces et dans toute leur étrangeté que lorsqu'on approche de la vitesse de la lumière, ce qui n'est jamais le cas dans notre vie de tous les jours, où la mécanique newtonienne constitue une bonne approximation d'une réalité qui est mieux décrite dans ses fondements par la relativité einsteinienne.

De la même façon, le monde classique dans lequel nous vivons n'est qu'une approximation de ce qui existe vraiment, ce réel fondamental étant mieux décrit par la mécanique quantique. Comme les effets relativistes, les effets quantiques se manifestent à des échelles qui, heureusement, ne sont pas les nôtres. Mais cela ne veut pas dire que nous devons considérer notre monde classique comme ayant une réalité intrinsèque, de même que nous ne devons pas considérer que la physique newtonienne décrive correctement notre univers même si cela *paraît* être le cas à notre échelle.

1. Serge Haroche, Jean-Michel Raimond et Michel Brune, « Le chat de Schrödinger se prête à l'expérience », *La Recherche*, n° 301, septembre 1997, p. 50 à 55, et *Physical Review Letters*, n° 77, 1996, p. 4887-4889.

Requiem pour les supporters du monde classique

Lors des conférences au cours desquelles je présente les expériences qui ont été décrites ici ainsi que leurs implications, l'une des questions les plus fréquentes (et des plus légitimes) qui me soient posées est : « Comment pouvez-vous dire qu'on ne connaîtra jamais, par exemple, la position et la vitesse d'une particule, qu'on ne restaurera jamais l'objectivité forte, qu'on ne reviendra pas à des conceptions classiques grâce auxquelles le sens commun pourrait de nouveau être utilisé pour décrire ce qui existe ? Regardez les progrès incroyables effectués par la science, comment savez-vous qu'une nouvelle théorie ne va pas un jour tout changer ? En science, il ne faut jamais dire "jamais" ! »

Tout cela est très raisonnable et pourtant... il est tout à fait possible d'affirmer que jamais la science ne reviendra à des conceptions selon lesquelles l'Univers aurait été créé par Dieu il y a six mille ans ou que la Terre serait au centre du monde. Il en est de même pour l'idée selon laquelle on pourrait un jour en revenir à une description de l'Univers en termes de physique newtonienne. Il y a trop de faits avérés qui empêchent un tel retour en arrière. De la même façon, toutes les expériences extraordinaires que nous venons de décrire (photons qui se « dématérialisent » pour franchir des murs, téléportation quantique, électrons indivisibles qui sont à deux endroits à la fois et disparaissent instantanément de l'un des deux, etc.) nous montrent qu'il est vain d'espérer un retour sous quelque forme que ce soit à un monde classique que le sens commun pourrait décrire. Nous avons largué les amarres, nous voguons sur la mer du nouveau paradigme, c'est une mer dangereuse et étrange, mais qui nous amène vers tant de découvertes excitantes...

Cela nous permet de conclure cette quête de la réponse à la question « qu'est-ce que le réel ? » en affirmant que ce qui est en jeu, ce n'est nullement de savoir si la matière est « dure, molle ou *al dente* » mais si elle peut avoir une existence objective (au sens fort), c'est-à-dire être ontologiquement suffisante, avoir des caractéristiques dont l'existence ne dépend de rien d'autre qu'elle-même. Que la réponse (*a priori* définitive, pour les raisons que

nous venons de voir) soit négative et que la réalité échappe en partie à l'espace et au temps, et se situe hors du niveau dans lequel nous évoluons, porte un coup mortel à toute une série de conceptions classiques, parmi lesquelles le matérialisme classique (sauf à imaginer « un matérialisme platonicien » comme nous l'avons dit, ce qui paraît un petit peu antinomique¹).

Cette conclusion, d'une grande importance sociale et philosophique, doit être accompagnée de trois précisions :

— La chute du matérialisme n'entraîne pas celle de l'athéisme, car rien dans la physique quantique ne soutient directement une conception déiste ou théiste.

— Que la matière n'ait pas d'existence propre n'implique en rien que le monde soit une illusion. Au contraire.

— Que tous les physiciens puissent être d'accord pour affirmer la validité d'une théorie et que celle-ci soit réfutée par l'expérience nous montre bien que le monde n'est pas une création de notre esprit, qu'il y a bien une réalité extérieure à nous qui nous résiste, même si elle n'est pas d'ordre physique !

1. Ou, rappelons-le, un matérialisme acceptant des choses telles qu'une duplication de tout l'Univers à chaque mesure quantique.

VOUS QUI ENTREZ ICI, PERDEZ TOUTE ESPÉRANCE !

Qu'est-ce que le réel ?

Le principe d'incertitude d'Heisenberg nous enseigne qu'une incertitude fondamentale existe dans l'Univers au niveau des particules élémentaires. Le déterminisme n'est pas universel.

L'expérience des fentes de Young nous montre que les fondements de la matière ne sont pas des objets matériels.

L'existence d'une dimension non locale ou holistique dans l'Univers a été démontrée expérimentalement. Toute future théorie relative à la réalité devra tenir compte du fait que, dans certaines situations, deux particules doivent être considérées comme un unique objet quelle que soit la distance qui les sépare.

Nos concepts traditionnels concernant le temps, l'espace, les objets, les trajectoires, la causalité ne s'appliquent plus au niveau microphysique.

Le monde qui nous entoure, celui des phénomènes, ne peut être décrit sans tenir compte de la façon dont nous le mesurons. On dit qu'il a une « objectivité faible ».

La réalité véritable est, par définition, à « objectivité forte » : elle ne dépend pas de la façon dont nous l'observons. Si une telle réalité existe, elle ne peut être identifiée à la réalité phénoménale, celle où nous vivons.

Si l'on veut rester réaliste, il faut donc postuler un « réalisme non physique » dans lequel la réalité véritable ne correspond pas à ce que l'on peut voir, mesurer, toucher. Elle est en grande partie voilée.

À moins d'adopter des modèles cohérents en terme de formalisme mais ayant des conséquences absurdes (univers parallèles...) ou des modèles dont le formalisme pose des problèmes (potentiel quantique), il semble bien que cette réalité indépendante ne puisse être conçue comme étant immergée dans l'espace-temps. Et qu'il en est de même pour les particules élémentaires qui constituent le fondement de tout ce que nous pouvons observer.

Toutes les recherches actuelles semblent montrer que loin de revenir aux conceptions classiques, la physique se dirige vers des visions encore plus éloignées de nos concepts familiers.

III

D'où venons-nous ? Où allons-nous ?

Entendez-vous le murmure du big bang le soir
au fond des radiotélescopes ?

« Au commencement était le verbe,
et le verbe était auprès de Dieu,
et le verbe était Dieu [...]. En lui était la vie
et la vie était la lumière des hommes ;
et la lumière brille dans les ténèbres
et les ténèbres ne l'ont pas arrêtée. »

Prologue de l'Évangile de saint Jean

La deuxième fissure

Vous rappelez-vous les deux « nuages noirs » qui obscurcissaient à peine le ciel bleu de la science classique ? Le premier était la structure du rayonnement d'un corps noir lorsqu'on le chauffe. Cette minuscule fissure dans le solide mur de la science classique est devenue, comme nous venons de le voir, une faille béante en entraînant des développements qui nous ont menés jusqu'à la physique quantique actuelle.

L'autre fissure va, elle aussi, avoir des conséquences qui vont transformer la faille en gouffre, ce qui va achever de jeter à bas la belle muraille que formait la science classique. Il s'agit d'une expérience faite par Albert Michelson en 1881, puis refaite de façon plus précise avec Edward Morley en 1887.

À cette époque, les conceptions de Newton avaient remporté des succès ininterrompus durant plus de deux siècles. Elles avaient été érigées en principes absolus, et cela d'autant plus qu'elles correspondaient au sens commun (à une exception près : la gravitation – force invisible qui exerce une attraction instantanée – avait grandement perturbé les contemporains de Newton mais on postulait qu'elle était transmise par un mystérieux

« éther », ce qui avait permis d'accepter ce concept). Tous les mouvements se déroulaient dans un espace qui servait de référentiel absolu. Un observateur placé entre deux étoiles, là où il n'y a presque rien, est un observateur « absolu » s'il est à l'arrêt, pouvant ainsi juger de la « vraie » vitesse de tous les mouvements. Le temps est également absolu. Quelles que soient notre position et notre vitesse, si nous chronométrons un événement, il aura bien sûr la même durée.

Mais nous ne sommes pas à l'arrêt dans l'espace. La Terre tourne autour du Soleil. Quand nous sommes dans un train et que nous longeons une route, il est clair que la vitesse relative des voitures qui roulent dans le même sens que le train est très inférieure à celles qui roulent dans la direction opposée au train.

Albert Michelson eut donc l'idée de mesurer la vitesse de la lumière dans des directions orthogonales, comme un observateur mesurerait depuis le train la vitesse des voitures qui roulent parallèlement au train et celles qui s'éloignent du train sur une route orientée à 90 degrés de la voie de chemin de fer. Mais quelque fût la direction, toutes les mesures effectuées donnaient le même résultat ! On n'allait tout de même pas en revenir à des conceptions précoperniciennes en affirmant que la Terre était immobile dans l'espace¹ !

Ce résultat ne sera compris qu'en juin 1905 lorsqu'un « expert technique de troisième classe » de l'office fédéral des brevets de Berne publiera dans les *Annales de la physique* (*Annalen der Physik*, revue très prestigieuse en cette époque où la science allemande était la première dans de nombreux domaines) un article au titre anodin (« Sur l'électrodynamique des corps en mouvement » par Albert Einstein) mais au contenu radicalement révolutionnaire.

En effet, il y affirmait que :

— Toutes les lois de la physique traitent les différents mouvements de la même façon. C'est le « principe de relativité ». Le temps, l'espace, le mouvement, sont ainsi relatifs (d'où le nom de la théorie). Ils dépendent du référentiel dans lequel se situe l'observateur.

1. Aujourd'hui encore, certains créationnistes, comme le CESHE en France, utilisent le résultat négatif de cette expérience pour affirmer que la Terre ne tourne pas autour du Soleil.

— La vitesse de la lumière (300 000 km/s) est une constante universelle. Supposons qu'un vaisseau capable d'aller à 200 000 km/s émette deux signaux lumineux vers l'avant et vers l'arrière. Un observateur basé sur la Terre qui mesurerait la vitesse de ces deux rayons lumineux ne trouverait pas, pour le rayon émis vers l'avant, 500 000 km/s ($300\,000 + 200\,000$) et 100 000 pour celui émis par l'arrière ($300\,000 - 200\,000$) comme le voudrait le bon sens, mais à chaque fois 300 000 ! Donc ici $3 + 2 = 3$ et $3 - 2 = 3$; drôles de mathématiques !

Cette constance de la vitesse de la lumière explique bien sûr l'échec de l'expérience de Michelson et Morley. Mais elle permet surtout de comprendre l'espace et le temps « conspirant » pour que la vitesse de la lumière¹ soit toujours la même.

Cela impliquait que :

— Il n'y a pas d'espace absolu. On ne peut donc pas mesurer le mouvement de la Terre (ou de tout autre corps) par rapport à un espace absolu qui serait le « juge de paix », la « référence ultime » pour déterminer la nature du mouvement. Il n'y a donc pas d'« éther ». Il n'y a que des mouvements relatifs, comme celui d'un avion par rapport à la Terre ou de la Terre par rapport au Soleil.

— Il n'y a pas de temps absolu. Si incroyable que cela puisse paraître, le temps s'écoule différemment pour des observateurs qui ne voyagent pas à la même vitesse.

Quand les jumeaux n'ont plus le même âge

Une histoire permet de comprendre les incroyables implications de cette situation, celle du voyageur de Langevin. Un astronaute quitte la Terre et il accélère jusqu'à une vitesse très, très proche de celle de la lumière, disons 99,9999995 %, va au centre de la galaxie (25 000 années-lumière de distance), laissant son frère jumeau sur terre. À cette vitesse, il lui faudra un peu plus de cinquante mille ans pour faire l'aller-retour. Il reviendra donc sur terre cinquante mille ans plus tard et son jumeau sera mort depuis longtemps. Mais lui n'aura vieilli que

1. Il s'agit de la vitesse de la lumière dans le vide. Dans l'eau, par exemple, la lumière est ralentie.

de cinq ans¹ ! Toutes les façons possibles de mesurer le temps à bord de son vaisseau (vibration des atomes, croissance des plantes ou de ses poils de barbe, ou lecture d'une montre quel que soit son mécanisme) lui montreront que le voyage n'a duré que cinq ans. Et s'il avait pu mesurer la distance parcourue par son vaisseau, il aurait trouvé 5 années-lumière. Donc :

— Vu de la Terre, il a parcouru 50 000 années-lumière en cinquante mille ans.

— Vu de l'intérieur du vaisseau, il a parcouru 5 années-lumière en cinq ans.

Ce que nous dit la relativité, c'est que les mesures faites à bord du vaisseau ne sont pas une « aberration » et que les mesures faites depuis la Terre ne sont pas forcément les mesures normales. Toutes les deux sont aussi « légitimes » l'une que l'autre.

Cela implique que le temps ralentisse quand on accélère et que l'espace se contracte dans la direction prise par le vaisseau. Comme le montre notre exemple, une distance de 50 000 années-lumière n'est plus que de 5 années-lumière quand on s'approche de la vitesse de la lumière, et il se passe cinq ans seulement au lieu de cinquante mille ans. Cela permet de comprendre pourquoi, comme nous le disions au chapitre 4, on ne peut, dans notre univers, dépasser la vitesse de la lumière (c'est ce qui rend la non-séparabilité si incroyable) : car supposez que vous approchiez de la vitesse de la lumière. Vous appuyez alors sur l'accélérateur... mais une vitesse, c'est un espace parcouru en un certain temps.

Or, voici qu'autour de vous le temps ralentit de façon quasi proportionnelle à la contraction de l'espace dans la direction dans laquelle vous allez ; vous accélérez à peine ! Si vous appuyez encore plus fort sur l'accélérateur, le même phénomène recommence ! Même si vous fournissez une énergie infinie au moteur de votre vaisseau, vous ne pouvez atteindre la vitesse de la lumière (encore une fois dans notre univers), car c'est la nature même de l'espace et du temps qui vous en empêche. Peut-être pensez-vous que tout cela est très théorique ? Eh bien, sachez que de tels effets de modification du temps et de l'espace existent dans notre vie quotidienne. Lorsque vous prenez l'avion pour un voyage aller et retour et que vous accélérez jusqu'à 900 km/h, vous vieillissez moins vite que votre conjoint

1. Ce dernier chiffre dépend de sa vitesse, plus il sera proche de la vitesse de la lumière, plus ce chiffre sera faible.

resté à la maison ! Certes, la différence, calculée grâce à des horloges atomiques très précises embarquées à bord d'avions et dont on compare les mesures avec des horloges identiques restées au sol n'est que de 14 millionnièmes de seconde. Passer notre vie dans des avions n'est donc pas une bonne méthode pour lutter contre le vieillissement car avec le stress engendré par les passages dans les aéroports, vous allez y perdre plutôt qu'y gagner ! Mais le phénomène n'en est pas moins réel : dès que vous accélérez, le temps ne s'écoule plus de la même façon pour vous et pour ceux que vous avez quittés qui n'ont pas subi d'accélération.

Ces effets, qui sont très faibles à des vitesses normales, deviennent spectaculaires à des vitesses proches de la vitesse de la lumière. Ainsi, dans des accélérateurs de particules, des particules qui ne vivent que deux secondes avant de se désintégrer se mettent à vivre deux minutes quand on les accélère à 99,986 % de la vitesse de la lumière. Bien sûr, elles vivent deux minutes pour nous. Si elles avaient une conscience, elles ne se verraient vivre que deux secondes, comme leurs collègues évoluant à basse vitesse.

De la même façon, le voyageur de Langevin vit cinq années (pour lui) même si nous le voyons vivre cinquante mille ans quand nous observons son parcours depuis la Terre.

Ce que nous venons de décrire constitue la relativité « restreinte ». On l'appelle ainsi car elle n'intègre pas la gravitation. Elle nous amène à ne plus parler désormais que d'« espace-temps », comme le dit Hermann Minkovski (qui fut avec Einstein et le Français Henri Poincaré un des pionniers dans ce domaine), « désormais, l'espace en tant que tel et le temps en tant que tel sont voués à disparaître comme des ombres, et seule une certaine union des deux conservera une certaine réalité ».

Après avoir énoncé les bases de cette théorie en 1905, Einstein consacra les dix années suivantes à cette intégration, parvenant ainsi à énoncer en 1915 sa théorie de la « relativité générale » qui constitue certainement son plus grand apport à la science. En effet, même si vous avez pu considérer que les principes de la relativité restreinte que nous avons décrits étaient extraordinaires, ils étaient déjà « dans l'air » à cause, entre autres, du résultat négatif de l'expérience de Michelson et Morley.

Un monde dans lequel les masses ont la propriété de déformer le vide

La relativité générale est encore bien plus étrange que la restreinte : elle postule que les masses déforment l'espace et le temps.

Pour comprendre cela, utilisons l'image suivante : prenez un drap que deux personnes tiennent de façon qu'il soit tendu. Posez dessus une boule de bowling : elle va s'enfoncer dans le drap. Cet espace à deux dimensions qu'est le drap va se déformer, on dit qu'il se « courbe ». Si vous jetez ensuite une bille sur le drap, elle va tomber dans l'entonnoir creusé par la boule de bowling et tourner autour de cette dernière en s'enfonçant également dans le drap mais beaucoup moins, étant bien plus légère que la boule de bowling.

Eh bien, pour la Terre et la Lune, comme pour tous les autres corps de l'Univers, c'est la même chose ! Pour Newton, la Lune tourne autour de la Terre parce que la Terre l'attire grâce à une mystérieuse force gravitationnelle (cf. figure 7.1 A).



Figure 7.1 A.

La gravitation newtonienne : la Lune est attirée par la Terre par une force d'attraction.

Cette force d'attraction mystérieuse avait beaucoup perturbé les contemporains de Newton, entre autres parce qu'elle s'exerçait de manière instantanée à distance, ce qui paraissait irrationnel. Mais les sceptiques avaient dû s'incliner devant les remarquables prévisions permises par la théorie.

Pour Einstein, cette force n'existe pas ! La Lune se déplace en ligne droite mais comme l'espace autour d'elle est courbé par la

présence de la Terre, elle ne peut que tourner autour de cette dernière ! Le problème, c'est qu'il est très facile d'imaginer un drap (espace à deux dimensions) courbé mais qu'il nous est presque impossible d'imaginer un espace à trois dimensions courbé (de la même façon que, si nous étions des êtres à deux dimensions vivant à l'intérieur d'un drap, nous ne pourrions imaginer qu'il soit courbé, ni le sentir quand cela se produirait). C'est donc en deux dimensions que l'on peut se représenter l'explication d'Einstein (figure 7.1 B).

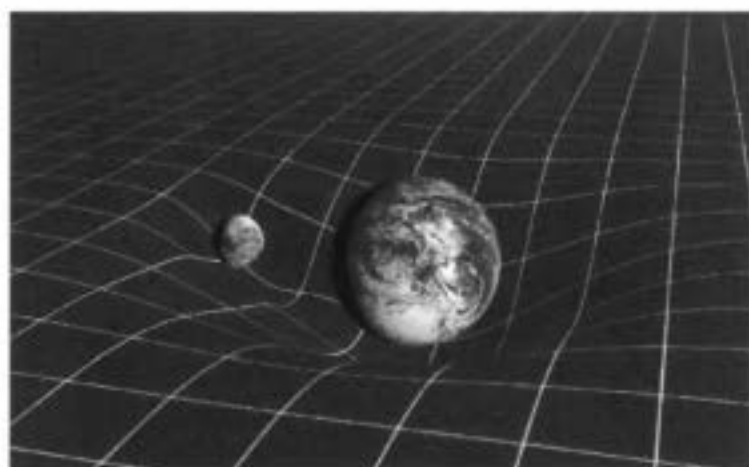


Figure 7.1 B.

La gravitation einsteinienne : la Lune est « piégée » dans le trou que la Terre a creusé dans l'espace-temps. Elle avance en ligne droite mais les lignes droites autour d'elle sont courbées et forment une ellipse autour de la Terre sur la paroi du « puits ».

C'est bien beau de prétendre que les masses courbent l'espace mais comment le prouver ? Pour cela, il faut faire une prédiction différente de celle de la théorie de Newton.

La lumière utilise toujours le chemin le plus court pour aller d'un point à un autre.

Dans un espace normal, le chemin le plus court est la ligne droite, alors que dans un espace courbé, c'est une ligne courbe qu'on appelle une géodésique. En 1919, on compara la photo d'une partie du ciel prise au moment où une éclipse du Soleil par la Lune se produisait, avec une photo de la même partie du ciel prise la nuit, c'est-à-dire lorsque le Soleil est absent (cf. figure 7.2 A et 7.2 B). Grâce à l'éclipse, on peut voir des étoiles situées « derrière » le Soleil, c'est-à-dire dont les rayons lumineux doivent, pour nous parvenir, passer à proximité du Soleil.

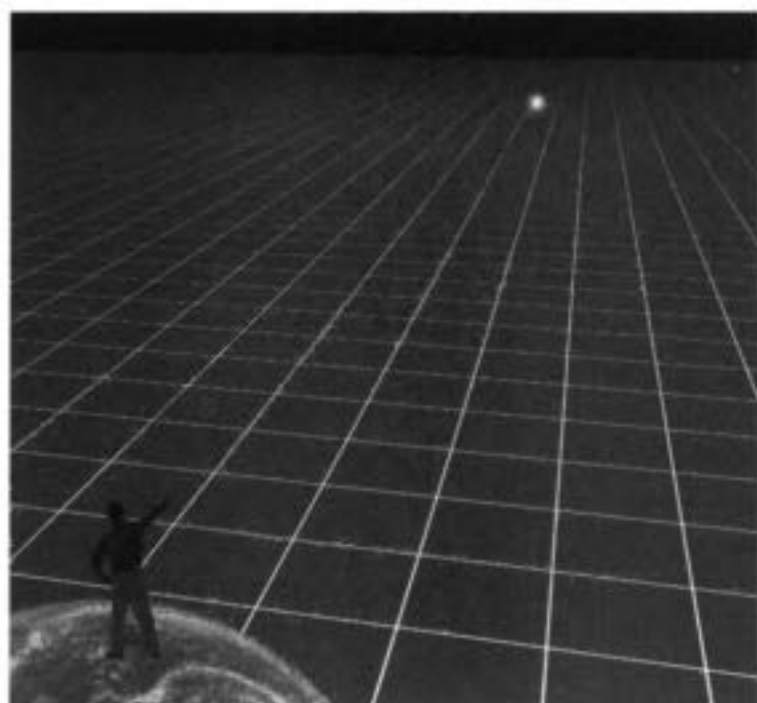


Figure 7.2. A.
Position réelle d'une étoile par rapport à la Terre.

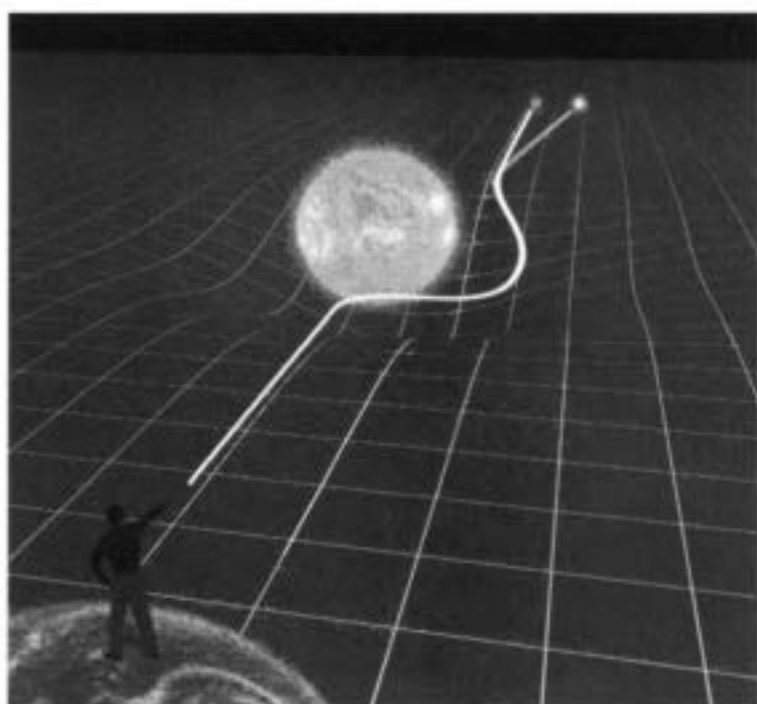


Figure 7.2. B.
Quand une étoile fait un saut lors d'une éclipse du Soleil :
la preuve de la relativité générale.

Or, la position de ces étoiles par rapport aux autres étoiles du ciel avait varié comparativement à leur position normale, celle qu'elles occupaient toutes les nuits avant et après l'éclipse. Comme les étoiles ne sautent pas comme cela dans l'espace (elles mettent des milliers d'années à se déplacer les unes par rapport aux autres), il fallut se rendre à l'évidence : le Soleil avait bel et bien déformé l'espace autour de lui, nous faisant voir pendant une brève période les étoiles à une autre position que celle qui est la leur.

Ce fut un triomphe pour Einstein et pour la relativité (le *Times* de Londres titra « Les idées de Newton sont ruinées », ce qui n'était pas tout à fait exact comme nous l'avons déjà vu, puisque Einstein a « avalé Newton vivant ! »). Et cela d'autant plus que, connaissant la masse du Soleil (2.10^{27} tonnes), Einstein a prédit la courbure de l'espace et donc le déplacement de l'image des étoiles que l'on allait observer (la différence entre les deux positions sur la figure 7.2. B). La relativité générale permit aussi d'expliquer l'un des rares phénomènes que n'expliquait pas la théorie de Newton : le décalage du périhélie de Mercure. Le périhélie est le point où une planète s'approche le plus du Soleil sur l'ellipse qu'elle décrit autour de lui. Ce point se décalait sur l'orbite de Mercure d'une façon que, contrairement aux autres planètes, on ne pouvait expliquer à partir des lois de Newton. Cette anomalie est bien entendu due à la proximité du Soleil, Mercure se trouvant très près du fond du puits creusé par le Soleil dans l'espace-temps, cause que la théorie de Newton ne pouvait pas envisager.

Cependant une masse ne courbe pas seulement l'espace. Elle ralentit également le temps. Ainsi le temps s'écoule moins vite au niveau de la mer qu'au sommet d'une montagne !

Comme pour la différence existant entre le temps s'écoulant dans un objet en mouvement (avion, voiture) et le temps s'écoulant dans un objet immobile par rapport à la Terre, la différence est infime. Néanmoins, on peut s'étonner que les P-DG toujours en manque de temps installent leur bureau au sommet de leur immeuble plutôt que de les installer au sous-sol où le temps s'écoule moins vite (bien sûr le gain n'est que de quelques infimes fractions de secondes par an) !

La théorie d'Einstein est à la base de la plupart des idées, théories et directions de recherche en astrophysique. Mais elle a surtout donné naissance à la théorie du big bang, théorie la plus importante pour répondre à la question « d'où venons-nous, où allons-nous ? ».

La genèse du big bang

En développant son modèle de la gravitation si incroyablement novateur, dans lequel les masses courbent l'espace et déforment la trajectoire des rayons lumineux, Einstein se rendit compte avec effroi que ce modèle prédisait une *expansion* de l'Univers.

L'idée semblait contraire à toutes les observations disponibles à l'époque. Comment sa théorie révolutionnaire pourrait-elle être acceptée si elle prédisait quelque chose d'aussi scandaleux et d'*a priori* faux ? Pour faire disparaître le problème, Einstein introduisit dans ses équations une « constante cosmologique ». L'unique fonction de cette constante *ad hoc* était de préserver la stabilité de l'Univers en contrebalançant l'expansion. Einstein dira plus tard que cela a été la plus grande erreur de sa vie. Cet esprit si novateur n'avait pas osé suivre jusqu'au bout ce que lui « disaient » ses équations.

Mais en 1922, un jeune physicien russe, Alexandre Friedmann, publia (dans les *Annales de la physique*) un article décrivant à partir du travail d'Einstein des modèles d'univers en expansion. L'Univers peut soit être en expansion infinie – auquel cas il se diluera jusqu'à une densité quasi nulle –, soit, si sa densité est suffisante, se recontracter et s'effondrer sur lui-même.

Friedmann avançait également que si la fameuse constante cosmologique d'Einstein était nulle, l'Univers pourrait avoir autour de dix milliards d'années.

Einstein réagit en publiant une note dans le même journal dénonçant une erreur de calcul de Friedmann. Mais un an après, à la suite d'une lettre de Friedmann, Einstein se rétracta : c'était lui qui avait commis une erreur de calcul en croyant en détecter une dans l'article en question ! Fort de cette victoire contre Einstein, Friedmann paraît promis à un bel avenir. Mais il meurt en 1925 des suites d'une pneumonie contractée lors d'un vol en ballon à 7 400 mètres d'altitude (record du monde pour l'époque !).

Au même moment, un jeune physicien belge, Georges Lemaître¹ assiste, aux États-Unis où il étudie, à la résolution d'une controverse essentielle sur la nature de l'Univers.

1. Toute cette histoire de la genèse du big bang est racontée de façon remarquable dans l'ouvrage de Jean-Pierre Luminet, *L'invention du big bang*, Seuil, 2004.

Kant avait postulé que les nébuleuses que l'on observait étaient des « univers îles » contenant d'innombrables soleils comme le nôtre alors que l'opinion la plus répandue était qu'il s'agissait de nuages de gaz situés à l'intérieur de notre galaxie. Cette opinion se trouva renforcée quand il fut démontré que certaines de ces nébuleuses étaient bien des nuages de gaz.

Toutefois, fin 1924, les moyens d'observations sont assez précis pour que l'astronome Edwin Hubble puisse démontrer que certaines des nébuleuses en forme de spirale sont situées à l'extérieur de notre galaxie. Il s'agit donc de galaxies comme la nôtre, contenant des milliards d'étoiles et situées à des millions d'années-lumière de nous, et non de nuages de gaz situés à quelques milliers d'années-lumière.

Le principe de la démonstration est le suivant : l'éclat de certaines étoiles appelées « céphéides » varie périodiquement. Plus la luminosité réelle de l'étoile est forte, plus la période est longue. En observant la période et la luminosité apparente, on peut en déduire la distance de l'étoile par rapport à la Terre puisque l'on déduit des observations sa luminosité réelle. Hubble montra que les étoiles céphéides de la galaxie d'Andromède étaient situées à 2 millions d'années-lumière alors que notre propre galaxie a seulement un rayon de 100 000 années-lumière.

Cet agrandissement incroyable de la taille de l'Univers fut suivi dès 1925 d'une deuxième révolution, qui, *a posteriori*, apparaît encore plus importante. Grâce au télescope de 2,5 mètres de diamètre du mont Wilson, Hubble put mesurer le spectre des galaxies et se rendre compte qu'elles s'éloignaient toutes de nous à grande vitesse.

Vous avez certainement remarqué qu'une ambulance qui s'approche de vous à grande vitesse fait un bruit différent de celui qu'elle fera, un instant après, en s'éloignant de vous. Le bruit est plus aigu quand elle s'approche, plus grave quand elle s'éloigne. Ce phénomène est appelé l'« effet Doppler ». Il est valable pour toutes les ondes. Pour un observateur donné, le spectre des ondes émises par les corps en mouvement se rapprochant de lui est décalé dans un sens, le spectre des ondes émises par des objets s'éloignant de lui est, lui, décalé en sens inverse. Pour les ondes lumineuses, le spectre des objets se rapprochant est décalé vers le bleu, celui des objets s'éloignant, vers le rouge.

Or, en 1925, Hubble a pu mesurer les spectres d'un certain nombre de galaxies. À l'exception de ceux des galaxies proches, telles que la galaxie d'Andromède, les spectres de toutes les

galaxies sont décalés vers le rouge, donc ces dernières s'éloignent toutes de nous.

Comme nous venons de voir que l'on peut mesurer la distance des galaxies en analysant la luminosité des céphéïdes, Hubble découvre, en rapprochant ces deux types de mesures, que plus une galaxie est éloignée de nous, plus elle s'éloigne rapidement.

Cette proportionnalité entre la distance d'une galaxie et la vitesse avec laquelle elle s'éloigne de nous constitue la « loi de Hubble » que celui-ci énoncera en 1929. Mais Lemaître avait publié cette loi dès 1927 et, contrairement à Hubble, en donnait une explication : c'est parce que l'Univers est en expansion que, plus une galaxie est éloignée de nous, plus elle s'éloigne rapidement. Si on « rembobine » le film, on voit donc toutes les galaxies se rapprocher les unes des autres. C'est la raison pour laquelle Lemaître en déduira logiquement que « nous pourrions sans doute concevoir le début du monde sous la forme d'un atome unique dont le poids atomique est la masse de l'Univers entier. Cet atome instable se serait divisé d'une façon analogue aux corps radioactifs¹ ».

Ainsi Lemaître imagine qu'à l'origine, toute la matière de l'Univers était condensée en un « atome primitif » qui explosa. Lors du congrès Solvay de 1927, Einstein lui fit découvrir le travail de Friedmann qu'il ne connaissait pas, puis, selon Lemaître, fit « quelques remarques techniques favorables et conclut en disant que, du point de vue de la physique, cela lui paraissait tout à fait abominable² ».

Einstein a d'autant plus de raisons de se méfier des conceptions de Lemaître que celui-ci est également... un prêtre (il sera plus tard nommé Monseigneur et présidera jusqu'à sa mort, en 1966, l'Académie pontificale des sciences). Même si Lemaître prendra toujours soin de dire que sa théorie ne prétend en aucune façon décrire la création de l'Univers par Dieu et de séparer les domaines scientifique et religieux, le fait qu'il a été un prêtre a certainement handicapé la diffusion de ses conceptions. Dans les années 1950, l'astrophysicien Fred Hoyle dit, en le voyant arriver à un colloque en Californie : « *This is the Big Bang man* » (« Voici l'homme du big bang »). Expression dont l'auteur (qui défendait la théorie d'un uni-

1. Cité par Jean-Pierre Luminet, *L'invention du big bang*, op. cit., p. 129.

2. *Ibid.*, p. 103.

vers stationnaire) ne pouvait se douter du succès qu'elle allait connaître.

Mais voici qu'un troisième homme entre en scène, le Russe Georges Gamov, qui fut un élève de Friedmann. Il prédit en 1946 que si le big bang avait eu lieu, un rayonnement de fond « résiduel » devait exister.

Imaginez que votre maison enfle pour devenir aussi grande que la France mais que le radiateur utilisé et l'énergie dépensée pour la chauffer restent les mêmes. Bien entendu, elle sera beaucoup plus froide. Néanmoins, sa température ne s'abaissera pas à la température extérieure. Elle sera un tout petit peu plus chaude.

C'est la même chose pour le big bang. Comme le montre la citation de Lemaître, toute l'énergie de l'Univers était déjà présente dans l'« atome primitif ». Rien n'a été « ajouté » depuis. La même énergie qui conférait une température incroyable à cet « atome primitif » (qu'il ne faut pas se représenter comme un atome !) doit aujourd'hui « chauffer » tout l'Univers. Dès 1950, Gamov prédit l'existence d'un rayonnement « fossile » provenant du big bang et baignant l'ensemble de l'Univers dans une température minimale de 3 kelvins (-270°C). La prédiction de Gamov fut oubliée pour des raisons que Trinh Xuan Thuan considère comme « psychologiques » : « Le big bang donnait à la notion de création une base scientifique. La religion montrait le bout de son nez et les physiciens, mal à l'aise, "oublièrent" inconsciemment la prédiction de Gamov¹. »

Mais en 1965, les astronomes Arno Penzias et Robert Wilson construisirent un radiotélescope pour améliorer les communications avec les satellites. Un mystérieux bruit de fond parasitait leur instrument. Après avoir supprimé toutes les causes d'interférence (y compris des pigeons qui logeaient dans le radiotélescope), Penzias et Wilson durent se rendre à l'évidence : le bruit était toujours là.

En se renseignant auprès de leurs collègues, ils découvrent les prédictions de Gamov. Et il s'avéra que leur « bruit de fond » correspondait à un rayonnement baignant tout l'Univers d'une température de 3 kelvins (en fait 2,736 K). Le murmure du big bang venait d'être détecté !

1. Trinh Xuan Thuan, *Le chaos et l'harmonie*, Fayard, 1988, p. 110.

Lemaître apprit la nouvelle sur son lit de mort et mourut heureux : on avait la preuve de son incroyable théorie, quarante ans après qu'il l'eut émise et que Einstein (et bien d'autres avec lui) l'eut trouvée « abominable ». En effet, un rayonnement identique provenant de toutes les directions à la fois ne pouvait s'expliquer que si toutes les régions de l'Univers avaient une origine commune. De plus, ce rayonnement a une forme particulière (celle dite d'un « corps noir parfait »), ce qui montre que l'Univers est passé par une phase très dense et extrêmement chaude.

Les autres preuves du big bang

Très vite, le paradigme de la cosmologie changea, le big bang devint la théorie standard et les astrophysiciens trouvèrent d'autres preuves en sa faveur.

— 98 % de la matière visible (nous verrons au chapitre 9 qu'il y a une matière invisible) est composé d'hydrogène et d'hélium. Tout le reste (carbone, fer, oxygène), bien que beaucoup plus lourd, ne représente que les 2 % restants. Or la répartition de l'hydrogène et de l'hélium est uniforme dans l'Univers : il y a à peu près partout 25 % d'hélium et 75 % d'hydrogène alors que la concentration en atomes lourds peut varier d'un facteur 1 000. La théorie du big bang considère que seuls l'hydrogène et l'hélium se sont formés lors du big bang (d'où leur présence uniforme dans l'Univers) alors que tous les autres éléments se sont formés dans les étoiles. Leurs répartitions dans l'Univers dépendent donc de la présence plus ou moins importante d'étoiles, d'où les énormes différences existant dans leur distribution. Mieux encore, la théorie dit que le rapport entre l'hydrogène et l'hélium devait être, trois minutes après l'explosion primordiale, lorsque l'Univers commença à se stabiliser, justement de trois quarts pour un quart¹.

— Le ciel est noir la nuit. Cette constatation d'une immense banalité est en fait un grand mystère que l'on appelle le paradoxe d'Olbers... et que résout la théorie du big bang ! Le grand astro-

1. Voir pour cela et pour les points suivants Trinh Xuan Thuan, *Le chaos et l'harmonie*, op. cit., p. 110-120, et Hubert Reeves, *Patience dans l'azur*, Seuil, 1981, p. 50-61.

nome Kepler avait déjà énoncé ce problème au XVII^e siècle : « Si les étoiles sont des soleils, pourquoi est-ce que la somme de toutes les lumières ne dépasse pas l'éclat du Soleil¹ ? » En effet, si l'Univers était éternel et infini, on devrait, la nuit, quelle que soit la direction dans laquelle pointe notre regard, recevoir la lumière d'une étoile – la lumière ne s'arrêtant que si elle est absorbée par quelque chose, la taille gigantesque de l'Univers n'est donc pas un argument pour expliquer pourquoi cette lumière n'arrive pas jusqu'à nous. La réponse est justement que l'Univers n'est ni éternel ni infini. Lors des premières centaines de millions d'années, l'Univers, pour un hypothétique observateur, était totalement empli de lumière. Au cours de son expansion, le « volume » à éclairer ne cessant de croître, le « noir » du ciel obscur est apparu².

— L'âge de l'Univers. Nous avons vu que toutes les galaxies s'éloignent de nous et que plus elles sont éloignées de nous, plus leur vitesse d'éloignement est grande. Si l'on « rembobine » le film, toutes les galaxies se retrouvent à un moment donné au même endroit. Cela ne veut pas dire que le système solaire soit au centre de l'Univers ! En fait, on assisterait au même spectacle, de n'importe quel autre endroit de l'Univers. Toute la difficulté consiste à dater dans le passé le moment en question. Actuellement, les derniers résultats indiquent un âge proche de 13,7 milliards d'années.

— L'âge des plus vieilles étoiles. Plus une étoile est grosse, plus elle brûle rapidement, et moins elle vit longtemps. Les étoiles géantes vivent quelques millions d'années, les étoiles comme le Soleil, dix milliards d'années, et des étoiles plus petites que le Soleil peuvent en théorie vivre des centaines de milliards d'années. Mais l'analyse des étoiles existantes montre que les plus vieilles de notre galaxie, comme dans d'autres galaxies, ont entre 13 et 16 milliards d'années.

— L'âge des plus vieux atomes. Les atomes radioactifs se désagrègent régulièrement. On parle de « demi-vie » ou de période lorsque 50 % des atomes se sont désintégrés. La demi-vie de l'uranium 235 est d'un milliard d'années. Celle de l'uranium 238, de 6,5 milliards d'années. Ce sont les analyses de ces atomes,

1. Voir Hubert Reeves, *Patience dans l'azur*, op. cit., p. 78-80, pour cette question.

2. Il existe une seconde raison, également liée au big bang : plus un rayonnement provient d'une source éloignée, plus il est décalé vers le rouge à cause de l'expansion de l'Univers, ce qui réduit sa luminosité.

appelés « isotopes », qui permettent d'évaluer à 4,6 milliards d'années l'âge de la Terre, de la Lune et des météorites. D'autres atomes ont des périodes de 20 milliards d'années (le thorium 232) ou plus. Cela permet d'estimer l'âge des plus vieux atomes de l'Univers entre 10 et 17 milliards d'années.

Comme le dit Trinh Xuan Thuan, « il n'y a *a priori* aucun lien existant entre ces trois "sabliers cosmiques", entre le mouvement de fuite des galaxies, l'évolution des étoiles et la désintégration des atomes. Le fait qu'ils donnent tous la même réponse ne peut pas être accidentel¹. » Malgré les énormes incertitudes qui subsistent, cela nous amène à un âge de 14 milliards d'années environ.

Passons maintenant de l'observation de l'espace à l'expérience et à la théorie. Dans les grands accélérateurs de particules, on peut atteindre des énergies et des températures incroyables correspondant à celles qui régnaient dans les premiers instants de l'Univers.

Quatre forces fondamentales existent dans l'Univers : la gravitation, la force électromagnétique (elle-même issue de l'union entre l'électricité et le magnétisme, réalisée par James Maxwell en 1864), la force nucléaire forte (responsable de la cohésion des noyaux d'atomes) et la force nucléaire faible (qui a l'effet inverse de la force forte puisqu'elle contribue à la désintégration des atomes).

Dès 1967, Abdus Salam et Steven Weinberg avaient prédit qu'à une température de cent mille milliards de degrés (10^{15}), la force faible et la force électromagnétique s'unifieraient. La réalité de cette fusion a été confirmée au Cern en 1983. La température en question correspond à celle qui régnait dans l'Univers cent milliardième de seconde après le big bang ! À ce moment de l'histoire de l'Univers, il n'y avait alors plus que trois forces. Les théoriciens nous disent (mais il n'en existe pas encore de preuve expérimentale) que si on remontait encore plus dans le temps, il n'y aurait plus que deux forces, la force forte fusionnant à son tour avec la force « électrofaible » (nom donné à la fusion entre la force électromagnétique et la force faible), 10^{35} secondes après le big bang à une température de 10^{28} degrés. En remontant encore dans le passé, on devrait assister à l'unification de toutes les forces. Mais là, les modèles théoriques nous manquent.

1. Trinh Xuan Thuan, *La mélodie secrète*, op. cit., p. 120.

La gravitation est décrite par la relativité d'Einstein alors que les trois autres forces sont du domaine de la mécanique quantique. Or, ces deux grandes théories refusent de se marier devant les scientifiques d'aujourd'hui. Leur unification dans une éventuelle « gravitation quantique » est le « Graal » de la physique actuelle. Einstein lui-même y a passé, en vain, les vingt dernières années de sa vie.

Mais un autre problème encore plus fondamental attend nos explorateurs du passé. Il semble qu'il ne puisse pas exister de temps plus court que 10^{-43} secondes ni d'espace plus petit que 10^{-33} centimètres dans notre Univers !

C'est Max Planck qui, de façon posthume, a encore frappé ! Nous avons vu page 56 que Planck avait montré qu'il existait une quantité d'énergie minimale – le quantum –, et qu'elle était indivisible.

La physique quantique nous montre que c'est la même chose pour le temps et l'espace. *A priori*, on pourrait, conceptuellement, les diviser à l'infini. En pratique, ce n'est pas le cas. 10^{-43} seconde est le plus petit intervalle de temps possible (dans notre Univers bien sûr) et 10^{-33} cm, le plus petit espace pouvant exister en fonction des théories actuelles. Au-delà de ces valeurs, le temps et l'espace cessent simplement d'exister. L'origine de notre Univers est donc voilée. On retrouve ainsi dans le domaine de l'infiniment grand des concepts déjà rencontrés dans le domaine de l'infiniment petit : nécessité, au strict plan scientifique, de faire appel à un au-delà du temps et de l'espace, réalité voilée de manière *a priori* définitive...

Ainsi on peut résumer l'histoire de l'Univers actuellement : à l'âge de 10^{-43} seconde, l'Univers avait un diamètre de 10^{-33} cm et une température de 10^{32} degrés. Toute l'énergie qui existe aujourd'hui dans l'Univers était déjà présente dans ce point minuscule, rien n'ayant été « ajouté » depuis. Plus la taille de l'Univers augmente, plus, comme nous l'avons déjà dit, il se refroidit. Une partie de l'énergie se condense en matière. Des nuages se forment, qui se condensent en galaxies dans lesquelles se forment les premières étoiles. Elles explosent, ensemençant l'espace en éléments plus lourds que l'hydrogène et l'hélium, seuls éléments à exister à l'origine, ce qui permet aux étoiles des générations suivantes d'être accompagnées d'un cortège de planètes parmi lesquelles certaines sont susceptibles d'abriter la vie.

Mais si ce beau scénario paraissait bien établi dès les années 1980, il restait à l'époque deux problèmes majeurs à résoudre.

Pourquoi l'Univers est-il si homogène ?

Notre horizon (on l'appelle l'« horizon cosmologique ») constitue une sphère qui contient tout ce que nous pouvons observer aujourd'hui. Bien entendu, une galaxie située à 1 milliard d'années-lumière nous apparaît comme elle était il y a un milliard d'années puisque la lumière qui en provient a mis tout ce temps pour parvenir jusqu'à nous (regarder loin dans l'espace, c'est regarder loin dans le passé).

Si vous prenez deux régions de notre Univers situées dans des directions opposées, vous pouvez supposer qu'elles n'ont jamais pu être en contact l'une avec l'autre. Certes, à l'origine, ces deux régions de l'Univers, aujourd'hui incroyablement éloignées, ont été très proches l'une de l'autre, néanmoins rien n'a pu aller de l'une à l'autre, car l'expansion de l'Univers les a fait partir dans des directions opposées à très grande vitesse.

Les signaux qui nous proviennent de ces régions nous montrent qu'elles sont remarquablement homogènes. Mais comment cela a-t-il pu se produire si aucun transfert d'énergie n'a jamais eu lieu entre elles ? La figure 7.3 montre la nature du problème.

Les modèles classiques d'expansion impliquent que notre Univers actuel avait un rayon de 3 millimètres 10^{-33} seconde après le big bang. Mais à ce moment-là, la lumière n'a pu parcourir qu'une distance de 3×10^{-25} centimètres, distance 10^{-24} fois plus petite que le rayon de l'Univers à cet instant. Donc il n'est pas normal que les caractéristiques des différentes régions de l'Univers actuel soient si homogènes puisque rien n'a pu les homogénéiser. Si vous mélangez une soupe de légumes dans une casserole, il est normal qu'elle ait la même consistance partout. Mais si vous séparez la soupe en plusieurs parties, juste après avoir versé les légumes mais avant d'avoir mélangé, il est exclu que les différentes parties soient homogènes.

Pour résoudre ce problème, Alan Guth (aujourd'hui professeur au MIT) développera en 1980 la théorie de l'inflation. Par le biais de sa théorie, « il dota le big bang d'un véritable bang, plus explosif que celui auquel quiconque aurait pu s'attendre¹ », comme le dit Brian Greene.

1. Brian Greene, *L'univers élégant*, Robert Laffont, 2005, p. 338.

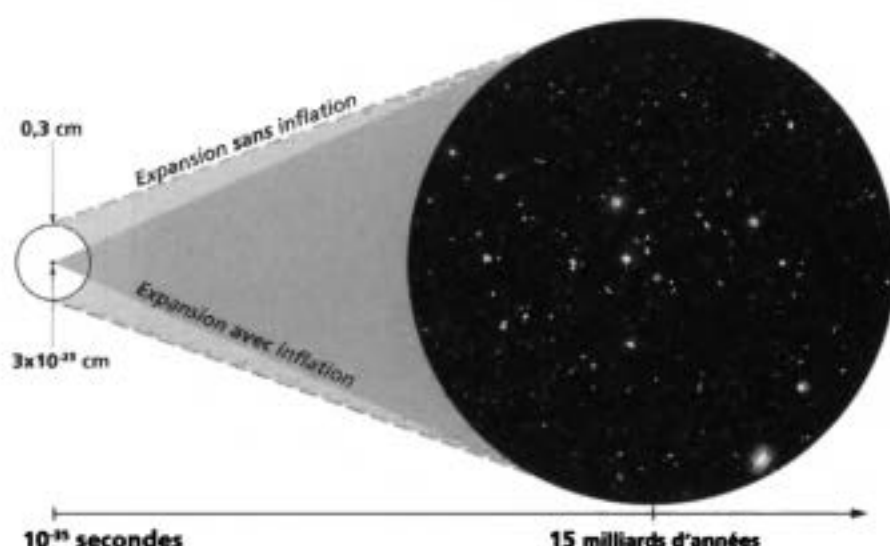


Figure 7.3.

Sans inflation : schéma classique de l'expansion de l'Univers depuis une taille de 3 millimètres de rayon, 10^{-35} seconde après le big bang, à la taille actuelle. Selon la théorie de l'inflation, notre Univers actuel proviendrait d'une bulle de 3×10^{-25} centimètres qui aurait « superexplosée » 10^{-35} secondes après le big bang et non de la bulle de 3 millimètres qui existait à ce moment-là.

On pourrait ainsi dire qu'il y a eu deux bangs !

On a vu qu'Einstein avait introduit une constante cosmologique sans raison physique, rien que pour préserver l'équilibre de l'Univers. Alan Guth va montrer que lorsque l'Univers avait 10^{-35} seconde, un mécanisme quantique très complexe a pu se produire provoquant une inflation d'un facteur 30 du minuscule Univers de l'époque. Il va ainsi donner un mécanisme plausible permettant à l'existence d'une nouvelle forme de constante cosmologique, produisant un effet répulsif et contrecarrant les efforts qu'exerce la gravitation pour rapprocher les corps¹.

Dans ce cas, tout l'Univers visible que nous observons aujourd'hui peut provenir de cette minuscule bulle de 3×10^{-25} centimètres et non de la bulle « gigantesque » de 3 millimètres qui existait 10^{-35} secondes après l'origine, au moment où l'Univers a vraiment fait bang (cf. figure 7.3). Comme le dit John Barrow, « si une telle accélération est possible, l'intégralité de l'Univers visible peut provenir de l'expansion d'une région suffisamment

1. Voir Brian Greene, *L'univers élégant*, op. cit., p. 337-352, et John Barrow, *Les origines de l'univers*, Hachette, 1997, p. 74-83.

petite pour avoir pu être traversée par un signal lumineux depuis le début de l'expansion. Son homogénéité et son isotropie sont alors compréhensibles¹ ».

Pourquoi l'Univers n'est-il pas totalement homogène ?

Ce problème est symétrique du précédent. Si l'Univers a les mêmes propriétés dans toutes les directions (isotropie), et si le fameux rayonnement de fond était homogène, comment expliquer qu'aujourd'hui l'Univers n'est pas du tout homogène ? Les galaxies sont séparées par d'immenses vides intergalactiques. À l'origine de l'Univers, il a donc bien fallu que de très légères inhomogénéités existent dans le rayonnement de fond. Il fallait qu'existent des sortes de grumeaux, comme dans une soupe, embryons des futures galaxies.

Or, ce « fossile du big bang » est, comme nous l'avons vu, très homogène au point qu'il a fallu recourir à un deuxième bang – celui de l'inflation – pour expliquer cette homogénéité.

Mais il fallait que ce rayonnement ne soit pas complètement homogène, afin de pouvoir expliquer la structure actuelle de l'Univers...

Eh bien, c'est justement le cas ! En 1992, le satellite *Cobe* a analysé depuis l'espace la structure de ce rayonnement de fond dans toutes les directions. Le résultat (figure 7.4) montre que la température varie de quelque cent millièmes de degrés entre les zones les plus sombres et les zones les plus claires (les zones claires sont, en quelque sorte, les grumeaux de la soupe primordiale).

C'est peu mais suffisant. Car l'image de la figure 7.4 est tout à fait incroyable. Elle nous présente l'état de l'Univers trois cent mille années après le big bang, c'est-à-dire il y a 13 999 700 000 ans (si l'on suppose que l'Univers est âgé de 14 milliards d'années) ! C'est la plus vieille image possible de l'Univers. La lumière qui a été émise avant cette date a été absorbée car l'Univers était trop dense. Pour obtenir cette image, il a fallu retrancher, des signaux captés par le satellite, les rayonnements émis par toutes les étoiles

1. John Barrow, *Les origines de l'univers*, op. cit., p. 78. L'isotropie est justement la propriété pour un objet d'être identique dans toutes les directions.

de la galaxie, par toutes les autres galaxies et par tous les différents autres objets de l'Univers (quasars, pulsars, etc.).

Lorsque cette image fut divulguée en 1992, elle fit la une de quasiment tous les grands quotidiens de la planète. Certains scientifiques allèrent même jusqu'à dire que c'était la plus importante découverte de tous les temps (ce qui est quelque peu exagéré). Toujours est-il qu'elle fournissait la pièce qui manquait au puzzle du big bang.

Au moment où j'écris ces lignes (octobre 2006), George Smoot et John Mather, qui dirigèrent l'équipe qui établit cette image, viennent d'obtenir le prix Nobel de physique pour ce résultat.

Plus d'une décennie après, le satellite *WMAP* s'est livré à une analyse encore plus approfondie de ce rayonnement fossile qui a confirmé les résultats de *Cobe*, et qui propose, pour l'Univers, un âge d'à peu près 13,7 milliards d'années (soit un peu plus « jeune » que les estimations précédentes).

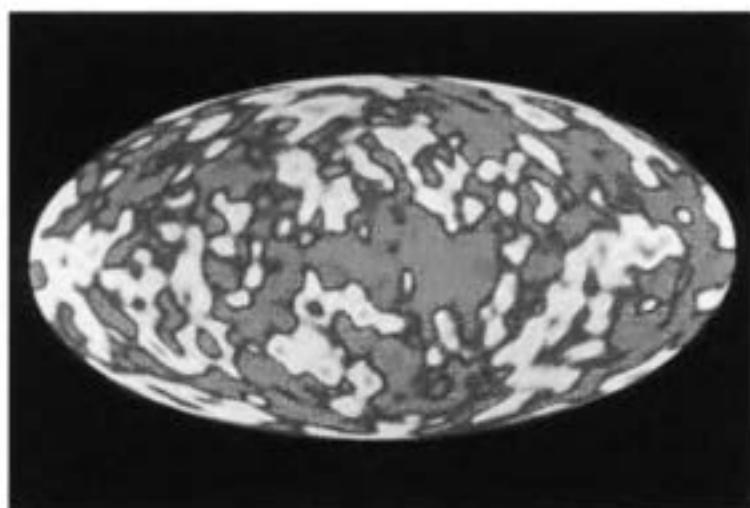


Figure 7.4.

Une des plus étonnantes preuves du big bang : les inhomogénéités dans le rayonnement de fond décrypté par *Cobe*.

Mieux encore, d'autres caractéristiques de ce rayonnement de fond (déjà bien riche en informations) confirment des prédictions faites par la théorie de l'inflation. Ainsi, l'existence d'un deuxième bang n'est plus une pure spéculation. Elle est testable et il est possible qu'un jour on puisse prouver que l'inflation

a eu lieu. Dès aujourd'hui, elle permet d'expliquer plusieurs phénomènes cosmiques importants¹.

Bien des mystères persistent en astrophysique, comme nous le montreront les chapitres suivants. Mais nous pouvons déjà donner une réponse d'une grande importance à la question :

D'où venons-nous ?

Tout notre Univers vient d'un point très petit, très dense et très chaud qui a explosé (voire doublement explosé) il y a près de quatorze milliards d'années. Il ne faut pas concevoir cette explosion comme quelque chose explosant dans un espace vide préexistant. En fait l'espace et le temps se sont développés avec l'explosion elle-même.

Bien entendu, assimiler ce début de notre Univers à une création de notre Univers par Dieu serait aller un peu vite en besogne. Georges Lemaître lui-même a toujours pris soin de distinguer ces deux concepts, celui du début relevant de la science et celui de la création, de la théologie. Il amena le pape Pie XII à corriger son discours après que celui-ci eut effectué, en 1951, un rapprochement entre big bang et création du monde.

Ce n'est pas pour cela que la cosmologie du big bang est dépourvue d'implications métaphysiques. D'abord, elle confirme avec éclat le caractère non ontologique de notre monde puisque celui-ci est immergé dans le temps et l'espace et que nous avons ici une seconde preuve (après celle obtenue en physique quantique) du fait que ce cadre spatio-temporel n'est ni éternel ni autosuffisant. Ensuite, elle paraît recouvrir d'un voile pudique ce qui s'est passé au début de l'Univers.

Lemaître, qui passa toute sa vie à séparer soigneusement science et foi (c'était vital pour que ses travaux soient pris au sérieux) écrivit un dernier paragraphe à la lettre de 1931 publiée dans *Nature* dans laquelle il parlait de sa théorie. Il le raya et ne le publia jamais, mais il fut retrouvé dans ses papiers : « Je pense que quiconque croyant en un être suprême soutenant chaque

1. Voir sur ce point John Barrow, *Les origines de l'univers*, op. cit., p. 93-96.

être et chaque acte, croit aussi que Dieu est essentiellement caché et peut se réjouir de voir comment la physique actuelle fournit un voile cachant la création¹. »

Cependant, nous allons voir au chapitre suivant que Dieu, s'il existe, a peut-être laissé un peu plus d'indices de son action que ne le croyait le génial coconcepteur du big bang².

1. Cité par Jean-Pierre Luminet, *L'invention du big bang*, op. cit., p. 131.

2. Auquel l'histoire des sciences a curieusement bien peu rendu hommage. Voir sur ce point l'ouvrage de Jean-Pierre Luminet, *L'invention du big bang*, op. cit. Parce qu'il était prêtre ?

Dieu revient très fort¹

« Dieu a fait deux choses folles.

Premièrement, il a créé l'Univers dans un big bang. Deuxièmement, il a été assez négligent pour laisser derrière lui les traces de son action². »

Paul Erdos

« Si nous acceptons l'idée qu'il n'existe qu'un seul univers, le nôtre, nous devons postuler l'existence d'une cause première qui a réglé d'emblée les lois de la physique et les conditions initiales³. »

Trinh Xuan Thuan

Pourquoi l'Univers est-il si grand ?

Au début du XX^e siècle, l'humoriste Mark Twain visita Paris et déclara : « Quand on voit la tour Eiffel, il est clair qu'elle a été construite pour la dernière couche de peinture de son dernier boulon ! »

Que voulait-il dire par là ? Que lorsque l'on prend conscience des dimensions incroyables de l'Univers, la place que l'homme y occupe est comparable à celle qu'occupe la dernière couche de peinture du dernier boulon de la tour Eiffel.

1. Titre d'un grand article de *Paris Match* à l'occasion de la sortie de *La mélodie secrète* de Trinh Xuan Thuan.

2. Cité par John Barrow et Franck Tipler, *The anthropic cosmological principle*, Oxford University Press, 1986, p. 401.

3. Trinh Xuan Thuan, *Le chaos et l'harmonie*, op. cit., p. 446.

Devant cette immensité, il serait donc absurde d'imaginer que l'homme (et plus généralement la vie sur terre) puisse avoir une signification quelconque et encore moins représenter l'une des raisons d'être de cet Univers.

Cette conception est en accord avec les connaissances scientifiques du début du XX^e siècle. Elle ne l'est plus avec celles de la science du XXI^e siècle. Tout d'abord, comme nous l'avons vu, seuls les éléments légers (hydrogène, hélium...) se sont formés lors du big bang. La formation d'éléments tels que le carbone ou les métaux – jusqu'au fer –, est possible dans le cœur des étoiles normales, tandis que les éléments plus lourds que le fer sont produits lors d'explosions d'étoiles – les supernovas – au cours desquelles sont atteintes des températures gigantesques.

Ainsi, comme l'a poétiquement dit Hubert Reeves, nous sommes des « poussières d'étoiles ». À part les atomes d'hydrogène existant dans l'eau que contient notre corps, la plupart des atomes qui nous constituent ont été élaborés dans une étoile qui, il y a plus de cinq milliards d'années, se situait dans la région qui deviendra notre système solaire. La condensation des nuages contenant du matériel provenant de l'explosion de cette étoile a créé le système solaire. Le Soleil est probablement une étoile de troisième génération. Les étoiles de première génération ne pouvaient être entourées d'un cortège de planètes telluriques (solides) comme la Terre, Mars ou Vénus. Étant donné le temps qu'il faut à l'évolution pour produire des êtres d'une complexité suffisante pour être conscients, il est théoriquement impossible que des êtres conscients puissent observer un Univers d'un diamètre de quelques milliards d'années-lumière « seulement ». Le temps et l'espace étant liés, à chaque milliard d'années qui passe, le rayon de l'Univers observable grandit d'un milliard d'années-lumière. Donc l'Univers dans lequel vivent des observateurs conscients ne peut qu'être gigantesque puisqu'ils n'ont pas pu apparaître au cours des premiers milliards d'années de l'Univers. Voilà donc un premier mystère résolu : « Pourquoi l'Univers est-il si grand en comparaison de nous ? »

Pourquoi l'Univers est-il si bien réglé ?

Mais il y a bien plus. Le développement des superordinateurs permet désormais de simuler l'évolution de l'Univers. La cosmologie actuelle est déjà assez avancée pour connaître les principales lois d'évolution de l'Univers et pour « repasser le film à l'envers » jusqu'aux premières fractions de seconde de l'Univers.

À ce moment-là, on peut « jouer à Dieu ». On peut modifier les constantes fondamentales de l'Univers (masse du proton, charge de l'électron, constante de gravitation...) ou les forces (force nucléaire forte ou faible...) et voir à quoi conduisent ces univers « virtuels » (ou « univers jouets »). En faisant varier toutes les combinaisons de forces ou de constantes, on peut obtenir un nombre quasi infini d'univers différents.

La grande découverte effectuée au cours des trente dernières années, c'est que quasiment tous les univers résultant de ces simulations sont stériles. Prenons, par exemple, l'évolution de l'Univers. Elle dépend de la densité initiale de l'Univers et de la vitesse initiale d'expansion de celui-ci.

Il existe encore de sérieuses incertitudes quant à la densité exacte de l'Univers (voir chapitre 9). Mais ce que l'on sait, c'est que cette densité a dû, à l'origine, être extraordinairement proche d'une densité appelée « densité critique », pour laquelle l'expansion de l'Univers n'est ni trop rapide ni trop lente. En effet, dans un univers moins dense, l'expansion l'aurait emporté sur la gravitation et aucune structure n'aurait pu se former (ni étoiles, ni planètes, ni galaxies...). Et un univers plus dense se serait effondré sur lui-même trop rapidement pour permettre à la complexité de se développer. Comme le montre la figure 8.1, le réglage de la densité par rapport à la vitesse d'expansion a dû être incroyablement précis à l'origine de l'Univers. En fait, on peut le calculer : il est de 1 divisé par 10^{60} .

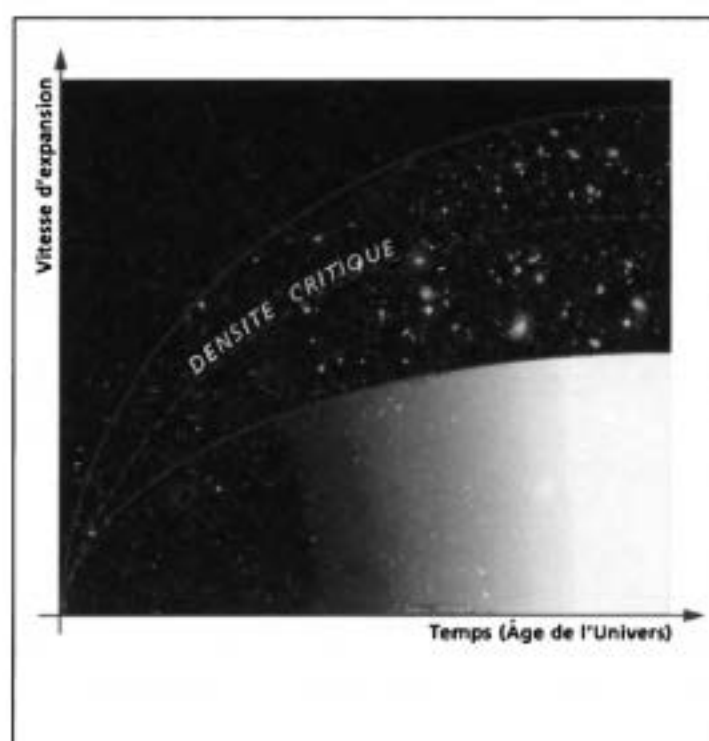


Figure 8.1.

Un réglage très précis de la vitesse d'expansion de l'Univers est nécessaire pour l'apparition des galaxies, des planètes et de la vie.

Ce chiffre est si incroyablement petit qu'il ne vous dira rien mais Trinh Xuan Thuan a calculé qu'il correspondait à la probabilité pour un archer de toucher une cible de 1 centimètre carré située à l'autre bout de l'Univers en tirant, à l'aveugle, une seule et unique flèche depuis la Terre, sans savoir dans quelle direction se trouve la cible.

Les atomes sont constitués de neutrons (qui sont neutres électriquement), de protons (chargés positivement) et d'électrons (chargés négativement). Les charges électriques des protons et des électrons sont exactement les mêmes (mais de signes opposés bien sûr). Cela est d'autant plus étrange que le proton est 1 836 fois plus massif que l'électron (imaginons par exemple que l'intensité du champ magnétique de la Lune soit exactement la même que celle du champ de la Terre, y compris 18 chiffres après la virgule. Personne ne penserait qu'il pourrait s'agir d'un hasard...).

Personne ne sait pourquoi il en est ainsi mais c'est une chance pour nous. Si ces deux charges électriques étaient différentes ne serait-ce que de 11 chiffres après la virgule (10^{-11}), les êtres humains et les objets de taille comparable exploseraient à cause du déséqui-

libre existant entre les charges des particules les composant, car cela amènerait les atomes à ne plus être électriquement neutres.

Comme il y a beaucoup plus d'atomes dans une planète que dans une personne, il faut que les charges soient égales, et cela même 18 chiffres après la virgule (10^{-18} , soit le milliardième du milliardième !) pour éviter qu'apparaisse un déséquilibre entre les charges électriques qui ferait exploser les planètes ou les étoiles. Et, bien entendu, c'est le cas, sinon nous n'existerions pas.

Nous avons vu au chapitre précédent que le fameux rayonnement de fond cosmologique, « fossile » du big bang, était très homogène sans l'être totalement. Là aussi, le réglage est très précis. Si ces inhomogénéités étaient un peu plus grandes, les étoiles n'auraient pas pu se former, les galaxies s'effondrant directement pour se transformer en trous noirs (cf. chapitre 9). Si elles étaient un peu plus petites, les étoiles, les galaxies et les grandes structures de l'Univers n'auraient pas pu se former car l'Univers aurait été trop homogène¹.

La force nucléaire forte est, comme nous l'avons vu, celle qui fait briller les étoiles en permettant la fusion des atomes d'hydrogène en atomes d'hélium (ce qui est le principe de la bombe H).

Si elle était un peu plus faible, les galaxies et les étoiles se formeraient bien mais le feu thermonucléaire ne pourrait pas s'allumer. C'est comme si l'on vivait dans un monde sans allumettes et sans briquet. Un tel Univers serait mort car il ne disposerait pas de source d'énergie. Si on augmente un peu cette force nucléaire forte, alors les réactions de fusion au cœur des étoiles s'emballeront et toutes les étoiles exploseront comme des bombes H. Un tel Univers aurait bien des sources d'énergie mais pas des sources stables. Il semble donc quasi impossible à la complexité de s'y développer. Cette stabilité des étoiles, une fois « allumées », dépend aussi d'une autre coïncidence, *a priori* totalement indépendante du réglage que nous venons de décrire : le fait que la masse du neutron est un peu plus grande que la masse du proton. Cela entraîne la désintégration rapide du neutron en proton alors que le proton, lui, est d'une très grande stabilité (sa durée de vie est d'au moins 10^{32} années et sans doute plus). Si c'était l'inverse, ce serait le proton qui se désintégrerait en neutron. Dans ce cas, les réactions de fusion seraient fondées sur les neutrons. Mais les

1. Voir les calculs dans l'ouvrage de John Barrow et Frank Tipler, *The anthropic cosmological principle*, op. cit., 1986, p. 415-418.

neutrons, lorsqu'ils sont à l'état « libre », ne vivent qu'une quinzaine de minutes. Dans ce cas, les étoiles ne dureraient qu'un siècle¹. Là aussi la vie ne pourrait se développer.

Des caractéristiques très spécifiques sont nécessaires pour que la complexité puisse se développer dans des domaines très différents. Essayez par exemple d'imaginer comment quelque chose contenant des interactions complexes, comme le cerveau, pourrait exister dans un univers à deux dimensions. Les circuits neuronaux se croisant en permanence, ils ne pourraient pas fonctionner. Et dans un univers à quatre dimensions d'espace ou plus, ni les orbites planétaires ni les atomes ne peuvent être stables. Donc l'Univers doit avoir trois dimensions d'espace pour que la vie s'y développe.

On peut multiplier les exemples de cette sorte comme le montre l'ouvrage de référence dans ce domaine de John Barrow et Frank Tipler² ou le meilleur ouvrage en français sur le sujet³. Et c'est cette multiplication qui est importante. L'existence d'un réglage précis pourrait être un heureux hasard. Mais l'existence de toute une série de réglages précis (*a priori*) indépendants les uns des autres, reposant sur les valeurs d'une quinzaine de constantes et d'un certain nombre de conditions initiales, pose de formidables questions (qu'on ne peut ignorer en disant : « Si les choses étaient différentes, nous ne serions pas là pour en parler ») et constitue la base d'une nouvelle approche de l'Univers.

Le principe anthropique : lorsque la science pose ouvertement la question du sens

C'est l'astrophysicien Brandon Carter qui, le premier, s'est rendu compte de cette situation et l'a érigée en principe : le « principe anthropique » (de *anthropos*, l'« homme » en grec).

1. Voir « La place de l'homme dans l'univers », Trinh Xuan Thuan dans *L'homme face à la science*, dirigé par Jean Staune, Critérion, 1992, p. 154.

2. John Barrow et Frank Tipler, *The anthropic cosmological principle*, op. cit., 1986.

3. Jacques Demaret et Dominique Lambert, *Le principe anthropique, l'homme est-il le centre de l'univers ?*, Armand Colin, 1994.

Dès le début, Brandon Carter a donné deux versions de ce principe. Le principe anthropique faible ressemble à une tautologie : « Ce que nous pouvons nous attendre à observer doit être compatible avec les conditions nécessaires à notre présence en tant qu'observateurs¹. » Puisque nous sommes là, il faut bien que l'Univers ait les conditions requises pour permettre notre apparition !

Nous verrons que cette affirmation toute simple n'est pas vraiment une tautologie, car elle exerce de fortes contraintes sur les paramètres des différents modèles que nous pouvons bâtir pour expliquer l'Univers.

Le principe anthropique fort a, quant à lui, une connotation nettement plus finaliste : « L'Univers (et donc les paramètres fondamentaux dont celui-ci dépend) doit être tel qu'il permette la naissance d'observateurs en son sein, à un certain stade de son développement². »

On peut imaginer que, depuis vingt ans, les débats autour d'une telle idée ont été chauds comme le montrent ces citations contradictoires de physiciens et d'astrophysiciens³ : « Le principe anthropique représente le principe le plus fondamental dont nous disposons, vu que les explications physiques qu'il fournit sont basées sur le phénomène physique le plus solide que nous connaissions, à savoir notre propre existence. Le principe anthropique est, je crois, ce que nous aurons jamais de plus proche d'une explication ultime » (Joe Rosen).

« Le principe anthropique ne peut manifestement pas fournir d'explication scientifique au sens propre. Au mieux, il peut offrir une satisfaction de type "bouche-trou" à notre curiosité relative aux phénomènes pour lesquels nous n'avons pas encore obtenu d'explications scientifiques authentiques » (Martin Rees).

« La reconnaissance du principe anthropique devrait être considérée comme un moment décisif dans le développement de la science, ouvrant de nouvelles voies vers des aspects inconnus de l'Univers » (Nicola Dallaporta).

1. Brandon Carter, « Large number coincidences and the anthropic principle in cosmology », in « *Confrontation of cosmological theories with observational data* », *Symposium IAU n° 63*, Malcolm Sim Longair, 1974.

2. *Ibid.*

3. Elles sont toutes issues de Jacques Demaret et Dominique Lambert, *Le principe anthropique, l'homme est-il le centre de l'univers ?*, op. cit., p. VIII-IX.

« Contrairement aux principes de la physique conventionnelle, le principe anthropique n'est sujet à aucune réfutation expérimentale – le signe sûr qu'il ne s'agit pas d'un principe scientifique. L'influence du principe anthropique sur le développement des modèles cosmologiques contemporains a été stérile : il n'a rien expliqué et il a même exercé une influence néfaste » (Heinz Pagels).

« Je crois que le principe anthropique a non seulement constitué un stimulant à la recherche en cosmologie mais qu'il fournit aussi un point de rencontre passionnant entre la théologie et les sciences et qu'il a certainement servi à réintégrer le facteur "être humain" qui, pendant des siècles, a été exclu des sciences physiques » (George Coyne).

« Je déteste profondément la théorie du principe anthropique et la considère comme un dernier recours absolu au cas où tous les arguments physiques échoueraient. L'essence entière de l'argumentation anthropique semble aller à contre-courant de tout ce qu'on aspire à réaliser en tant que scientifique » (Malcolm Sim Longair).

Que peut-on dire du statut des différents principes anthropiques face à des opinions aussi contradictoires ?

La première critique concerne le fait que le principe anthropique serait stérile. Il est vrai qu'il n'a pas conduit à de nombreuses découvertes. Néanmoins, une découverte importante est issue d'un raisonnement de type anthropique.

L'atome de carbone 12 (dont le noyau comprend 6 neutrons et 6 protons) est formé à partir de 3 atomes d'hélium 4 (dont les noyaux contiennent 2 neutrons et 2 protons). Mais il y a une étape intermédiaire : 2 atomes d'hélium forment un atome de béryllium 8 qui, avec un troisième atome d'hélium, va donner du carbone. Le problème, c'est que le noyau de béryllium est très instable. Pour que le carbone puisse apparaître, il faut que cette réaction soit aussi efficace que possible. Cela nécessite qu'elle soit « résonnante », c'est-à-dire que le carbone ait un niveau d'énergie (un état excité) juste supérieur à la somme des niveaux de l'hélium et du béryllium.

Comme cette somme est de 7,36 MeV (millions d'électrons-volt), l'astrophysicien Fred Hoyle a prédit un niveau d'énergie du carbone autour de 7,7 MeV considérant que le carbone est un composant essentiel pour le développement de la complexité. Et le niveau d'énergie du carbone a été mesuré à 7,65 MeV. Mais

l'histoire ne s'arrête pas là. Car le carbone se combine avec un autre atome d'hélium pour donner de l'oxygène. L'oxygène est un des composants de l'eau, le liquide le mieux adapté au développement de la vie (voir chapitre 10) étant donné ses caractéristiques très spéciales.

Donc il faut que l'oxygène puisse se former... sans que tout le carbone disparaisse. Pour cela, il faut que la réaction « carbone + hélium = oxygène » ne soit pas résonnante, c'est-à-dire que le niveau d'énergie de l'oxygène soit légèrement inférieur à celui de la somme de ceux du carbone et de l'hélium. Et c'est bien sûr le cas : le niveau d'énergie du carbone et de l'hélium est de 7,16 millions d'électrons-volt, celui de l'oxygène, de 7,11 millions d'électrons-volt. Ainsi, il y a à la fois du carbone et de l'oxygène disponibles dans l'Univers¹.

Des critiques du principe anthropique affirment qu'il est abusif d'invoquer un raisonnement de type anthropique à propos de ce « succès prédictif considérable » puisqu'il y a du carbone dans bien d'autres choses que dans les hommes².

C'est prendre les défenseurs du principe anthropique pour des niais. Car ces derniers savent très bien que ce qui s'applique à nous, s'applique également à toutes les formes complexes de l'Univers. C'est pourquoi Hubert Reeves préfère parler de « principe de complexité » : « L'Univers possède depuis les temps les plus reculés accessibles à notre exploration, les propriétés requises pour amener la matière à gravir les échelons de la complexité³. » Reeves note avec humour que cette définition place les hommes et les melons à égalité (en tant qu'étapes dans le développement général de l'Univers).

Certains scientifiques vont plus loin. Sans être anthropocentriques, ils ne pensent pas que les melons et les êtres humains soient aussi complexes les uns que les autres. Le stade ultime de la complexité semble être le développement de la conscience (et pas uniquement chez l'homme, il semble qu'il y a une « poussée vers

1. En fait, ces deux « réglages » extraordinaires ne sont pas indépendants l'un de l'autre car les niveaux d'énergie des atomes dépendent d'un certain nombre de constantes fondamentales. Ce sont donc ces constantes qui sont « réglées » de telle façon que leurs combinaisons permettent qu'il existe à la fois du carbone et de l'oxygène dans l'Univers.

2. Christian Magnan, « Les raisonnements anthropiques ont-ils des fondements théoriques ? », dans *Les matérialismes et leurs détracteurs*, sous la dir. de Jean Debussy et Guillaume Lecointre, Éditions Syllepse, 2004, p. 497.

3. Hubert Reeves, *L'heure de s'enivrer*, Seuil, 1986, p. 165.

la conscience » dans la nature, voir les thèses de Rémy Chauvin, p. 248-249).

Ainsi, pour certains scientifiques, on pourrait parler d'un « principe de conscience », comme le dit Trinh Xuan Thuan : « L'existence de l'Univers n'a de sens que s'il contient une conscience capable d'apprécier son organisation, sa beauté et son harmonie. Il est inévitable que la conscience qui a émergé de l'ordre cosmique exalte cet ordre en le comprenant. La capacité de notre cerveau à comprendre les lois naturelles n'est pas un simple accident de parcours, mais un reflet de l'intime connexion cosmique entre l'homme et le monde¹. »

Ici, les êtres humains sont à égalité avec tous les éventuels extraterrestres ayant atteint un niveau de conscience suffisant pour commencer à comprendre l'Univers. Signalons néanmoins qu'il existe quelques défenseurs d'un « principe vraiment anthropique » pour lesquels la Terre est le meilleur endroit pour qu'une vie intelligente puisse se développer et appréhender l'Univers.

Le paléontologue Simon Conway-Morris (voir p. 239-240) ou l'astrophysicien Guillermo Gonzalez² se basent sur la nécessité de l'existence de Jupiter pour « protéger » la Terre des astéroïdes, d'un satellite de grande taille comme la Lune pour stabiliser la rotation de la Terre, pour affirmer qu'il s'agit d'un lieu absolument spécial.

Frank Tipler, coauteur du livre de référence sur le principe anthropique, va encore plus loin. Il se base sur un modèle de l'évolution de l'Univers dans lequel celui-ci s'effondre sur lui-même dans un *big crunch* (un modèle très peu probable aujourd'hui, voir p. 191), pour assimiler le point final de l'Univers au « point oméga » de Teilhard de Chardin. Le « principe anthropique final (ou ultime) » prévoit donc une fin de l'Univers mais, selon Tipler, toute l'information ayant existé au cours de l'histoire se retrouvera regroupée en ce point ultime, ce qui lui permet de développer un modèle pour la résurrection des morts ! On ne sait si cette position des plus étranges (développée

1. Trinh Xuan Thuan, *Le chaos et l'harmonie*, op. cit., p. 430.

2. Guillermo Gonzalez et Jay Richards, *The privileged planet : how our place in the Cosmos is designed for discovery*, Regnery, 2004. Ces auteurs donnent de nombreux autres arguments en faveur du caractère spécial de la Terre : sa taille, l'existence de l'eau liquide, la position du Soleil dans la galaxie, l'effet de serre naturel juste adéquat...

après la publication de l'ouvrage avec John Barrow) représente la forme ultime du concordisme entre science et foi ou, au contraire, une dérive ultrascientiste (pour Tipler, la théologie n'est rien d'autre qu'une branche de la physique¹ !).

Devant cette avalanche de principes, une question toute simple se pose : pourquoi ne pas en rester au principe anthropique faible ? Certes, pour exister, nous avons bénéficié d'heureux hasards, mais pourquoi en conclure quoi que ce soit d'autre que le fait que nous sommes chanceux ?

Les opposants au principe anthropique donnent des exemples du type « un poisson qui naîtrait dans une mare au milieu du désert ne manquerait pas de penser que cette mare a été créée pour lui tant il est miraculeux qu'une telle chose existe au milieu d'une aridité totale ».

Une histoire racontée par Hubert Reeves² montre que ce n'est pas si simple. Un condamné à mort est attaché à un poteau. Face à lui, les quinze soldats du peloton d'exécution. Les quinze soldats mettent en joue, tirent, le condamné ferme les yeux... et l'instant d'après, il est encore vivant, aucune balle ne l'ayant touché ! Dans le cerveau de cet homme qui vient d'échapper à une mort certaine, les idées se bousculent. La première, et la plus simple, c'est que tous les soldats, pour des raisons différentes et indépendantes, ont dû rater leur cible. Le premier avait trop bu, le second avait oublié ses lunettes, le troisième, trop sensible, a visé volontairement à côté, etc. « Mais ce n'est pas très crédible », pensera ensuite le condamné. « C'est en fait le résultat d'un complot visant à me faire échapper à la mort. Il faut donc que je fasse le mort et un plan doit être prévu pour récupérer mon corps et me faire échapper³. » Après réflexion, une autre solution lui apparaîtra peut-être à l'esprit : il n'a pas été possible de soudoyer tous les soldats, mais les balles de l'armurerie ont toutes été remplacées par des balles à blanc. La conclusion qui s'impose reste la même : faire le mort, car un complot existe pour le maintenir en vie.

1. Frank Tipler, *The physics of eternity : modern cosmology, God, and resurrection of the dead to eternal life*, Tulane University Press, 1992. Pour une critique des idées de Tipler, voir Jacques Demaret et Dominique Lambert, *Le principe anthropique...*, op. cit., p. 267-276.

2. Durant le colloque « Science et quête de sens » (Unesco, avril 2002, texte non encore publié). Originellement, cette histoire a été inventée par John Leslie, dans son livre *Universes*, Routledge, 1989.

3. Reeves s'arrête là, le dernier point est un développement personnel.

Les deux dernières solutions sont beaucoup plus probables que la première, qui paraissait pourtant la plus simple.

C'est exactement la même chose avec le principe anthropique. L'idée que nous serions dans la même situation que le poisson dans la mare est infiniment moins probable encore que l'idée que les quinze soldats aient raté la cible par hasard. Il suffit, pour s'en convaincre, de lire l'ouvrage de John Barrow et Frank Tipler que nous avons cité. Face au nombre de coïncidences ayant des causes *a priori* indépendantes, s'en tenir au principe anthropique faible, c'est se contenter de constater l'existence d'extraordinaires coïncidences sans s'interroger sur leur raison d'être.

Une autre possibilité correspond au remplacement des munitions par des balles à blanc : toutes les coïncidences qui semblent indépendantes les unes des autres pourraient avoir une cause commune. C'est le « Graal » que recherchent les scientifiques, la « théorie du tout ». D'un point de départ quelconque, cette théorie expliquerait pourquoi il faut que les constantes universelles aient telle ou telle valeur. Par exemple (pour donner une idée, cela ne correspond à aucune théorie), si en partant de la densité critique et de la vitesse d'expansion de l'Univers on pouvait démontrer que pour de telles valeurs, la masse du proton et celle du neutron, la charge de l'électron, la force nucléaire forte, les dimensions de l'Univers doivent être ce qu'elles sont, on aurait ainsi expliqué des dizaines de phénomènes indépendants les uns des autres par une cause unique.

Mais cela ne suffirait pas pour redonner du crédit à l'idée que tout cela s'est fait par hasard. De la même façon qu'il faudrait se demander qui a échangé les balles dans mon exemple du peloton d'exécution, il faudrait se demander pourquoi le point de départ est ce qu'il est. Nous avons vu que les réglages de la densité critique et de la vitesse d'expansion sont (comme la plupart des réglages nécessaires pour que l'Univers ne soit pas stérile) tellement précis que si tout reposait sur eux, il serait, là aussi, irrationnel de se contenter de faire appel au hasard.

À l'époque où il cherchait une telle théorie du tout, le célèbre Stephen Hawking l'avait bien compris : « Même s'il n'y a qu'une théorie unifiée possible, ce ne sera qu'un ensemble de règles et d'équations. Qu'est-ce qui insuffle le feu dans ces équations et produit un univers qu'elles pourraient décrire ? [...] La théorie unifiée est-elle si contraignante qu'elle assure sa propre exis-

tence ? Ou a-t-elle besoin d'un créateur, et si oui, celui-ci a-t-il d'autres effets sur l'Univers¹ ? »

Mais Stephen Hawking a depuis changé d'avis. Il pense qu'il n'est pas possible qu'une telle théorie unifiée existe à cause des conséquences d'un théorème, le théorème de Gödel² (voir chapitre 15). Il rejoint ainsi l'opinion de scientifiques tels que Basarab Nicolescu ou Trinh Xuan Thuan, qui affirment cela depuis longtemps : « L'Univers nous sera-t-il un jour révélé dans la totalité de sa glorieuse réalité ? [...] Il est utile de mentionner les travaux du mathématicien autrichien Kurt Gödel, qui démontra en 1931 qu'il existera toujours en mathématiques des propositions indémontrables. De même qu'il est impossible de tout démontrer en mathématiques, l'esprit humain ne pourra jamais appréhender la totalité de l'Univers. L'Univers nous sera à jamais inaccessible. La mélodie restera secrète³. »

Si une telle théorie est impossible, nous nous retrouvons dans le cas où tous les soldats ont été soudoyés pour rater leur cible. Si une telle théorie est possible, nous sommes dans le cas où l'on a échangé les balles. Dans tous les cas, il semble bien qu'il faille admettre qu'une « conspiration » a existé pour adapter l'Univers au développement de la complexité.

Est-ce à dire que « ça y est », la démonstration est faite que l'Univers correspondrait au déroulement d'un projet ?

Une infinité d'univers parallèles permettent-ils d'éviter Dieu ?

Non, les choses ne sont pas si simples ! La science permet de bâtir sérieusement les hypothèses les plus incroyables. Au chapitre précédent, nous avons vu comment Alan Guth avait développé l'idée d'inflation. Le cosmologue russe Andreï Linde a, lui, développé un modèle dit d'« inflation éternelle ». Dans ce modèle, le processus d'inflation permet à des « mini-univers » de s'engendrer les uns les autres. Certains ont le même « code génétique »,

1. Stephen Hawking, *Une brève histoire du temps*, Flammarion, 1989, p. 212.

2. www.damtp.cam.ac.uk/strings02/dirac/hawking/

3. Trinh Xuan Thuan, *La mélodie secrète*, *op. cit.*, p. 339.

c'est-à-dire les mêmes caractéristiques que leurs parents, d'autres ont connu des mutations qui les rendent complètement différents. En grossissant, ces mini-univers coupent le cordon ombilical qui les relie à leurs parents. Aucun contact, aucun passage d'un univers à l'autre n'est possible. L'Univers serait l'ensemble infini et éternel de ces mini-univers qui s'engendreraient les uns les autres¹.

Notre Univers, avec ses centaines de milliards de galaxies, ne serait qu'un de ces mini-univers, le seul à avoir par hasard les bonnes constantes (si vous jouez au loto une infinité de fois, vous êtes sûr de gagner !).

La théorie de Linde fournit un cadre conceptuel bien plus cohérent à l'existence d'un nombre énorme, voire infini, d'univers parallèles, complètement déconnectés les uns des autres, que l'hypothèse de la « duplication » de l'Univers à chaque mesure effectuée, que nous avons rencontrée en physique quantique page 87. Bien sûr, il semble qu'une telle théorie ne pourra jamais être testée car il n'y a pas de connexion possible entre les univers une fois que ceux-ci se sont détachés de leurs parents. Mais l'existence de ce modèle offre une échappatoire à tous ceux qui rejettent l'idée selon laquelle l'Univers aurait été réglé pour que la vie et la conscience y apparaissent. S'il y avait sur terre une infinité de pelotons d'exécution en train de tirer, il serait normal que, par hasard, tous les soldats de l'un d'entre eux ratent leur cible.

Voici donc comment la situation se présente :

— Soit il y a une infinité (ou un nombre immense 10^{80} , 10^{100}) d'univers et nous sommes par hasard dans le seul qui a la bonne combinaison, tous les autres étant stériles.

— Soit il n'y a qu'un seul univers mais alors le réglage en est si précis « qu'il faut postuler l'existence d'un Grand Architecte qui a fait ce réglage », comme le dit Trinh Xuan Thuan².

La possibilité selon laquelle il existerait un seul univers dont les réglages seraient dus au hasard est extrêmement peu probable, même si une hypothétique théorie du tout était trouvée un

1. Alan Guth a montré que dans la plupart des cas, un début serait néanmoins nécessaire et qu'il devrait y avoir un « univers d'origine ».

2. Trinh Xuan Thuan, « La place de l'homme dans l'Univers », in *L'Homme face à la science*, op. cit., p. 157.

jour. Elle est beaucoup moins probable que l'hypothèse selon laquelle tous les soldats du peloton ont par hasard raté leur cible.

Ainsi la science ne démontre nullement la nécessité d'un principe créateur, d'un Dieu, d'un Grand Architecte (appelez-le comme vous le voulez !). Mais elle peut amener à considérer la question de son existence sans qu'il soit nécessaire de recourir à quoi que ce soit de théologique ou de métaphysique, mais uniquement à des réflexions fondées sur nos connaissances scientifiques. C'est déjà un résultat d'une extrême importance.

Quand les matérialistes sont sous la menace d'un coup de rasoir

L'argument du « rasoir d'Occam » a été, durant des siècles, prôné par les matérialistes en vue de se défendre contre les spiritualistes.

Dû au philosophe et théologien du XIV^e siècle Guillaume d'Occam (que Umberto Eco a mis en scène dans *Le nom de la rose*), ce principe repose sur le fait qu'il ne faut pas multiplier les hypothèses superflues (il faut donc les « trancher », les séparer de la théorie, d'où l'usage du « rasoir »). Ce principe d'économie est considéré comme l'une des bases de la démarche scientifique. Faire l'hypothèse qu'il existe un Dieu, des anges ou toute autre entité qui n'est pas strictement nécessaire, c'est de la métaphysique et non de la science. Voilà ce que disaient les matérialistes, sûrs de représenter le camp de la rationalité.

Patatras ! La situation s'est complètement retournée ! Il semble bien que, pour éviter l'existence d'un principe créateur, la seule échappatoire que le principe anthropique laisse aux matérialistes soit de postuler une infinité d'univers parallèles, tous inobservables.

Mais alors, ce sont eux qui tombent désormais sous le coup du rasoir d'Occam, eux que l'on peut accuser de faire de la métaphysique et non de la science comme le dit Trinh Xuan Thuan : « Je rejette personnellement l'hypothèse des univers multiples et le hasard qui en découle. Je n'aime pas cette hypothèse car elle va à l'encontre du principe d'économie [...]. Postuler une infinité d'univers parallèles, tous inaccessibles à nos instruments de mesure et donc invérifiables n'est pas conforme à la méthode

scientifique. La science repose sur l'expérience et sur l'observation. Privée de ces fondements, elle a tôt fait de s'enliser dans la métaphysique¹. »

Quel incroyable retournement de situation : désormais, ce sont les matérialistes qui semblent avoir la position qui nécessite d'ajouter le plus d'« ingrédients » métaphysiques !

L'hypothèse d'un créateur n'est plus hors du champ de la science !

Une autre critique adressée au principe anthropique est d'être antiscientifique parce que ce dernier évoque l'hypothèse d'un principe créateur. Pour enfoncer le clou, on essaie parfois de créer une confusion avec le mouvement de l'*Intelligent Design* (cf. p. 264-265) puisque le même mot, *design*, est utilisé des deux côtés. Mais cela est malhonnête car le principe anthropique est une réflexion sur la façon donc les lois de l'Univers et les conditions initiales de celui-ci rendent concevable l'hypothèse d'un créateur (tout particulièrement s'il n'y a qu'un univers) tandis que l'*Intelligent Design* est une tentative de montrer que le créateur doit violer les lois de l'Univers pour qu'apparaissent des êtres vivants (du moins pour la majorité des membres de l'*Intelligent Design*. Il y en a de plus subtils, mais ils sont nettement minoritaires). Ce qui n'est pas du tout pareil, voire contradictoire.

Mais la vraie question est : qu'est-ce qui, en théorie, empêche la science de s'occuper de l'existence ou de la non-existence d'un principe créateur ? Rien, comme le prouve un article récent écrit par deux astrophysiciens chinois vivant aux États-Unis, « *Message in the sky*² ». Les auteurs se posent la question : si l'Univers a un créateur, où a-t-il pu laisser un message qui soit accessible à tous les futurs habitants de l'Univers et dont l'origine ne puisse être attribuée qu'à lui et à personne d'autre ?

La réponse est claire et nette : dans les fluctuations du fameux rayonnement de fond cosmologique.

1. Trinh Xuan Thuan, *Le chaos et l'harmonie*, op. cit., p. 445.

2. Steven Hsu et Antony Zee, « Message in the sky », arxiv.org/abs/physics/0511135, 6 décembre 2005.

L'article démontre qu'un message de quelques milliers de caractères peut être dissimulé dans ces fluctuations et que d'ici vingt ans, on aura effectué des mesures assez précises pour éventuellement le détecter.

Les auteurs prennent la peine de préciser qu'ils ne soutiennent en rien l'*Intelligent Design*. En fait, ils ne soutiennent pas non plus le monothéisme. Ils se placent dans l'hypothèse, souvent utilisée par la science-fiction, selon laquelle notre univers serait un simple travail de thèse d'un étudiant d'un « superunivers », d'une taille aussi grande que peut l'être notre taille par rapport à celle d'un atome.

Bien entendu, ni moi ni les auteurs de cet article ne pensons qu'un tel message sera réellement trouvé dans les fluctuations du rayonnement de fond. Il s'agit d'une « expérience de pensée ». Mais cette expérience est d'une grande importance théorique pour la question que nous traitons ici. Si l'on pouvait déchiffrer un jour un tel message disant : « Bonjour, cet univers a été créé par Tartempion, j'espère que vous l'apprécierez malgré ses quelques défauts, j'essaierai de faire mieux la prochaine fois. Bon courage », un tel message, présent à l'intérieur d'un rayonnement émis lors du big bang et diffusé dans tout l'Univers, ne pourrait provenir que du créateur de cet univers. Aucune super-civilisation extraterrestre de notre Univers ne pourrait placer un message à cet endroit.

Si un tel message était détecté, nos « rationalistes » mettraient-ils autour de lui des panneaux « Analyse interdite », « Regardez ailleurs », « Attention, vous sortez des limites de la science » ?

L'article « *Message in the sky* », peut certes apparaître comme très spéculatif. Néanmoins, il s'agit d'un pur article de physique, écrit sans une once de métaphysique. Cela montre donc que la science peut, sans se dénaturer, traiter la question de l'existence d'un créateur (attention, je parle bien ici de traiter la question, pas d'obtenir une réponse).

Il reste cependant un dernier point à considérer : le principe anthropique faible a pu donner lieu à des prédictions confirmées par l'expérience (les niveaux d'énergie du carbone et de l'oxygène). Est-il envisageable que ce soit aussi le cas du principe anthropique fort ?

Et voici le principe anthropique superfort !

À la surprise de beaucoup de gens, y compris sans doute de certains défenseurs du principe anthropique, la réponse est positive ! Pour cela, enfonçons-nous un peu plus dans des spéculations puisque nous avons déjà commencé à le faire dans la section précédente et introduisons le principe anthropique superfort : « L'Univers n'est pas seulement adapté à l'existence d'observateurs intelligents comme nous mais également à l'existence d'observateurs beaucoup plus avancés et intelligents que nous¹. »

L'idée de base en est simple : si Dieu existe et qu'il a conçu un univers réglé de telle façon que nous puissions y apparaître, il a aussi conçu un univers qui soit adapté à ce que nous pourrions être dans un milliard d'années !

Quand un enfant grandit et quitte son berceau, il est nécessaire que ses parents mettent des serrures aux fenêtres et des caches sur les prises électriques pour empêcher que des catastrophes se produisent. Supposons qu'il soit possible à une civilisation très avancée de déchirer le tissu de l'espace-temps et que l'on voie, comme dans l'un des récits d'Arthur C. Clarke², toutes les étoiles s'éteindre, une à une... Si cela était possible, peut-on penser que Dieu n'aurait pas conçu une « sécurité » à l'image de certains parents, obligés de mettre un grillage aux fenêtres de la chambre de leurs enfants lorsqu'ils sont trop turbulents ?

L'hypothèse selon laquelle la création d'une bulle de « vrai vide » pourrait conduire à une destruction progressive de notre Univers a été prise au sérieux au début des années 1980, au point de susciter des articles dans de grandes revues scientifiques³. En

1. J'ai exprimé cette idée pour la première fois dans « Beyond the horizon », *Science and Spirit*, volume 10, avril 1999, p. 14-16, et dans « Towards the future in cosmology, consciousness, and religion », in *Science and beyond*, sous la direction de S. Menon, B.V. Sreekantan, P. Clayton, National Institute of Advanced Studies, Bangalore, Inde, 2004, p. 218-223.

2. Il s'agit des « neuf milliards de noms de Dieu ».

3. Voir entre autres S. Coleman, F. De Luccia, *Physical Review* n° 21, 1980, p. 3305. P. Hut, M. Rees, *Nature*, n° 302, 1983, p. 508.

1990, des scientifiques parmi lesquels Andreï Linde ont montré que cette bulle ne pourrait pas se former si les masses de certaines particules, le « quark top » et le « boson de Higgs », étaient supérieures à un certain seuil¹.

La masse du quark top a depuis été mesurée, elle est supérieure au seuil. La masse du boson de Higgs n'est pas encore connue mais les estimations actuelles de la masse sont supérieures au seuil. Si cela était confirmé, ce serait, non une preuve, mais un argument en faveur de la validité du principe anthropique fort.

Hormis la possibilité d'une destruction totale de l'Univers, y a-t-il autre chose que Dieu, s'il existe, soit susceptible d'interdire ? Le voyage dans le temps constitue un bon candidat. Nous avons déjà mentionné le paradoxe traité par de nombreux films de science-fiction. Si vous voyagez dans le passé et que, par inadvertance, vous provoquez la mort de votre père avant votre naissance, vous n'avez pas pu naître, donc vous n'avez pas pu voyager dans le passé et tuer votre père.

Les auteurs s'en tirent parfois en faisant appel à la fameuse théorie des univers parallèles (décidément bien utile !) : l'univers dans lequel vous tuez votre père n'est pas le même que celui où vous êtes né !

Mais s'il n'y a qu'un univers, comment préserver sa cohérence ? Or, s'il y a bien un sentiment que la plupart des grands savants partagent, c'est l'idée que l'Univers n'est pas un chaos mais possède une cohérence interne sans laquelle l'activité scientifique serait impossible. C'est la raison pour laquelle il me paraît logique de postuler que Dieu, s'il existe, a pris ses précautions pour préserver la cohérence de l'Univers... donc pour interdire le voyage dans le temps.

Une façon de voyager dans le temps, c'est d'aller plus vite que la vitesse de la lumière. Or, comme nous l'avons vu à quatre reprises, il y a « quelque chose » dans l'Univers qui permet des connexions superlumineuses (ou qui permet de considérer l'Univers comme une entité globale dont certaines parties, dans certaines conditions expérimentales, ne peuvent être séparées) : dans l'expérience EPR sur les particules corrélées, dans la téléportation quantique, dans l'effet tunnel superlumineux et dans

1. John Ellis, Andreï Linde, Marc Sher, *Physics Letters*, 252 B, 1990, p. 203.

les trous de ver (pour ce dernier point, voir p. 185). Et nous avons vu qu'à chaque fois, la nature effectuait une sorte de « censure » rendant impossible l'utilisation de ces mécanismes pour violer la relativité. C'est-à-dire qu'*a priori*, des observateurs situés dans notre monde, si évolués soient-ils, ne pourront jamais s'en servir pour voyager dans le temps, exactement comme ils ne pourront jamais connaître tout à la fois la position et la vitesse d'une particule en même temps.

Le plus intéressant dans ce domaine, c'est de voir comment Kip Thorne, chaque fois qu'il a été sur le point de démontrer que le voyage dans le temps *via* un trou de ver était théoriquement possible, a vu le trou de ver disparaître avant de pouvoir fonctionner. La description qu'il fait de cette quête¹ donne vraiment l'impression qu'il se heurte à un mur infranchissable.

Bien entendu, il n'est pas encore démontré que le voyage dans le temps soit impossible, ce n'est pour l'instant qu'une supposition que Stephen Hawking a appelée « la conjecture de protection chronologique », qui « rend l'histoire sûre pour les historiens ». Si l'on pouvait démontrer de façon rigoureuse que ce voyage est impossible, cela constituerait non une preuve mais un élément significatif en faveur du principe anthropique superfort. Car dans un univers né de processus purement aléatoires, pourquoi une telle aberration serait-elle interdite alors même qu'il existe différentes sortes de connexions superlumineuses ?

Bien sûr, s'il s'avérait que le voyage dans le temps était impossible, et que l'on ne pût créer une bulle de « vrai vide », cela n'impliquerait nullement que Dieu existe ! Mais cela nous obligerait à reconnaître que la cohérence de l'Univers est supérieure à la cohérence minimale nécessaire à notre existence, ce que prédit justement le principe anthropique superfort.

Je pense donc que loin d'être une lubie ou une pure spéculation, le principe anthropique superfort, en posant une question de fond à propos de la cohérence de l'Univers, peut susciter, comme le principe anthropique lui-même, des recherches de pointe sur la nature des lois physiques.

1. Kip Thorne, *Trous noirs et distorsions du temps*, Flammarion, 1997, p. 518-566.

Dieu et la longueur d'absorption du neutron

On dit parfois que les belles théories peuvent être tuées par d'« horribles petits faits ». Dans le cas de ma belle théorie sur la (trop grande) cohérence de l'Univers comme un indice de la validité du principe anthropique fort, la « longueur d'absorption du neutron » pourrait en première analyse ressembler à un tel fait.

Les réactions de fission nucléaire qui permettent aux bombes atomiques d'exploser se déroulent ainsi :

— Un neutron frappe un atome d'uranium 235 le transformant en uranium 236 ;

— L'uranium 236 étant instable, il éclate en créant deux atomes plus petits et en émettant plusieurs neutrons ;

— Les neutrons émis vont être absorbés par d'autres atomes d'uranium 235 qui vont à leur tour se transformer en uranium 236, provoquant une réaction en chaîne.

Énervé par les arguments de type anthropique, l'astrophysicien Jean-Pierre Petit, qui a très souvent des idées loufoques mais également parfois des idées géniales (il fut un pionnier de la propulsion magnétohydrodynamique et la France aurait eu des années d'avance dans ce domaine si on l'avait écouté), a fait remarquer qu'à côté d'un principe de vie, l'Univers contenait aussi un principe de mort, un principe thanatopique (de *thanatos*, la « mort », en grec). En effet, si la « distance de réabsorption du neutron dans l'uranium avait seulement été dix fois plus grande, une réaction nucléaire aurait nécessité un volume de matière fissile mille fois plus grand ; ce qui aurait accru la masse critique d'autant, et eût rendu la réalisation des bombes (et des réacteurs) économiquement inenvisageable¹ ».

Si la longueur d'absorption du neutron avait été plus grande, il n'y aurait pas eu de bombe A, et comme la bombe A sert à l'« allumage » de la bombe H, il n'y aurait pas eu de bombe thermonucléaire non plus.

Donc une grave question se pose : que faisait Dieu le jour où il a réglé la longueur d'absorption du neutron ? A-t-il eu un moment de distraction ?

1. Jean-Pierre Petit, *Les enfants du diable*, Albin Michel, 1995, p. 104.

L'Allemand Otto Hahn, qui découvrit la fission de l'uranium, était tellement terrifié par la possibilité d'une réaction en chaîne qu'il disait à ses collaborateurs : « Dieu ne le permettra pas¹. » Il se trompait...

Néanmoins, la longueur d'absorption du neutron n'est pas un argument contre le principe anthropique fort. Si Dieu existe (rappelons que notre enquête est dénuée d'*a priori* et que cela ne peut qu'être une hypothèse), l'observation du monde autour de nous montre qu'il tient à respecter notre libre arbitre. Nous sommes libres de faire le bien ou le mal, de croire en lui ou de ne pas y croire, et de fabriquer des bombes atomiques ou seulement des centrales nucléaires.

Comme l'énergie nucléaire peut avoir des utilisations positives (et même vitales, une fois le pétrole disparu), il n'y a pas de raison que Dieu, s'il existe, empêche son utilisation.

En revanche, et c'est là un point essentiel de mon argumentation, il n'y a pas d'utilisation positive de la « bulle de vide » ou du voyage dans le temps². Leur utilisation, même avec la meilleure volonté du monde, détruirait soit l'Univers, soit sa cohérence.

Donc, si Dieu existe, il est logique qu'il n'autorise pas ces possibilités mais qu'il autorise l'usage de l'énergie nucléaire.

Mais Jean-Pierre Petit a peut-être mis le doigt (sans le vouloir, probablement, car sa remarque se voulait humoristique) sur quelque chose de très important : « On pourrait dire que la nature, en donnant une telle valeur à la longueur de réabsorption du neutron par l'uranium, avait en quelque sorte programmé l'autodestruction de cette humanité au bout de quelques milliards d'années de pénible évolution. Si la vie était une chose nécessaire, inévitable, incluse dans le programme de l'Univers sur certaines planètes, il se pourrait que la mort le fût aussi³. »

La mort des cellules est programmée (c'est ce que l'on appelle l'apoptose). « Nous autres, civilisations, savons désormais que nous sommes mortelles », disait Valéry. Et si la mort planétaire était, elle aussi, programmée ? Certes, nous sommes libres d'utiliser l'énergie nucléaire pour des buts pacifiques uniquement, comme je viens de le dire. Mais la sagesse populaire ne dit-elle

1. *Ibid.*, p. 80.

2. Sauf s'il y a une infinité d'univers.

3. Jean-Pierre Petit, *Les enfants du diable*, *op. cit.*, p. 105.

pas que « quand il y a une bêtise à faire, il y a toujours quelqu'un pour la faire » ? Nous sommes certainement libres de décider que l'autodestruction de notre espèce aura lieu dans cent ans ou trois mille ans – ce qui fait quand même une grande différence – mais il se pourrait qu'elle fût aussi inévitable à terme que notre propre mort.

Cette idée terrible et fascinante est renforcée par l'existence du « paradoxe de Fermi ».

Mais où sont-ils ?

Enrico Fermi, prix Nobel de physique, réalisa le premier réacteur nucléaire et participa au développement de la bombe atomique. Il était donc particulièrement concerné par les risques de destruction nucléaire. Il a élaboré un paradoxe qui porte son nom et qui s'énonce ainsi : « Si les extraterrestres existaient, ils devraient déjà être ici. » Sous des dehors anodins, l'idée est très profonde. Nous avons vu que la vie ne pouvait se développer que sur des planètes situées autour d'étoiles de deuxième génération. Mais de telles planètes ont pu apparaître dans notre galaxie des milliards d'années avant la nôtre. Donc nous supposons que, ailleurs dans la galaxie, la vie a pu apparaître plusieurs milliards d'années avant qu'elle n'apparaisse sur terre.

Un certain nombre de spécialistes des sciences de la vie estime, comme nous le verrons au chapitre 10, que l'évolution n'est pas un phénomène uniquement contingent, qu'elle est « canalisée » vers des formes supérieures de complexité. Si c'est le cas, des êtres intelligents ont dû exister des milliards d'années avant nous. Or, dans un milliard d'années (si on est pessimiste) voire dans deux cents millions d'années (si on est optimiste) nous – si nous existons encore – serons présents partout dans la galaxie.

Comment est-ce possible ? La première étape est de bâtir une « machine de Von Neumann ». Une telle machine est une machine capable de se répliquer elle-même en plusieurs exemplaires, sans aucune aide extérieure, grâce aux matériaux bruts que l'on peut trouver dans les astéroïdes ou sur les planètes telluriques (carbone, fer, etc.). Aujourd'hui, on ne sait pas bâtir une telle machine mais il paraît probable qu'on y arrive bientôt.

John Barrow et Frank Tipler estiment que dans mille ans, une telle machine coûtera moins cher qu'une voiture aujourd'hui¹. Il suffit donc de lancer à une vitesse de 10 % de la vitesse de la lumière (ce qui n'est pas utopique) quelques machines de Von Neumann vers les étoiles les plus proches pour que, en cent ou deux cents millions d'années, *sans que nous ayons rien d'autre à faire*, toute la galaxie soit colonisée par nos machines (en arrivant près d'une étoile, la machine utilise les matériaux disponibles en orbite pour construire plusieurs autres machines qui vont partir vers les étoiles les plus proches, etc.). Une version plus sophistiquée consisterait à mettre à bord des œufs fécondés congelés ainsi que des programmes d'éducation et de soin, capables d'élever les nouveau-nés après leur naissance.

Voici comment, en quelques centaines de millions d'années, nous pouvons potentiellement coloniser toute la galaxie, même si le rythme du progrès technique était inférieur à ce qu'il a été au cours du XX^e siècle.

Mais alors... il y a des millions d'années au moins que, suivant le même genre de parcours, les extraterrestres *devraient être dans notre système solaire*.

De nombreuses réponses au paradoxe de Fermi sont envisageables :

— La vie est un phénomène beaucoup plus rare que prévu, nous sommes la première planète où il ait eu lieu.

— L'évolution est un phénomène totalement aléatoire. Aucune espèce intelligente n'est apparue sur les autres planètes.

— Aucune autre espèce intelligente n'a eu de goût pour la technologie et l'exploration de l'espace.

— « Ils » sont là, mais pour eux, nous sommes comme des animaux dans un zoo. Partout, aux limites du système solaire, il y a des panneaux « Ne dérangez pas les animaux », « Ne les nourrissez pas », « Laissez-les vivre ».

La dernière solution est la plus terrible et paraît la plus crédible² :

1. Voir John Barrow et Frank Tipler, *The anthropic cosmological principle*, op. cit., p. 578-586, pour tous les détails relatifs à cette fascinante possibilité.

2. Je n'ai ici pas la place d'analyser la crédibilité des diverses solutions du paradoxe de Fermi. On considère généralement que la première (la vie n'existe que sur terre) et la dernière (la complexité n'est pas viable) sont les plus crédibles.

— La complexité n'est pas viable, toutes les civilisations technologiquement évoluées s'autodétruisent bien avant d'avoir pu partir à la conquête de la galaxie.

Peut-être est-ce là une incroyable conséquence de la longueur d'absorption du neutron. Dans ce cas, le principe thanatothrope serait un garde-fou destiné à empêcher une espèce de conquérir, et donc de perturber, toute une galaxie.

Revenons à l'essentiel après cette série de spéculations qui nous ont amené à nous poser quelques « questions ultimes » sur la cohérence de l'Univers et le destin des civilisations avancées. Nous avons vu qu'il y a toute une série de principes anthropiques :

| Type de principe | Formulation simplifiée | Exemple de défenseur du principe |
|-----------------------------|---|----------------------------------|
| Principe anthropique faible | Du fait que nous existons, nous pouvons déduire certaines des caractéristiques de l'Univers. | BRANDON CARTER |
| Principe de complexité | Les lois de l'Univers « conspirent » pour que la matière se complexifie de plus en plus. | HUBERT REEVES |
| Principe de contingence | Il existe une infinité d'univers parallèles, nous sommes par hasard dans le seul qui ait les « bonnes » constantes. | MARTIN REES |
| Principe anthropique fort | L'Univers attendait sans doute notre venue. | FREEMAN DYSON |
| Principe de conscience | L'émergence d'êtres conscients, quels qu'ils soient, est inscrite dans les lois de l'Univers. | TRINH XUAN THUAN |

| | | |
|--------------------------------|---|---------------------------|
| Principe anthropique superfort | L'Univers n'est pas seulement préadapté à l'existence d'êtres intelligents comme nous mais également à l'existence de civilisations plus évoluées que nous. | JEAN STAUNE |
| Principe anthropique ultime | Une fois que la vie intelligente est apparue, les lois physiques lui permettent de subsister à jamais. | FRANK TIPLER |
| Principe thanatopropique | La complexité n'est pas viable, l'autodestruction des civilisations avancées est programmée. | JEAN-PIERRE PETIT |
| Principe vraiment anthropique | La Terre est le meilleur endroit pour l'émergence d'une conscience capable d'appréhender l'Univers. | GUILLERMO GONZALEZ |

Quels que soient les arguments que j'ai développés, nous ne disposons pas d'un test nous obligeant à en choisir un ; vous pouvez donc choisir celui qui vous convient.

Néanmoins, tous ces développements autour du principe anthropique ont une grande importance :

— Ils ont réintroduit *la question* (et *non la réponse* qui, comme nous venons de le voir, reste personnelle) d'un Créateur au cœur même de la démarche scientifique. En brisant ce tabou, ils ont fait voler en éclats le « postulat d'objectivité de la nature » cher à Jacques Monod, c'est-à-dire le « refus *systématique* (souligné par Monod) de considérer comme pouvant conduire à une connaissance "vraie" toute interprétation des phénomènes donnée en terme de causes finales, c'est-à-dire de projet¹ ». C'est là un bouleversement épistémologique énorme dans l'histoire des sciences sur lequel nous reviendrons au chapitre 16.

— Ils peuvent parfois amener à élaborer des hypothèses testables à propos de la nature de l'Univers, ce qui les amène à se

1. Jacques Monod, *Le hasard et la nécessité*, op. cit., 1970, p. 37.

situer à l'intérieur de la science et non pas seulement de la philosophie des sciences.

— Ils inversent les rapports entre matérialistes et spiritualistes. À cause d'eux, ce sont les matérialistes qui sont menacés par le tranchant du « rasoir d'Occam ». En effet, si l'hypothèse selon laquelle tout provient du hasard et celle selon laquelle il y a un principe créateur sont désormais sur un pied d'égalité sur le plan scientifique, la seconde peut être préférée sur le plan philosophique, en fonction du principe d'économie.

Que de chemin parcouru depuis Mark Twain et sa remarque sur la dernière couche de peinture du dernier boulon de la tour Eiffel ! Ces propos de Freeman Dyson illustrent cette importante – et inattendue – inversion de tendance : « Jacques Monod a un profond mépris pour les gens comme moi ; il nous appelle "animistes", c'est-à-dire ceux qui croient aux esprits. L'animisme, dit-il, établissait entre la Nature et l'Homme une profonde alliance hors laquelle ne semble s'étendre qu'une effrayante solitude. Faut-il rompre ce lien parce que le "postulat d'objectivité" l'impose ? Monod répond oui : "L'ancienne alliance est rompue ; l'homme sait enfin qu'il est seul dans l'immensité indifférente de l'Univers d'où il a émergé par hasard." Je réponds non. Je crois en cette alliance. Il est vrai que notre venue dans l'Univers est due au hasard, mais l'idée de hasard elle-même ne fait que masquer notre ignorance. Je ne me sens pas étranger dans l'Univers. Plus je l'examine et étudie en détail son architecture, plus je découvre de preuves qu'il attendait sans doute notre venue¹. »

1. Freeman Dyson, *Les dérangeurs d'univers*, Payot, 1986, p. 292-293.

Où il fait plus noir que vous ne pouvez l'imaginer

« Il y a beaucoup plus de choses sur terre et dans le ciel, ô Horatio, que ne peut en comprendre toute ta philosophie. »

Shakespeare, *Hamlet*

Pour terminer notre parcours dans l'Univers, nous allons passer en revue toute une série d'êtres étranges du grand « bestiaire céleste ». L'existence de certains, tels que les trous noirs et les mirages gravitationnels, a été corroborée alors qu'ils étaient au début des objets théoriques issus des conséquences de la relativité générale. D'autres, comme la matière et l'énergie noire, ont été rendus nécessaires par l'observation sans que l'on ait la moindre idée de leur nature profonde. D'autres, encore, comme les supercordes, sont issus des tentatives de développer une théorie unifiant physique quantique et relativité. D'autres, enfin, comme les « trous de ver », ne sont pour l'instant que des spéculations théoriques.

Les trous noirs

Nous avons vu (figure 7.1. B) que toute masse courbe l'espace autour d'elle. Plus un corps est massif, plus cette courbure sera forte. Pour échapper à l'attraction d'un corps céleste, il faut atteindre une certaine vitesse permettant de « sortir du puits » qu'a creusé un tel corps dans l'espace. Cette vitesse est de 11 km/s pour la Terre et de 617 km/s pour le Soleil, celui-ci étant telle-

ment plus massif. Mais qu'arriverait-il si un corps était si massif, et comprimé dans un rayon si petit qu'on ne puisse sortir du « puits » qu'il creuse dans l'espace-temps que grâce à une vitesse supérieure à celle de la lumière ?

Le premier à le théoriser fut l'astronome allemand Karl Schwarzschild. Il eut un grand mérite à le faire. Car quand il prit connaissance des travaux d'Einstein publiés le 25 novembre 1915, il était soldat sur le front russe où il mourut en juin 1916. En moins de six mois, il envoya plusieurs articles à Einstein que celui-ci présenta à l'Académie des sciences de Prusse. Ils contenaient le concept de ce que l'on appellera d'abord une « singularité de Schwarzschild », avant que John Wheeler, près d'un demi-siècle après, trouve le nom plus séduisant de « trou noir ».

Un objet qui serait suffisamment massif pour creuser dans l'espace un puits si profond que la vitesse nécessaire pour s'en échapper serait supérieure à celle de la lumière, serait invisible de l'extérieur. Même s'il rayonnait comme mille soleils, aucun rayonnement ne pourrait s'en échapper. De plus, cet objet fonctionnerait comme un véritable aspirateur cosmique. Tout objet passant à proximité serait aspiré.

On peut comprendre que les astronomes et physiciens, au premier rang desquels Einstein et Arthur Eddington, résistèrent longtemps à une idée qui leur paraissait folle. En 1935, Eddington dit sans démonstration : « Je pense qu'il doit y avoir une loi de la nature qui empêche une étoile de se conduire d'une façon aussi absurde. » En 1939, Einstein publia un article pour montrer pourquoi les « singularités de Schwarzschild ne pouvaient exister¹ ».

Et pourtant ! Les progrès de nos connaissances de l'évolution des étoiles amenèrent inexorablement les scientifiques à accepter les trous noirs. Une étoile comme le Soleil brûle de l'hydrogène qu'elle transforme en hélium par fusion nucléaire. Que se passe-t-il quand son carburant est épuisé ? Elle enfle, brille de tous ses feux pendant une courte période, émet un nuage de gaz puis se recroqueville sur elle-même. La pression devient telle que les atomes sont déstructurés. Une force de « dégénérescence électronique » apparaît alors qui permet à l'étoile de résister à la gravitation et de stopper sa contraction sur elle-même. Elle devient

1. Voir sur ces deux points Kip Thorne, *Trous noirs et distorsions du temps*, op. cit., p. 123 et 165.

une « naine blanche » très chaude et très dense, un cadavre d'étoile qui mettra des milliards d'années à refroidir.

Mais une étoile dont la masse du cœur est, à la fin de sa vie, au moins 1,4 fois supérieure à celle du Soleil, connaîtra une fin bien plus explosive. À cause de sa masse, la gravitation est si intense que son effondrement est extrêmement violent. Le cœur de l'étoile devient un agrégat de neutrons tandis que le reste de la matière est éjecté après que cette dernière a rebondi sur ce cœur de neutrons ultradense. L'explosion dégage pendant quelques jours une luminosité équivalente à cent millions de Soleils. C'est une supernova, dans laquelle, comme nous l'avons déjà vu, les conditions extrêmes de température et de pression vont permettre la création d'éléments plus lourds que le fer. Le cœur forme une « étoile à neutrons » qui « pulse » d'une façon particulière (on appelle cela un « pulsar »), ce qui permet sa détection radio.

Si la masse du cœur de l'étoile est, à la fin de son existence, supérieure à cinq fois la masse du Soleil, elle finira aussi en supernova. Mais cette fois, l'effondrement sera si intense que toute la masse se concentrera dans un rayon si petit – appelé « rayon de Schwarzschild » – qu'un trou noir se formera. Mais comment en être sûr ?

Une naine blanche peut être vue au télescope, un pulsar peut être entendu au radiotélescope. Rien de cela n'est possible avec un trou noir. Pourtant, le physicien russe Yakov Zeldovich (l'un des concepteurs de la bombe atomique russe) en trouva le moyen dans les années 1960.

Beaucoup d'étoiles vivent en couple. Ce sont des étoiles doubles. Si l'une explose et devient un trou noir, l'autre va continuer à tourner autour de lui et son gaz sera aspiré par le trou noir. Avant de basculer dans le trou noir, les gaz entrent en collision, ce qui les chauffe considérablement, au point que leur température atteint des millions de degrés. À de telles températures, les gaz émettent des rayons X de façon très intense.

Ainsi, si l'on détecte une étoile qui tourne autour d'un compagnon invisible au voisinage duquel sont émis de fortes bouffées de rayons X, il est plus que probable que l'on ait affaire à un trou noir.

Cygnus X-1 (une source X très brillante dans la constellation du Cygne) a été le premier candidat à postuler à l'appellation de trou noir. Aujourd'hui, après plus de trente ans d'étude, un

consensus s'est établi parmi les astrophysiciens pour voir en lui un trou noir. On a également démontré qu'un trou noir existait au cœur de notre galaxie en observant l'orbite d'une étoile située à vingt années-lumière du centre de celle-ci. Il serait de 2,6 à 3 millions de fois plus lourd que le Soleil. On possède de nombreux autres bons candidats. Les plus gros, tapis au cœur de galaxies appelées « quasars », auraient une masse équivalente à un milliard de soleils !

Les trous noirs provoquent de telles déformations de l'espace et du temps que si un astronaute nous envoyait un film montrant son approche d'un trou noir, les images vues depuis la Terre se ralentiraient de plus en plus au point que lorsque l'astronaute franchirait le point de non-retour (l'horizon du trou noir), l'image nous le montrerait immobile à cet endroit pour l'éternité (on ne le verrait jamais disparaître dans le trou noir) alors que lui n'aurait rien détecté de particulier à cet endroit.

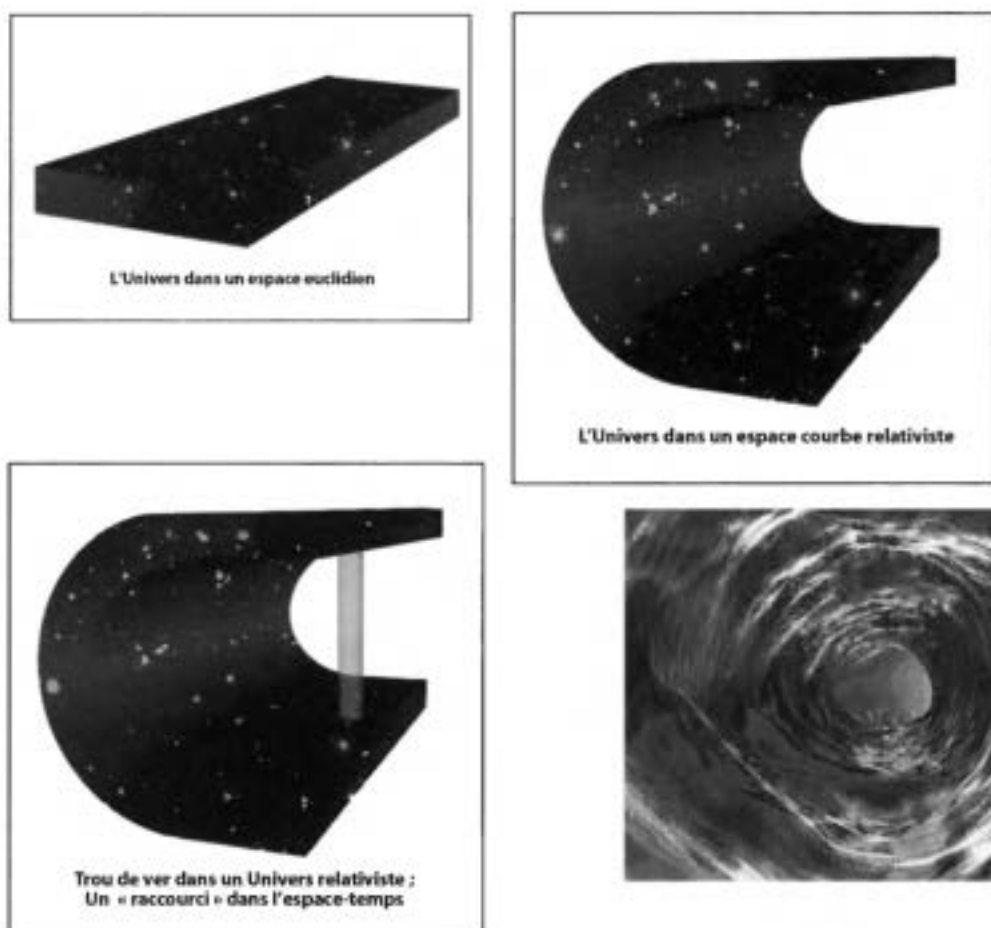
Les trous noirs sont l'une des conséquences les plus extraordinaires de la relativité générale et posent des questions fascinantes (par exemple la matière qui entre dans un trou noir ressort-elle dans un « trou blanc », dans un autre univers ?). Je vous recommande l'excellent ouvrage de Jean-Pierre Luminet¹ et celui de Kip Thorne² pour en savoir plus sur ces objets.

Un raccourci à travers l'espace-temps ?

Les trous de ver sont eux aussi des objets rendus possibles par la relativité générale, mais plus spéculatifs – nous n'avons pour l'instant aucune preuve de leur existence. L'espace n'est pas forcément, aux grandes distances, un espace « plat » à trois dimensions (dit « espace euclidien ») comme celui de la figure 9.1 A. L'espace à l'intérieur duquel nous vivons peut donc être courbe comme le montre la figure 9.1. B. On peut ainsi imaginer des « raccourcis » permettant de connecter deux régions de l'espace de façon bien plus rapide que s'il fallait parcourir la distance « normale » (figure 9.1. C).

1. Jean-Pierre Luminet, *Les trous noirs*, Seuil, coll. « Points », 1992.

2. Kip Thorne, *Trous noirs et distorsions du temps*, *op. cit.*



Figures 9.1 A, B, C et D.

Un « trou de ver » permettrait de « sauter »
d'un endroit de l'Univers à un autre.

Nous n'avons pas de preuve de leur existence mais les trous de ver fascinent les amateurs de science-fiction (cf. le film *Contact*) et les théoriciens, car il s'agit des meilleurs candidats potentiels pour permettre le voyage dans le temps (la figure 9.1 D montre la vue hypothétique qu'aurait un tel voyageur à l'intérieur d'un trou de ver).

Kip Thorne décrit comment les trous de ver pourraient être utilisés dans un tel but¹. Mais ses travaux (extrêmement scientifiques, il s'agit de physique de très haut niveau, pas de science-fiction) montrent que si l'on veut réellement utiliser un trou de ver pour voyager dans le temps, celui-ci explose à l'instant même où il pourrait commencer à fonctionner comme machine à voyager

1. Voir Kip Thorne, *Trous noirs et distorsions du temps*, op. cit., p. 518 -559.

dans le temps. On retrouve là la fameuse « conjecture de protection chronologique » chère à Stephen Hawking qui dit que les lois de la physique interdisent le voyage dans le temps : « Chaque fois que quelqu'un essaie de faire une machine à remonter le temps, et quel que soit le dispositif utilisé à cet effet, juste avant que le dispositif ne devienne une machine temporelle, un faisceau de fluctuation du vide le traverse et le détruit¹. »

Bien entendu, il s'agit d'une conjecture, pas d'une preuve. Nous n'avons qu'un faisceau de présomptions concernant sa validité. Mais nous avons vu pages 170-172 que si une telle démonstration pouvait être faite dans l'avenir, cela viendrait renforcer le principe anthropique superfort selon lequel la cohérence de l'Univers serait plus forte que celle nécessaire à l'existence d'une civilisation comme la nôtre.

Des mirages dans l'espace

Les « mirages gravitationnels » sont également une conséquence de la relativité générale. Nous avons vu (cf. figure 7.2 A et 7.2 B) qu'en courbant l'espace, une masse déformait la trajectoire des rayons lumineux et modifiait la position de certaines étoiles vues depuis la Terre. Si deux galaxies sont, avec la Terre, sur une même ligne droite, alors les rayons lumineux provenant de la galaxie la plus lointaine vont passer à droite, à gauche, en haut et en bas de la galaxie proche, et nous verrons depuis la Terre des mirages que l'on appelle « gravitationnels » puisqu'ils sont dus à la gravitation.

Sur la figure 9.2, il n'y a que deux galaxies et non cinq ! Une au centre et quatre images fantômes de la même galaxie qui est située derrière la première. Comment savons-nous qu'il s'agit de quatre images de la même galaxie ? Parce que le spectre de ces quatre images est identique et que son « décalage vers le rouge » (conséquence, comme nous l'avons vu, de l'effet Doppler) montre que l'objet qui est à l'origine de ces images est beaucoup plus éloigné de nous que la galaxie située au centre de l'image, et se trouve par conséquent

1. *Ibid.*, p. 559.

derrière elle. Cette structure est appelée la « croix d'Einstein » car il s'agit d'une preuve saisissante de la relativité générale.

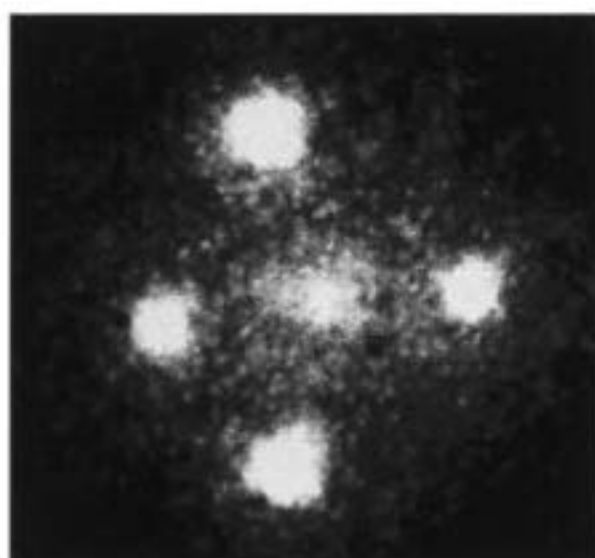


Figure 9.2.

La croix d'Einstein.

Il n'y a que deux galaxies et non cinq sur cette photo !

Vous vous demandez peut-être pourquoi il y a quatre images et non un cercle ? C'est parce que l'alignement de la Terre avec les deux galaxies n'est pas parfait. Dans certains cas, des arcs de cercle sont possibles, le cas d'un cercle absolument parfait étant improbable.

Plus un corps est massif, plus il courbe l'espace. En analysant la structure des mirages gravitationnels, il est donc possible de déduire la masse de l'objet qui est la cause de ce mirage. Cela va avoir une importance cruciale pour le point suivant, celui de la masse de l'Univers.

Quand l'invisible devient plus important que le visible

Fritz Zwicky, professeur d'astronomie à Caltech dans les années 1930, était un esprit original, ayant de nombreuses idées bizarres et peu aimé de ses collègues (il le leur rendait bien en les traitant d'« idiots sphériques », car de même qu'une sphère offre le même aspect dans toutes les directions, « ils étaient idiots quel

que soit l'angle sous lequel on les regardait ! »). Il fut néanmoins à la source d'au moins deux découvertes essentielles : les étoiles à neutrons, dont il prédit l'existence des décennies avant qu'elles soient observées, et la matière noire.

En mesurant la vitesse de déplacement d'un ensemble de galaxies (l'amas de Coma), il s'aperçut que la masse visible de ces galaxies était beaucoup trop faible pour qu'elles restent ensemble étant donné leur grande vitesse. Il en déduisit donc qu'une quantité de matière environ dix fois supérieure à la matière visible devait exister au sein de cet amas pour créer une attraction gravitationnelle suffisante de nature à assurer sa cohérence, mais qu'elle était invisible.

Depuis ce travail de pionnier, de nombreuses études ont montré que non seulement c'était le cas pour les amas de galaxies mais également pour les galaxies. Celles-ci sont en rotation sur elles-mêmes. Si on tient compte de leur masse visible (ensemble des étoiles et des nuages de gaz), les étoiles situées à leur périphérie auraient dû être éjectées depuis longtemps, exactement comme les gouttes d'eau sont éjectées d'une roue en mouvement. Or, elles sont toujours là. Et cela concerne quasiment toutes les galaxies !

La preuve définitive en a été apportée par les mirages gravitationnels. Les déformations de l'espace qui sont observées correspondent à des corps de cinq à dix fois plus massifs que leurs parties « visibles ». On est donc certain de l'existence d'une matière invisible (d'où son appellation de « noire ») qui est bien plus abondante que la matière visible.

Mais de quoi est-elle constituée ?

Ici, nous sommes dans la position inverse des cas précédents pour lesquels il s'agissait d'observer des objets prévus par la théorie. L'existence de cette matière invisible provient de l'observation, elle n'était nullement attendue et des théories sont bâties *a posteriori* pour essayer de l'expliquer.

Il existe deux grands types d'hypothèses :

— Soit cette matière manquante est composée de matière ordinaire. On a d'abord pensé à des nuages de gaz (mais ils émettraient des rayonnements détectables), des étoiles ratées, trop petites pour s'être allumées, les « naines brunes » (mais s'il y en avait assez pour combler la masse manquante, on les détecterait, or des expériences ont montré que ce n'était pas le cas), des trous noirs qui se baladeraient un peu partout (mais comment se

seraient-ils formés ?). Faute d'explication crédible, on a dû envisager que cette matière n'était pas « ordinaire ».

— Soit il s'agit d'une matière noire « exotique ». Il en existe deux types différents. La matière noire « chaude », composée de particules légères et rapides, ou la matière noire « froide », composée de particules lourdes et lentes. Elles ont en commun d'interagir très peu avec la matière ordinaire, donc d'être très difficiles à détecter.

Les recherches concernant la matière noire chaude se sont concentrées sur le neutrino, dont l'existence a été prédite par le prix Nobel de physique Wolfgang Pauli dès 1930. Cette particule est émise en grande quantité lors des réactions nucléaires. C'est donc le cas lors du fonctionnement normal d'une étoile, de son explosion en supernova, ou lors du fonctionnement d'une centrale nucléaire. L'Univers contient un nombre gigantesque de neutrinos, nombre bien plus important que celui des protons ou des neutrons (matière dite « baryonique », qui compose les noyaux de tous les atomes). Chaque seconde, des milliards de milliards de neutrinos traversent notre corps... et pourtant, nous ne sentons rien. Car le neutrino n'interagit quasiment pas avec la matière, il « traverse » les atomes en n'interagissant pas avec les noyaux ou les électrons qui tournent autour d'eux. On a calculé qu'un neutrino pouvait traverser une couche de matière de 1 000 années-lumière d'épaisseur ! Ainsi, la plupart des neutrinos traversent la Terre sans problème. Pour pouvoir en détecter un avec un détecteur (forcément) constitué d'atomes, il faut en « laisser passer » des milliards de milliards pour que, statistiquement, un petit nombre interagisse avec le détecteur. En se mettant près d'une centrale nucléaire, on augmente ses chances. C'est ce que firent Frederick Reines et Clyde Cowan dès 1956 et cela leur valut le prix Nobel. Des dizaines d'expériences de plus en plus sophistiquées ont été faites depuis pour mieux connaître les neutrinos. Si ceux-ci avaient une masse, même très faible, cela pourrait faire d'eux des composants de la masse manquante. Après des années de « traque », et avec l'aide de la supernova observée en 1987 dans le grand nuage de Magellan, on a pu montrer que les neutrinos avaient bien une masse. On ne la connaît pas encore mais on connaît les valeurs minimum et maximum de cette masse. Déception, elle ne peut expliquer – selon le chiffre définitif qui sera bientôt déterminé – qu'entre 0,1 % et 18 % de la masse manquante¹.

1. Pour toutes ces questions relatives à la matière noire, voir Alain Bouquet et Emmanuel Monnier, *Matière noire*, Dunod, 2003.

Pour ce qui est de la matière noire froide, contrairement aux neutrinos, il s'agit de particules n'ayant jamais été observées. De telles particules auraient comme caractéristiques d'être très lourdes (beaucoup plus massives qu'un proton), très lentes (c'est pourquoi on les appelle « froides », car la chaleur est liée à l'agitation) et d'interagir avec la matière encore moins que les neutrinos.

Des détecteurs gigantesques ont été construits dans des mines ou dans des tunnels passant sous des montagnes (comme celui du Fréjus, entre la France et l'Italie) pour que des kilomètres de roche protègent les détecteurs des autres particules (sauf des neutrinos, bien sûr, qui eux aussi sont détectés dans ce genre d'endroit) pour éviter au maximum les interférences.

Une équipe italienne affirme avoir des résultats à propos d'un certain type de ces particules hypothétiques, l'« axion » (un autre type de particule hypothétique est appelé « neutralino »). Mais rien n'est sûr car, selon le prix Nobel de physique Frank Wilczek¹, ces données préliminaires ne collent pas avec le modèle standard de l'axion. Elles conduisent à un refroidissement trop rapide des étoiles, donc à une contradiction avec des observations élémentaires.

Bref, la nature de la matière noire est clairement l'un des grands chantiers de l'astrophysique du XXI^e siècle.

Mais il y a encore plus fort...

L'énergie noire : une mystérieuse force répulsive ?

Là aussi, tout part d'une observation inattendue. Le grand problème pour estimer les distances existant dans l'Univers, c'est qu'une petite étoile très proche et une grosse étoile lointaine ont la même luminosité, vues depuis la Terre. Si, dans la nuit, on sait que l'on a devant soi une rangée d'ampoules de 100 watts, il est facile de calculer la distance entre les ampoules puisqu'elles ont toutes la même luminosité. Pour les galaxies proches, nous avons vu au chapitre 7 que l'on dispose d'étoiles céphéides, au com-

1. Voir *Sciences et Avenir*, octobre 2006, p. 58-63.

portement périodique, qui peuvent servir de repères. Mais cela ne fonctionne que pour des galaxies situées jusqu'à 60 millions d'années-lumière. Pour des galaxies situées à des milliards d'années-lumière, il faut des repères incroyablement plus lumineux et dont la luminosité réelle soit identique de l'une à l'autre, de façon à pouvoir déduire la distance de ces objets grâce à leur luminosité apparente, comme on le fait pour les étoiles céphéides.

Heureusement pour les astronomes, de tels objets existent. Ce sont les supernovas de type Ia, qui, lors de leur explosion, dégagent une luminosité réelle identique.

Dans les années 1990, deux équipes du Lawrence Berkeley National Laboratory et de l'Australian National University ont commencé à détecter des supernovas de type Ia situées à différentes distances de notre galaxie et à mesurer la vitesse avec laquelle elles s'éloignaient de nous (le fameux « décalage vers le rouge » de leurs spectres lumineux, l'une des preuves de l'expansion de l'Univers, cf. p. 139). Leur but était de mesurer la décélération de l'Univers.

Dans toute explosion, la force initiale de celle-ci projette des objets dans toutes les directions, mais ensuite, sous l'effet de la gravitation qui pousse les corps à se rapprocher, une décélération doit se produire.

Pourtant, les résultats montrèrent le contraire. Pendant les sept premiers milliards d'années d'existence de l'Univers, l'expansion a progressivement ralenti. Mais à partir de là, tout s'est inversé. Le rythme d'expansion de l'espace huit milliards d'années après le big bang était *supérieur* à celui existant sept milliards d'années après le big bang et *inférieur* à celui existant neuf milliards d'années après le big bang, qui est lui-même *inférieur* à celui qui existe aujourd'hui. Comme le dit Brian Greene, « la décélération tant attendue de l'expansion spatiale s'est révélée être une accélération¹ ».

Ces résultats sont récents et ne sont pas encore d'une solidité à toute épreuve. Mais ils sont *a priori* confirmés par les résultats du satellite WMAP qui, comme nous l'avons vu au chapitre 7, a pris la succession de *Cobe* dans l'étude du rayonnement de fond cosmologique. Cela est d'une importance cruciale pour la réponse à la question « Où allons-nous ? ». *A priori*, il n'y

1. Brian Greene, *La magie du cosmos*, op. cit., voir p. 356-363 pour les questions relatives à l'énergie noire.

aura pas de « Big Crunch », l'Univers ne se recontractera pas sur lui-même sous l'effet de la gravitation, mais se diluera bel et bien dans le néant à cause de cette accélération de l'expansion.

Comment cela est-il possible ? Les astrophysiciens en ont déduit qu'une mystérieuse énergie répulsive (l'énergie noire) existait partout dans l'Univers.

Pendant les sept premiers milliards d'années d'existence de l'Univers, la gravitation était plus forte que cette mystérieuse force répulsive. Elle a donc ralenti l'expansion de l'Univers pendant cette période. Mais la gravitation diminue avec le carré de la distance. Donc lorsque deux corps s'éloignent, l'attraction qu'ils exercent l'un sur l'autre diminue très vite. Cela est également vrai pour l'Univers dans sa globalité. Après huit milliards d'années, cette mystérieuse force répulsive (dont il faut supposer qu'elle reste identique lors de l'expansion de l'Univers) a pris le dessus sur la gravitation devenue trop faible et a commencé à accélérer l'expansion de l'Univers.

Comme la gravitation ne peut aller qu'en s'affaiblissant lorsqu'il y a expansion de l'Univers, nos lointains descendants se retrouveront peut-être tout seuls ! Ils auront vu, comme dans un film s'accélérait, toutes les galaxies disparaître de l'Univers observable !

Une force répulsive ? Nous avons déjà rencontré ce concept lors de l'inflation (p. 146-147). Mais là, ses effets n'avaient duré qu'une infime fraction de seconde. Néanmoins, cela avait permis de ressusciter le concept de « constante cosmologique » postulé par Einstein. Nous avons vu que cette constante avait pour but de « stabiliser » l'Univers et d'empêcher son expansion, et qu'Einstein avait considéré cela comme « la plus grande erreur de sa vie ». Eh bien, quatre-vingts ans après, il semble qu'il s'agisse en fait d'une autre de ses géniales intuitions. Bien sûr, la constante cosmologique actuelle n'a pas du tout la même valeur que celle postulée par Einstein, puisque la sienne empêchait l'expansion alors que celle-ci l'accélère. Mais le concept de base en est le même. Il faut bien ajouter une constante aux équations décrivant l'évolution de l'Univers.

Mais de quoi est faite cette mystérieuse énergie ? Là, nous sommes totalement... dans le noir – c'est le cas de le dire.

Sans connaître sa nature, il est néanmoins possible de mesurer ce qu'elle représente. Elle serait à peu près trois fois supérieure à l'énergie contenue dans la matière noire (n'oublions jamais que,

grâce à la formule d'Einstein, toute masse est transformable en énergie, ce qui permet la comparaison).

Ainsi, l'Univers serait composé de :

70 % d'énergie noire,

26 % de matière noire,

4 % de matière normale.

Quel résultat incroyable ! Toutes les galaxies que nous voyons et toutes les étoiles et les nuages de gaz qui les composent ne représentent que 4 % de l'Univers ! Tout le reste est constitué de matière et d'énergie invisibles d'un type radicalement différent.

L'unification : la quête du Graal du XXI^e siècle

Les tentatives de détermination de la nature de la matière et de l'énergie noire vont être deux chantiers cruciaux de l'astrophysique et de l'astronomie du XXI^e siècle. Un autre chantier sera l'unification de la relativité générale et de la physique quantique. Même si nous avons vu au chapitre 8 que rien ne permettait d'être sûr qu'une théorie du tout soit possible, il est logique de penser qu'une théorie rendant compatible ces deux piliers de notre compréhension du monde puisse exister.

Le candidat le plus sérieux depuis une vingtaine d'années semble être la théorie des cordes. Du moins est-ce la voie dans laquelle travaillent le plus de chercheurs.

Les particules élémentaires seraient des cordes qui vibreraient. Les différents modes de vibration engendreraient les masses et les charges. Des particules auraient des masses différentes parce qu'elles vibreraient en fait à des fréquences différentes. Cette approche ne repose sur aucune donnée. Mais de nombreux chercheurs sont fascinés par son aspect esthétique et par le fait que certaines propriétés de notre Univers émergent spontanément de ce modèle.

À partir de 1984 ont été développées cinq théories dites des « supercordes » nécessitant l'existence de 9 à 25 dimensions. Les dimensions spatiales supplémentaires (autres que les trois dimensions normales d'espace et celle du temps) sont enroulées sur elles-mêmes dans des diamètres si petits (à peine supérieurs à la longueur minimale, celle de Planck) qu'elles sont inobservables.

En 1995, Edward Witten a montré qu'elles pouvaient toutes être unifiées par une théorie unique, la théorie M comportant onze dimensions.

La lecture de l'excellent ouvrage de Brian Greene portant sur ces questions¹ montre qu'il est urgent d'attendre pour avoir une opinion. En effet, ces théories sont de magnifiques constructions intellectuelles mais elles ne sont pour l'instant que des spéculations impossibles à tester. Et ces théories sont loin d'être les seules. En France, Alain Connes a développé une théorie fondée sur la géométrie non commutative. Ce mathématicien (dont nous reparlerons au chapitre 15) applique à la physique des concepts mathématiques. La non-commutativité est une notion contre-intuitive, un monde dans lequel $A + B$ n'est pas égal à $B + A$. Cette géométrie permet au temps de surgir de l'espace et constitue un candidat intéressant de plus à la « grande unification ».

D'autres théories, sans aller jusqu'à unifier la physique quantique et la relativité générale, nous donnent une vision différente de la structure de l'Univers, telles que (toujours en France) :

— « L'univers chiffonné » de Jean-Pierre Luminet². Cet astrophysicien a proposé, pour l'Univers, une structure particulière qui ferait que l'univers réel serait en fait *plus petit* que l'univers observable. Une partie des galaxies lointaines serait en fait des mirages, des images fantômes de galaxies plus proches.

— La « relativité d'échelle » de Laurent Nottale³. L'Univers aurait une structure fractale. Les mêmes schémas se répéteraient à différentes échelles.

Combien d'autres terres dans la galaxie ?

Le dernier grand chantier du XXI^e siècle en ce qui concerne l'Univers est exactement à l'opposé de celui que nous venons de décrire. Il concerne purement l'observation (il ne vous aura pas

1. Brian Greene, *L'univers élégant*, Robert Laffont, 2000.

2. Jean-Pierre Luminet, *L'univers chiffonné*, Fayard, 2001.

3. Laurent Nottale, *La relativité dans tous ses états. Au-delà de l'espace-temps*, Hachette, 1998.

échappé que la dialectique « observation-théorie » est à la base de ce chapitre).

En 1995, les Suisses Michel Mayor et Didier Queloz sont les premiers à détecter une planète extrasolaire autour de l'étoile Pégase 51. Ils n'ont pas directement « vu » la planète. Ils ont détecté son existence, déterminé sa masse et sa distance par rapport à l'étoile à partir des anomalies des mouvements de celle-ci. Depuis, plusieurs centaines de planètes ont été détectées. Avec la progression de nos moyens d'observation, il est évident que des milliers, voire des millions de planètes seront découvertes.

Pour l'instant, les techniques employées reposant essentiellement sur l'attraction gravitationnelle que la planète exerce sur son étoile, seules de très grosses planètes (des planètes telles que Jupiter ou Saturne, voire plus grosses encore) sont détectables. Cela n'est pas très intéressant car de telles planètes étant gazeuses, la vie ne peut donc s'y être développée.

Mais deux progrès essentiels sont en vue.

Il sera possible de voir directement – et non plus indirectement – les planètes, donc d'analyser leur spectre, ce qui nous renseignera sur la composition de leur atmosphère. Ensuite, grâce à des télescopes placés dans l'espace dont les images seront combinées par une technique d'interférométrie¹, il sera possible de détecter des planètes telluriques du même type que la Terre ou Mars. Comme la présence de vie végétale se manifeste par une modification de la composition de l'atmosphère (l'oxygène libre en est un signe alors qu'en temps normal, il est prisonnier dans des molécules d'eau ou de gaz carbonique), il sera théoriquement possible d'ici un demi-siècle d'avoir des preuves solides de la présence de la vie sur une autre (voire sur des dizaines d'autres) planète(s).

Si une telle découverte était effectuée, cela bouleverserait en profondeur notre vision de l'Univers.

1. Les images fournies par cette technique sont quasiment équivalentes à celles d'un unique télescope qui aurait la taille de la distance séparant les deux télescopes. Pour des raisons liées aux longueurs d'ondes utilisées, cette technique est beaucoup plus facile à mettre en œuvre dans le domaine de la radio que dans celui du visible. Des progrès importants ont néanmoins été obtenus, entre autres, grâce au Français Antoine Layberie.

Certitudes et questions ouvertes

De toute cette exploration cosmique, on peut tirer deux types de conclusion :

— Malgré tous les chantiers en cours, on peut avoir un certain nombre de certitudes :

- L'Univers a été, dans le passé, très petit, très dense et très chaud. Même si bien des modifications sont possibles, le big bang ne disparaîtra pas.
- L'Univers est en expansion accélérée, il semble bien qu'il n'y aura pas de *big crunch*.
- Le temps et l'espace ne sont pas le cadre ultime dans lequel se déroule l'aventure cosmique. Qu'ils n'aient pas toujours existé amène à penser que d'autres dimensions, ou d'autre(s) niveau(x) de réalité existent.
- Le réglage particulier de notre Univers laisse à penser que le développement de la complexité en son sein n'est pas un hasard.

— Des progrès essentiels sont hautement probables dans les domaines suivants au cours du siècle qui débute. Ils pourraient être de nature à remettre en cause de nombreuses conceptions (mais pas celles énoncées ci-dessus).

- La détermination de la nature de la matière et de l'énergie noire.
- La découverte de traces de vie sur des planètes extrasolaires.
- L'unification de la relativité générale et de la physique quantique.

La fin du principe de médiocrité

Le fait que nous ne sommes pas constitués de ce qui semble être la matière et l'énergie qui prédominent dans l'Univers ne remet-il pas en selle le « fantôme de Copernic » que le chapitre précédent avait paru mettre en déroute ? Cela ne renforce-t-il pas le « principe de médiocrité », cher aux matérialistes, selon lequel

notre place dans l'Univers, quel que soit l'angle sous lequel on la considère, n'a rien de spécial ?

C'est ce que pensait Joel Primack, l'un des spécialistes des modèles basés sur la « matière noire froide », il y a vingt ans. Il a depuis changé d'avis et l'a consigné dans son dernier livre écrit avec son épouse¹.

L'ouvrage est une extraordinaire tentative de s'opposer, pour des raisons à la fois scientifiques et philosophiques, aux tenants du principe de médiocrité comme Carl Sagan ou Stephen Gould (sans parler des extrémistes tels que Dawkins ou Dennett ! – voir le chapitre suivant pour l'analyse de leurs pensées), pour montrer que « nous sommes au centre d'une vaste aventure cosmique, pas en dehors, ni à la fin² », d'où le titre provocant : « La vue depuis le centre de l'Univers ».

Selon Joel Primack et Nancy Abrams, nous serions au centre de l'Univers parce que³ :

- Nous sommes faits de la matière la plus rare qui existe dans l'Univers – les éléments lourds qui ne représentent que 0,01 % de celui-ci (joli retournement conceptuel de l'argumentation).
- Nous vivons une époque très spéciale de l'évolution de l'Univers. Elle est mieux adaptée à la compréhension de celui-ci que les époques passées et les époques futures (tout particulièrement lorsque l'accélération de l'expansion de l'Univers aura fait disparaître du champ de vision de nos lointains descendants toutes les autres galaxies !).
- Notre taille se situe au milieu de toutes les tailles possibles dans l'Univers.
- Nous vivons à une période qui correspond à la moitié de la durée de la vie de la Terre et du Soleil.
- Même si le modèle de l'inflation éternelle avec son infinité de bulles d'univers venait à être prouvé, notre place dans une bulle si particulière serait spéciale.
- Notre situation dans l'histoire humaine est unique. Nous vivons une sorte d'inflation. D'ici un siècle ou deux,

1. Joel Primack et Nancy Abrams, *The view from the center of the Universe*, Riverhead Books, 2006.

2. *Ibid.*, p. 268.

3. *Ibid.*, p. 270-272.

nous nous serons détruits ou nous aurons radicalement changé.

Bien entendu, ce n'est pas d'un point de vue géographique, mais conceptuel et temporel que Primack et Abrams considèrent comme centrale la période que nous vivons actuellement.

La religiosité cosmique

Ce rejet de l'existentialisme et du non-sens les amène à parler de Dieu : « Nous croyons que Dieu n'est rien de moins que l'ouverture d'une ligne de contact personnel avec le potentiel inconnu de l'Univers. Ce processus est une expérience et trouver les mots pour le décrire a été une part de ce que nous avons voulu faire à travers ce livre¹. »

Certes, une telle définition de Dieu ne satisfera pas les tenants d'une conception monothéiste classique. Mais ils auraient tort de la mépriser.

Tout d'abord parce qu'elle se répand de plus en plus chez les astronomes et les astrophysiciens. Ainsi, le prix Nobel de physique George Smoot (l'homme de *Cobe*) n'hésite pas à s'opposer à son ex-professeur, le prix Nobel de physique Steven Weinberg (l'homme de l'unification électrofaible, grand avocat, comme nous l'avons vu, du désenchantement du monde) : « Je ne suis pas d'accord avec mon ancien maître. L'Univers me paraît l'exact opposé d'un univers dénué de raison [...]. La nature est ce qu'elle est non pas en conséquence d'une suite aléatoire d'événements sans signification, mais au contraire parce qu'il ne pouvait pas en être autrement. Son évolution est inscrite depuis ses débuts dans une sorte d'ADN cosmique si l'on veut. Il y a un ordre clair dans l'évolution de l'Univers [...]. Réaliser cela est du même ordre que l'extase artistique [...]. Le concept religieux de création découle d'un sentiment d'émerveillement devant l'existence de l'Univers et devant notre place en son sein. Le concept scientifique de création ne recouvre pas moins un sentiment d'émerveillement : nous ressentons un respect mêlé de crainte

1. *Ibid.*, p. 277.

devant la simplicité ultime et la puissance de créativité de la nature, et devant sa beauté partout présente¹. »

Ensuite, parce que ce sentiment de religiosité cosmique n'est pas qu'une forme d'« athéisme ouvert » (un athéisme ouvert aux sentiments de beauté et d'émerveillement) comme voudrait nous le faire croire toute une série d'athées² qui tente d'« annexer » les scientifiques ayant une telle position, au premier rang desquels Albert Einstein.

Or, si Einstein, avec son refus complet d'envisager un Dieu personnel susceptible d'interagir avec l'homme et de répondre à ses prières, ne s'inscrit pas dans le cadre monothéiste, il ne s'inscrit pas davantage dans le cadre de l'athéisme, comme le montre son insistance à parler de l'*intelligence* qui se révèle dans les lois de l'Univers : « Je soutiens vigoureusement que la religiosité cosmique est le mobile le plus puissant et le plus généreux de la recherche scientifique [...]. Quelle confiance profonde en l'intelligibilité de l'architecture du monde et quelle volonté de comprendre, ne serait-ce qu'une parcelle minuscule de l'intelligence se dévoilant dans le monde devaient animer Kepler et Newton pour qu'ils aient pu éclairer les rouages de la mécanique céleste dans un travail solitaire de nombreuses années [...]. Seul celui qui a voué sa vie à des buts identiques possède une imagination compréhensive de ces hommes, de ce qui les anime, de ce qui leur insuffle la force de conserver leur idéal malgré d'innombrables échecs. La religiosité cosmique prodigue de telles forces. Un contemporain déclarait, non sans justice, qu'à notre époque installée dans le matérialisme, se reconnaissent dans les savants scrupuleusement honnêtes les seuls esprits profondément religieux. L'esprit scientifique, puissamment armé de sa méthode, n'existe pas sans la religiosité cosmique [...]. Sa religiosité [du savant] consiste à s'étonner, à s'extasier devant l'harmonie des lois de la nature dévoilant *une intelligence si supérieure* [c'est moi qui souligne] que toutes les pensées humaines et toute leur ingéniosité ne peuvent révéler, face à elle, que leur néant dérisoire³. »

1. George Smoot et Keay Davidson, *Les rides du temps. L'Univers 300 000 ans après le big bang*, Flammarion, 1994, p. 343-345.

2. Voir par exemple Richard Dawkins, *The God delusion*, Houghton Mifflin, 2006.

3. Albert Einstein, *Comment je vois le monde*, Flammarion, 1979, p. 19-20.

Albert Einstein, George Smoot, Joel Primack, trois approches différentes par trois grands spécialistes de l'Univers, qui ne sont nullement des croyants ou des pratiquants au sens classique du terme, une même conclusion : l'étude de l'Univers révèle qu'il n'est pas le fruit d'un processus chaotique dénué d'intention, de structuration et d'intelligence.

D'où venons-nous ? Où allons-nous ?

Tout l'univers que nous pouvons observer vient d'un point très petit, très dense et très chaud qui a explosé (voire doublement explosé) il y a près de quatorze milliards d'années. Il ne faut pas concevoir cette explosion comme étant située dans un espace vide préexistant. En fait, l'espace et le temps se sont développés avec l'explosion elle-même.

Que le temps et l'espace, sous la forme que nous leur connaissons, ne soient pas éternels nous amène à bouleverser nos conceptions les concernant, voire à concevoir un niveau d'existence sans temps ni espace.

Les constantes fondamentales et les conditions initiales de notre univers ont des valeurs très particulières. Si on les modifie un tant soit peu, la complexité ne pourrait plus se développer et l'Univers serait stérile.

L'existence de ce réglage très fin a réintroduit la question de l'existence d'un créateur (quel qu'il soit) dans les débats entre savants et non plus seulement dans les débats entre théologiens et philosophes.

L'existence d'un principe créateur serait particulièrement plausible s'il n'existait qu'un seul univers, tandis que l'hypothèse selon laquelle nous sommes là par hasard serait la plus probable s'il existait une infinité d'univers ayant chacun des caractéristiques différentes.

En dehors de cette question du réglage, l'étude des lois de l'Univers amène de nombreux physiciens et astrophysiciens, à commencer par Einstein lui-même, à penser que ces lois correspondent à la manifestation d'une intelligence dépassant de très loin la nôtre.

La nature de 96 % de la masse et de l'énergie qui composent l'Univers nous est inconnue. L'élucidation de cette nature sera l'un des grands domaines de recherche pour les astrophysiciens du XXI^e siècle.

OÙ IL FAIT PLUS NOIR QUE VOUS NE POUVEZ L'IMAGINER

Un autre objectif essentiel au XXI^e siècle sera le développement d'une théorie unifiant la relativité générale et la physique quantique.

Nos progrès techniques permettent d'affirmer qu'au cours du XXI^e siècle nous détecterons autour d'autres étoiles des planètes ayant des caractéristiques proches de celles de la Terre. L'éventuelle détection de signes de vie sur de telles planètes pourrait représenter l'un des grands changements de vision du monde de l'histoire humaine.

IV

Sommes-nous ici par hasard ?

Les évolutions de l'évolution

« Plus que de la théorie de l'évolution, il convient de parler des théories de l'évolution.

Cette pluralité tient d'une part à la diversité des explications qui ont été proposées au mécanisme de l'évolution et, d'autre part, aux diverses philosophies auxquelles on se réfère. »

Jean-Paul II,
lettre à l'Académie pontificale des sciences,
22 octobre 1996

Les différentes écoles en présence

Avec la question posée dans cette quatrième partie, nous entrons dans le domaine de la biologie de l'évolution. Il ne s'agit pas d'une mince affaire. C'est un domaine empli de bruit et de fureur. En effet, c'est un domaine qui touche au cœur même du statut de l'humanité : sommes-nous de glorieux accidents de l'histoire ou notre existence s'inscrit-elle dans un processus, dans une logique quelconque ?

Mais cette question absolument centrale pour toute personne voulant un tant soit peu comprendre le sens (ou le non-sens) de son existence est brouillée par toute une série d'*a priori* philosophiques et idéologiques et par la dimension affective que prend rapidement le débat.

Plus encore que l'astronomie, et ce malgré le retentissement culturel et historique de l'affaire Galilée, il s'agit du domaine principal dans lequel science et religion se sont affrontées (et, dans certains pays, s'affrontent encore). Et cela depuis l'origine, depuis le célèbre débat du 30 juin 1860 (moins d'un an après la

parution en novembre 1859 de l'ouvrage fondateur de Darwin, *L'origine des espèces au moyen de la sélection naturelle* – notez que l'on oublie souvent la deuxième partie du titre) qui eut lieu à Oxford entre Samuel Wilberforce, l'évêque d'Oxford, et Thomas Huxley surnommé le « bouledogue de Darwin » à cause de son énergie à défendre ce dernier.

Que l'histoire des sciences ait retenu les attaques personnelles qu'échangèrent ces deux grands orateurs (Wilberforce demanda à Huxley s'il descendait du singe par son père ou par sa mère, et Huxley lui répondit qu'il préférerait descendre d'un singe que d'un évêque¹) au lieu de leurs arguments montre à quel point le calme et l'objectivité sont difficiles à atteindre dans ce débat.

Comment allons-nous donc procéder ?

— Tout d'abord, nous définirons certains concepts car le flou de certains mots est, ici plus qu'ailleurs, une source de confusion grave.

— Puis nous exposerons, aussi objectivement que possible, la position d'un certain nombre de scientifiques représentant différentes écoles de pensée.

— Nous nous concentrerons sur les scientifiques dont la discipline est liée aux sciences de la vie.

En effet, la question de l'évolution est si importante que physiciens, sociologues, juristes, mathématiciens, astronomes s'expriment souvent à son sujet. Nous ne considérerons donc que l'opinion de zoologues, paléontologues, biologistes moléculaires, généticiens, éthologues, anthropologues, médecins, voire de spécialistes de la modélisation, bref tous ceux dont la profession touche au vivant, pour que le débat ne soit pas faussé par les représentants d'autres disciplines, qui pourraient être accusés de ne pas avoir de connaissances assez précises sur le vivant. Sauf à de rares exceptions, nous analyserons l'œuvre de personnes vivantes car le débat doit être éclairé par les idées et les faits les plus récents possible – cela, pour ne pas risquer d'être accusé de « mener un combat d'arrière-garde ».

1. En fait, selon l'enquête de Stephen Jay Gould, il semblerait que l'échange ait été un peu plus subtil (cf. *La foire aux dinosaures*, Seuil, 1991, p. 353-368) mais il est symptomatique que ce soit cette version caricaturale qui a été conservée.

Dans le chapitre suivant, nous analyserons en détail des faits et des raisons pratiques et théoriques qui conduisent à penser que la synthèse néodarwinienne ne constitue pas une bonne explication de l'évolution de la vie sur terre (ou même n'importe où dans l'Univers où la vie serait apparue !). Au chapitre 12, je rassemblerai des éléments susceptibles de constituer l'ébauche d'une théorie qui, un jour peut-être, « avalera » le darwinisme, de la même façon que la relativité a « avalé » la théorie de Newton. Cette synthèse sera personnelle mais chacun de ses éléments sera emprunté à un scientifique qualifié, par sa fonction, à s'exprimer sur l'évolution de la vie. Puis, nous ferons le point sur les directions de recherche possibles et analyserons les stratégies employées par les darwiniens pour maintenir leur hégémonie.

Il est important de noter que tout ce parcours se fera à partir de la science et non de la métaphysique ou de la religion.

La distinction entre faits et théorie est essentielle.

Combien de fois voyons-nous, surtout dans des ouvrages américains, une référence à l'« évolution darwinienne » ? Il y a là une source de malentendus sans fin dont profitent tous les obscurantistes – qu'ils soient créationnistes ou scientistes.

L'évolution ne signifie rien d'autre que « tous les organismes sont unis par les liens de la descendance. Cette définition ne dit rien au sujet du mécanisme du changement évolutif ». Ces propos de Stephen Jay Gould¹, grand spécialiste à la fois de l'évolution et du darwinisme, ont le mérite de la clarté.

Nous affirmerons ici avec force que l'évolution est un *fait* et que le darwinisme est l'une des explications possibles de ce fait. Nous ne perdrons pas de temps à démontrer que tous les êtres vivants ont un ancêtre commun.

Nous ne parlerons donc pas de poules qui, sous certaines conditions, peuvent se doter de dents, signe qu'elles sont issues d'un ancêtre reptilien, des doigts accompagnant les sabots de certains chevaux, héritage d'un ancêtre commun ayant des pattes et non des sabots, des varices qui peuvent parfois nous accabler, nous, *homo sapiens*, alors qu'elles épargnent les autres mammifères, preuve d'une adaptation encore imparfaite à la station debout, ni même de la mutation que nous partageons avec le

1. Stephen Jay Gould, *La foire aux dinosaures*, op. cit., p. 390.

chimpanzé alors que ce n'est pas le cas avec les autres grands singes, montrant que l'ancêtre commun à l'homme et au chimpanzé est plus récent que l'ancêtre commun à l'homme, aux chimpanzés, aux gorilles et aux orangs-outangs (la mutation s'étant produite quelque part entre les deux).

Nous nous contenterons de dire que l'évolution est un fait et que toutes les preuves existent pour démontrer que, si l'on remonte la longue suite de nos ancêtres, on trouvera bien un singe, puis un poisson, puis un invertébré et enfin une bactérie. D'où l'absurdité de la seule alternative à l'évolutionnisme, le créationnisme, c'est-à-dire l'idée selon laquelle il y aurait eu des créations séparées des différentes espèces qui peuplent la Terre.

Nous dirons également que, contrairement à ce qu'affirment certains (ce qui leur permet d'être « agnostiques » par rapport à l'évolution, c'est-à-dire de réserver leur jugement à propos de son existence), ce n'est pas parce qu'on ne peut expliquer un fait qu'il n'existe pas.

Dire, comme Philip Johnson¹ (professeur de droit à Berkeley et l'un des fondateurs du mouvement de l'*Intelligent Design*, cf. page 264), qu'il est possible de ne pas considérer l'évolution comme un fait parce qu'on n'a pas d'explication satisfaisante de son mécanisme est aussi absurde qu'aurait été la position consistant à ne pas considérer comme un fait la rotation de la Terre autour du Soleil jusqu'à la mise au point par Einstein de la relativité générale, sous prétexte que la théorie de Newton ne nous disait pas pourquoi la Terre tournait autour du Soleil mais se contentait de postuler l'existence d'une mystérieuse force d'attraction à distance.

1. Les darwiniens

Le darwinisme affirme que cette évolution s'est déroulée grâce à des mutations ayant lieu par hasard et dont les individus qui en étaient porteurs ont été avantagés par la sélection naturelle. Voici un résumé du raisonnement de Darwin :

— La plupart des individus d'une espèce présentent des petites différences (yeux bleus, poils plus sombres ou plus longs, etc.) transmissibles à leur descendance (aujourd'hui on sait qu'il s'agit du résultat de mutations génétiques – ce que ne savait pas

1. Philip Johnson, *Le darwinisme en question*, Édition Pierre d'Angle, 1996.

Darwin –, et c'est pour cela que l'on ne parle plus de darwinisme mais de « synthèse néodarwinienne », qui intègre, entre autres, la génétique aux idées de Darwin).

— Certaines de ces variations représentent un avantage pour l'individu qui en est porteur.

— Toutes les espèces font face à une limitation des ressources dont elles disposent (Darwin fut inspiré par les idées de Malthus sur ce point).

— Les individus dotés d'un avantage survivront plus facilement. Statistiquement, ils auront plus de descendants. Le temps passant, tous les représentants de leurs espèces descendront d'eux. Les descendants de ceux qui étaient dépourvus de l'avantage se seront éteints.

— Si l'environnement change brutalement, les individus porteurs de mutations leur permettant de vivre dans le nouvel environnement seront très avantagés et remplaceront très vite les individus « normaux » (on dira alors que la « pression de la sélection naturelle est très forte »).

Ainsi, le darwinisme n'est pas, comme on le croit parfois, une théorie selon laquelle l'évolution serait due au hasard. C'est le couplage « hasard-sélection naturelle » qui permet l'évolution. C'est la raison pour laquelle, comme l'indique le titre original de l'ouvrage de Darwin, il s'agit d'une théorie de l'évolution *par sélection naturelle*. La sélection naturelle était si importante pour Darwin qu'il a pu l'appeler « ma divinité ». C'est elle le *deus ex machina* qui rend l'évolution possible.

Si l'évolution n'est pas due aux seules mutations se produisant au hasard dans notre génome, il s'ensuit néanmoins que, pour le darwinisme, l'évolution ne peut être qu'un processus aveugle, contingent, sans finalité, puisqu'elle résulte de la rencontre entre deux phénomènes aléatoires : les mutations et les modifications de l'environnement.

Cela dit, il y a plusieurs sortes de darwiniens :

Les *gradualistes*, pour lesquels « la nature ne fait pas de saut », et les *saltationnistes* qui admettent l'existence de tels sauts provoqués par des macromutations ; les *adaptationnistes*, pour lesquels la quasi-totalité des caractères des organismes a été sélectionnée pour une raison bien précise, et les *neutralistes*, qui pensent qu'un certain nombre de structures sont soit le résultat du hasard, soit les sous-produits inévitables de certaines structures

qui ont été sélectionnées parce qu'elles représentaient un avantage pour le porteur¹ ; les *sociobiologistes* pour lesquels tout est dans les gènes, y compris nos comportements.

Souvent, on assiste à des regroupements. Ainsi les saltationnistes sont souvent assez neutralistes et opposés à la sociobiologie. Nous appellerons *darwiniens faibles* cette première catégorie car ils ne mettent pas l'accent sur le cœur du darwinisme, à savoir la puissance des processus de sélection naturelle.

À l'inverse, les gradualistes sont souvent des adaptationnistes convaincus et de farouches partisans de la sociobiologie. Nous les appellerons *darwiniens au sens fort*, car ils expriment l'essence même du darwinisme.

Mais darwiniens forts et faibles s'accordent sur une conséquence essentielle du darwinisme : l'évolution étant le résultat de phénomènes aléatoires, si nous « rembobinions le film de la vie jusqu'à l'apparition des animaux multicellulaires modernes lors de l'explosion du Cambrien, puis si nous repassons le film à partir de ce même point de départ, l'évolution repeuplerait la Terre de créatures radicalement différentes. La probabilité pour que ce scénario fasse apparaître une créature ressemblant même de loin à un être humain est effectivement nulle et celle de voir émerger un être doté d'une conscience, extrêmement faible² ».

Il faut en fait parler de néodarwinisme et non de darwinisme car à l'époque de Darwin, la génétique était inconnue. Mais comme ces deux termes sont en général confondus en dehors des cercles spécialisés, il en sera de même dans cet ouvrage.

2. Les non-darwiniens faibles

Il s'agit ici de scientifiques qui acceptent que la sélection naturelle et les mutations soient les principaux moteurs de l'évolution. Ils n'en affirment pas moins (avec force – on aura compris

1. Ici, j'emploie le terme « neutraliste » dans un sens plus large que dans celui de la théorie de Kimura.

2. Stephen Jay Gould, *L'éventail du vivant*, Seuil, 1997, p. 264. Gould est, selon ma définition, un « darwinien faible », mais un « darwinien fort » comme Dennett soutient également totalement cette conclusion (cf. Daniel Dennett, *Darwin est-il dangereux ?*, Odile Jacob, 2000, p. 64).

que mes adjectifs « faibles » et « forts » ne sont en aucun cas des jugements de valeur. Il s'agit d'un parallèle avec les principes anthropiques forts et faibles sans qu'il faille y voir un lien direct) que l'évolution, si on la répète, donnera un résultat plus ou moins identique à celui que l'on observe sur terre et surtout que des êtres pourvus d'une conscience évoluée, tels que nous, apparaîtront presque toujours, même s'ils ne sont pas entièrement semblables à nous. Comment peuvent-ils affirmer cela ? À cause de l'existence de contraintes s'exerçant sur le hasard qui obligent l'évolution à arriver au même but par des voies pouvant être totalement différentes.

Cela est une hérésie pour les darwiniens, pis, un blasphème : c'est la raison pour laquelle je range ces auteurs dans la catégorie des non-darwiniens même s'ils se présentent souvent eux-mêmes comme des darwiniens.

3. Les non-darwiniens au sens fort

Il s'agit de l'ensemble des scientifiques des sciences de l'évolution qui partagent l'idée que le hasard et la sélection naturelle ne dirigent pas seuls l'évolution. Ils forment ce que l'on appelle la « biologie évolutionniste non darwinienne¹ », qui se divise en deux grandes écoles de pensée : d'un côté, l'auto-organisation, de l'autre, les logiques internes et les macromutations canalisées.

a - L'auto-organisation

Pour cette école de pensée, l'ordre peut émerger du chaos grâce à un certain nombre de lois sous-jacentes. Sans aucune finalité, sans que l'évolution soit prévisible, l'ordre est spontanément engendré par les lois de la nature. La sélection naturelle darwinienne n'explique donc qu'une partie des structures complexes que nous observons dans la biosphère. Une explication complète doit inclure à la fois l'auto-organisation et la sélection. Certains partisans de l'auto-organisation donneront à celle-ci le premier rôle et seront donc des non-darwiniens forts,

1. Certains, comme Vasily Ogryzko, utilisent également le terme de « biologie postdarwinienne ».

d'autres choisiront de donner une importance égale aux deux et seront donc des non-darwiniens au sens faible.

Cela me permet de faire une remarque importante : si, personnellement, je crois que l'évolution est non graduelle, les théories visant à expliquer l'évolution, elles, évoluent graduellement ! Tant que l'on reste dans le cadre des partisans de l'évolution, il existe suffisamment de théories pour passer graduellement du darwinisme le plus fort au non-darwinisme le plus fort. Un chemin du type Dawkins => Dennett => Gould => Kauffman => de Dube => Conway-Morris => Denton => DambriCourt => Chauvin est possible, avec à chaque fois une petite mutation permettant de passer d'une théorie à l'autre (voir plus loin pour les idées de toutes ces personnes). Donc, les limites entre les catégories quelque peu artificielles que j'ai créées pour tenter de clarifier les choses sont forcément floues. Il pourra être difficile, par exemple, de savoir si tel ou tel auteur est un darwinien faible ou un non-darwinien faible.

b - Logiques internes et macromutations « canalisées »

Cette catégorie, qui regroupe l'essentiel des non-darwiniens forts (je ne parle, bien entendu, que des évolutionnistes), est plus diversifiée que les autres. Elle regroupe à la fois des scientifiques pensant qu'il existe une logique interne à l'évolution de la vie sans que cela implique l'existence d'un but de l'évolution, et d'autres pour lesquels un tel but existe parce que l'évolution est programmée.

• Logiques internes

Les auteurs que je range dans cette catégorie ne font pas appel à un programme ou à des forces orientant de « l'extérieur » l'évolution de la vie. Ils insistent sur l'existence de certains processus internes relatifs, en général, au développement de l'embryon, et qui rendent l'évolution en partie prévisible dans le long terme.

• Macromutations « canalisées »

Pour les membres de cette catégorie, seule la microévolution, la variation à l'intérieur d'un type (par exemple le passage d'un ancêtre commun aux loups, aux renards et à tous les chiens, ou le passage d'un ancêtre commun aux tigres, chats, lions, guépards et à tous les félins), obéit aux mécanismes darwiniens, la macromutation (le passage d'un type à un autre)

n'est pas aléatoire et est régie par des lois qui restent encore à découvrir.

Pour ces scientifiques, cette macroévolution ne peut pas toujours s'accomplir de façon graduelle. L'évolution progresse donc parfois par sauts, d'où la nécessité de macromutations. Or il paraît peu probable que celles-ci puissent se produire uniquement par hasard, elles doivent donc être « canalisées » par quelque chose.

4. Néolamarckiens

Le lamarckisme reposait sur l'idée selon laquelle les caractères acquis pouvaient être héréditaires. Selon l'exemple célèbre, si une girafe tirait sur son cou pour brouter les feuilles les plus hautes possible, ses enfants auraient un cou plus long. Mais nous savons maintenant que l'évolution ne fonctionne pas de cette façon.

Néanmoins depuis quinze ans, certains travaux montrent que le dogme central de la biologie moléculaire, selon lequel l'information se transmet uniquement dans le sens ADN => ARN => protéines, se fissure quelque peu. Et cela non pas à cause de l'existence de l'enzyme de transcription inverse (*reverse transcriptase*) qu'utilise, entre autres, le virus du sida pour aller de l'ARN à l'ADN, mais parce que certaines mutations semblent se produire plus souvent si l'organisme dans lequel elles apparaissent se trouve dans un environnement où de telles mutations sont nécessaires à sa survie. Les mutations ne se produisent donc pas toujours au hasard ! D'autres travaux montreraient que le système immunitaire permettrait à des parents de transmettre à leurs enfants des immunités acquises au cours de leur vie.

5. Évolution quantique

Si la sélection joue un rôle central dans la théorie néodarwinienne, elle n'est rien sans les mutations car, sans elles, elle n'aurait rien à sélectionner ! Or, qu'est-ce qu'une mutation ? C'est le remplacement d'une base par une autre dans l'ADN. Ce phénomène d'ordre moléculaire dépend de quelques atomes, voire parfois d'une particule élémentaire. Or, comme nous l'avons vu, l'univers des atomes et des particules est

conceptuellement totalement différent de celui, très réductionniste, de la biologie moléculaire. Ainsi, de plus en plus de physiciens conseillent aux biologistes d'étudier la possibilité que les mutations soient influencées par des phénomènes qui se produisent au niveau quantique. Les biologistes rejettent, en général, cette suggestion avec dédain. Mais depuis peu, certains explorent très sérieusement cette voie, ce qui nous permettra d'en parler ici (je vous rappelle que je n'évoque que des positions soutenues par des professionnels des sciences de la vie).

6. *L'Intelligent Design*

Ce mouvement, essentiellement américain, a pour objectif officiel l'« étude des signes d'intelligence ». Les défenseurs de l'*Intelligent Design* ont développé le concept de « complexité irréductible ». Si un système regroupant N parties différentes ne peut fonctionner s'il lui manque deux de ses parties et si l'ensemble formé par les N-2 autres parties n'a pas de fonction connue, alors il est irréductiblement complexe. Il n'a pas pu se former par un processus naturel, il a fallu qu'un concepteur s'en mêle...

L'*Intelligent Design* affirme être un mouvement scientifique n'ayant aucune dimension religieuse. Dans la pratique, il rassemble des évolutionnistes, différents genres de créationnistes et des agnostiques refusant de choisir entre ces deux visions, et a pour objectif d'offrir une alternative aux créationnistes. On le considère souvent comme un « faux nez » de mouvements créationnistes. La réalité est toutefois un peu plus complexe, comme nous le verrons.

7. *Les créationnistes*

Ici aussi les mots sont biaisés. Il va de soi que tous les scientifiques croyants, y compris les plus darwiniens, sont « créationnistes » puisqu'ils croient qu'un créateur est à l'origine de l'Univers ! Donc, le mot « créationnistes » doit désigner uniquement, dans le domaine des sciences de la vie, ceux qui ne croient pas que les êtres vivants aient un ancêtre commun, c'est-à-dire qui croient en la création séparée des espèces vivantes. Toute exception à cette règle (il s'en commet beaucoup actuellement) constitue une grave malhonnêteté intellectuelle.

Les créationnistes se divisent en deux branches :

— les créationnistes de la Terre vieille, qui acceptent les résultats de l'astronomie et de la géologie quant à l'âge de la Terre tout en refusant que l'on puisse trouver un singe ou un poisson si l'on remonte dans notre arbre généalogique.

— les créationnistes de la Terre jeune, très majoritaires, qui adhèrent à une lecture stricte de la Genèse et qui rejettent les résultats de l'astronomie et de la géologie ainsi que de toutes les différentes méthodes de datation, la Terre ne pouvant, pour eux, avoir plus de 10 000 ans.

Les créationnistes sont surtout implantés aux États-Unis et, de là, ont essaimé vers quelques pays anglo-saxons – dont l'Australie –, mais aussi vers la Suisse.

Ils sont majoritairement protestants, mais on en trouve parmi les musulmans, et quelques-uns chez les catholiques et les juifs.

Contrairement à toutes les autres écoles de pensée, vous ne trouverez ici l'analyse d'aucun auteur créationniste. En effet, à ma connaissance, *aucun* scientifique ayant une position officielle dans les sciences de la vie n'est créationniste. Et cela est tout à l'honneur de la science. Je suis convaincu que si demain quelqu'un offrait un million d'euros pour réaliser des expériences visant ouvertement à vérifier les thèses créationnistes, aucun scientifique des sciences de la vie ayant un poste au CNRS, à l'Inserm (ou dans un organisme étranger équivalent) ou professeur dans une grande université ne se présenterait. Faites la même chose pour des expériences visant à confirmer des thèses évolutionnistes non darwiniennes, et vous aurez des dizaines de candidats. Toute la différence est là...

Cela ne veut pas dire que les créationnistes soient en petit nombre. Des dizaines de sites créationnistes existent sur Internet¹ sur lesquels s'expriment des centaines de chercheurs, dotés en général de diplômes en biologie. Mais il s'agit de « chercheurs en circuit fermé » qui vivent dans leur monde, travaillent dans des instituts créationnistes, publient dans des revues créationnistes...

Cela dit et le décor des différentes écoles de pensée, planté, faisons connaissance avec quelques-uns des principaux acteurs de ce grand débat sur les causes de l'évolution.

1. Voir par exemple : www.icr.org ; www.answersingenesis.org ; www.creation-research.org ; www.reasons.org/index.shtml ; www.trueorigin.org

Bien entendu, je ne présenterai ici que deux ou trois personnes pour chaque école. Mon choix sera donc subjectif. Il le sera même doublement puisque la longueur des différentes présentations varie.

Darwiniens forts : la sélection, rien que la sélection

RICHARD DAWKINS, biologiste, professeur à Oxford, est incontestablement la figure de proue des ultradarwiniens. Il défend avec vigueur et passion le « tout-gradualisme » comme le « tout-génétique ». La thèse de son livre le plus célèbre *L'horloger aveugle* peut être résumée ainsi : quand nous voyons des organes complexes comme l'œil, ou d'autres caractères extraordinaires des êtres vivants, nous avons l'intuition qu'un architecte ou un « grand horloger » doit être à l'origine de leur conception. Mais c'est une illusion. Le processus aveugle de la sélection naturelle est capable d'accomplir tout cela seul sans aucune intentionnalité. « Une vision à 5 % vaut mieux que pas de vision du tout. Une audition à 5 % vaut mieux que pas d'audition du tout. Une aptitude au vol à 5 % vaut mieux que pas de vol du tout. Nous pouvons nous persuader sans restrictions que tout organe ou appareil dont nous constatons l'existence est le produit d'une trajectoire sans à-coups dans l'espace regroupant les formes animales possibles, trajectoire au cours de laquelle chaque stade intermédiaire a contribué à la survie et à la reproduction. Toutes les fois que nous avons un X dans un animal vivant réel, un X qui serait un organe trop complexe pour être né fortuitement d'un seul coup, alors selon la théorie de l'évolution par sélection naturelle, il faut dire qu'une fraction de X vaut mieux que pas d'X du tout, que deux fractions de X valent mieux qu'une, etc.¹ »

Il détaille avec soin l'évolution de l'œil depuis une simple cellule photosensible permettant à un protozoaire de se diriger vers la lumière jusqu'à des yeux comme les nôtres, en passant par des êtres ayant plusieurs cellules photosensibles regroupées dans une cuvette, puis par le nautilé qui a des yeux dont la structure se

1. Richard Dawkins, *L'horloger aveugle*, Robert Laffont, 1989, p. 115.

rapproche de la nôtre mais sans le moindre cristallin. Au plan théorique, il développe des « biomorphes », un programme informatique destiné à montrer la puissance du couple mutation-sélection. Partant d'un simple « Y », le programme ajoute des traits en fonction de mutations survenant dans des gènes qui contrôlent la façon de tracer les différents traits dans différentes directions. La sélection n'est pas naturelle. À chaque génération, Dawkins sélectionne, parmi les mutants, l'image qui lui paraît la plus prometteuse. En quelques centaines de générations, il obtient des formes ressemblant à des insectes, des grenouilles, des scorpions¹...

Quoiqu'il se défende d'être un extrémiste et de négliger les contraintes que la nature exerce sur le vivant (en décrivant un débat entre lui et un darwinien caricatural à propos de l'absence d'êtres possédant des ailes dans le dos comme des anges²), il est clair que, pour Dawkins, la sélection naturelle a un pouvoir de (quasi-) optimisation du vivant. Il nous raconte ainsi que Henri Ford, ayant fait réaliser une enquête sur les épaves de Ford T dans les casses automobiles, se rendit compte qu'une pièce, et une seule, ne cassait jamais. Il fit alors *diminuer* la qualité de cette pièce pour qu'elle casse tout comme les autres car cette qualité-là représentait un coût inutile pour la Ford T !

Dawkins nous dit explicitement que la sélection naturelle est capable d'optimiser les organismes de cette façon : « Imaginons que nous ordonnions une enquête sur les cadavres de singes afin de recenser la fréquence de rupture de tel ou tel os. Imaginons que l'on constate que tous les os se fracturent à un moment ou à un autre avec une exception cependant : le péroné [...] Ford ordonnerait qu'on refasse un péroné répondant à des spécifications inférieures et c'est exactement ce que ferait la sélection naturelle. Les individus mutants avec un péroné moins résistant – donc consommant moins de calcium lors de sa croissance – peuvent utiliser le calcium ainsi économisé à épaissir d'autres os du corps [...] ou à produire plus de lait pour élever des enfants plus tôt³. »

Dawkins critique le saltationnisme parce que toutes les mutations ayant lieu par hasard, un grand saut dans « l'espace des formes animales possibles » ne peut se conclure que par la mort,

1. *Ibid.*, p. 77-92.

2. *Ibid.*, p. 357-360.

3. Richard Dawkins, *Le fleuve de la vie*, Hachette, 1997, p. 141-142.

sauf cas très improbable¹. Il en profite pour attaquer frontalement Stephen Jay Gould (cf. p. 225-235 pour les idées de Gould).

Sa foi dans le darwinisme est telle qu'il nous dit : « La théorie de l'évolution par sélection naturelle cumulative est la seule théorie que nous connaissons qui soit en principe capable d'expliquer l'existence de la complexité organisée. Même si elle était démentie par les faits, elle serait encore la meilleure théorie disponible². » La raison d'une telle adhésion est, selon lui, due à « la misère des théories concurrentes ».

Mais Dawkins est également connu pour son réductionnisme biologique et sa fameuse formule du « gène égoïste » selon laquelle « l'homme est le moyen trouvé par les gènes pour produire d'autres gènes ». « Ils [les gènes] sont en vous et moi. Ils nous ont créés corps et âme, et leur préservation est l'unique raison de notre existence³. » Pour lui, ce ne sont pas des organismes qui sont sélectionnés par la sélection naturelle, mais des gènes. On entre ici dans le domaine de la sociobiologie. Les femelles de perdrix qui élèvent leurs petits à même le sol se sacrifient quand un prédateur se dirige vers leur nid pour détourner son attention. Pour la sociobiologie, ce comportement altruiste est commandé par un gène : les perdrix qui en sont pourvues ont plus souvent sauvé leurs petits que celles qui en sont dépourvues, et ce gène-là s'est répandu dans la population. La perdrix se sacrifie, sans le savoir, pour ce gène et non pour ses petits. C'est là l'essence même de la théorie du gène égoïste. Nous sommes déterminés par nos gènes à avoir des comportements quasi optimaux pour *leur* survie, non pas forcément pour la nôtre !

Ainsi, le biologiste John B.S. Haldane disait-il : « Je me sacrifierais sans hésiter pour sauver trois frères ou huit cousins. » Car dans trois frères, on retrouve 150 % des gènes dont nous sommes porteurs puisque deux frères partagent 50 % de leurs gènes. Il est néanmoins intéressant de noter que Dawkins lui-même cite⁴ une lettre de Haldane rapportant que « les deux fois où [il] a dû sauver quelqu'un de la noyade, il n'a pas eu le temps de se livrer à de tels calculs » (du pourcentage de ses gènes présents dans les noyés potentiels). Heureusement pour ceux qu'il a secourus !

1. Richard Dawkins, *L'horloger aveugle*, op. cit., p. 262-277.

2. *Ibid.*, p. 367.

3. Richard Dawkins, *Le gène égoïste*, Armand Colin, 1990, p. 20.

4. *Ibid.*, p. 96.

Dawkins est également connu pour son athéisme radical. Il nous dit que « l'Univers que nous observons a exactement les propriétés auxquelles on peut s'attendre s'il n'y a, à l'origine, ni plan, ni finalité, ni mal, ni bien, rien que l'indifférence aveugle et sans pitié¹ ».

Il analyse la « fonction d'utilité de Dieu » : « On appelle fonction d'utilité ce que l'on cherche à maximiser. Par exemple, l'analyse de la politique d'un gouvernement peut amener à conclure que sa fonction d'utilité consiste à maximiser les revenus de sa population à long terme et non à court terme, ou la réduction de la dette, ou bien encore la qualité de l'éducation. Qu'est-ce que Dieu, si l'on suppose qu'il existe, cherche donc à faire ? L'analyse du guépard montre qu'il est conçu pour tuer un maximum d'antilopes. L'analyse de l'antilope montre qu'elle est conçue pour échapper au guépard. Alors à quel jeu pervers joue donc Dieu² ? » Bien sûr, avant Darwin, on ne pouvait pas expliquer comment la complexité extraordinaire des êtres vivants avait pu apparaître sans un grand horloger. Ainsi, c'est grâce à Darwin que l'athéisme a pu être une « solution pleinement satisfaisante pour l'intellect³ ».

Dawkins n'est pas comme ces athées pour lesquels Dieu est une question sans importance et qui se contentent de ne pas évoquer ce sujet. Au cours de ses conférences, il fait souvent référence à Dieu pour mieux combattre son existence.

Comme, à l'issue d'un débat entre Dawkins et Brian Goodwin (cf. p. 246 pour les idées de Goodwin), je faisais à sa femme la remarque suivante :

« Votre mari parle beaucoup de Dieu. On dirait qu'il en a peur et qu'il veut l'exorciser. »

Elle me fit cette mémorable réponse :

« Mon mari n'a pas peur de Dieu, mais Lui doit avoir peur de mon mari ! »

EDWARD WILSON, éthologiste, spécialiste des insectes sociaux, professeur à Harvard, est l'auteur de *La sociobiologie*⁴, énorme ouvrage qui, des sociétés animales jusqu'aux sociétés humaines, tente de donner la vision la plus complète possible

1. Richard Dawkins, *Le fleuve de la vie*, op. cit., p. 150.

2. *Ibid.*, p. 123.

3. *Ibid.*, p. 21.

4. Edward Wilson, *La sociobiologie*, op. cit.

du déterminisme génétique et d'illustrer la formule que nous avons déjà rencontrée chez Dawkins : « L'organisme n'est que le moyen inventé par l'ADN pour produire plus d'ADN. » Si Wilson n'a aucune difficulté à expliquer l'altruisme chez les insectes sociaux, il lui paraît néanmoins plus difficile d'expliquer l'altruisme qui amène quelqu'un à risquer sa vie pour un inconnu.

Wilson fait alors appel à la « sélection de groupe ». Certaines populations possèdent un gène provoquant un comportement d'altruisme réciproque : « Je risque ma vie pour un inconnu mais quand je serai en danger, un autre inconnu risquera sa vie pour moi. » Confrontées à des populations dépourvues de ce gène, les populations possédant « le gène de l'altruisme réciproque » vont l'emporter, étant plus solidaires. Voilà pourquoi aujourd'hui toutes les civilisations humaines pratiquent l'altruisme réciproque : celles qui ne le pratiquaient pas ont été éliminées par la sélection naturelle.

Ainsi, pour Wilson, tous les traits de notre comportement ont été sélectionnés parce qu'ils représentent un avantage pour le groupe dans lequel ce comportement est apparu. À terme, la sociologie ne sera donc plus qu'une branche de la biologie, d'où le terme de sociobiologie. Wilson applique également ses idées à la religion.

« Le paradoxe éternel de la religion est qu'elle conserve une force dans toutes les sociétés en dépit du fait qu'il est aisé de démontrer que la majeure partie de sa substance est fausse. Les hommes préfèrent croire que savoir¹. » Cela pourrait sembler un handicap, mais en fait cela renforce la cohésion morale de la société : parées du prestige que donne la religion, des règles morales telles que les Dix Commandements ont beaucoup plus de poids. Les gènes suscitant, chez l'homme, la croyance en Dieu ont donc été sélectionnés par la sélection naturelle (des travaux récents évoquent d'ailleurs le « gène de Dieu » et développent la thèse selon laquelle notre cerveau serait câblé pour la croyance en Dieu²).

De la même façon, nous sommes programmés pour l'endoctrinement : « Il est absolument aisé d'endoctriner les êtres humains.

1. *Ibid.*, p. 553.

2. Andrew Newberg, Eugène d'Aquili, Vince Rause, *Pourquoi Dieu ne disparaîtra pas : quand la science explique la religion*, Sully, Vannes, 2003 (*Why God won't go away : brain science and the biology of belief*, Ballantine Books).

Ils ne demandent que cela [...] Quand la conformité devient trop faible, les groupes s'éteignent. Les individualistes s'attribuant tous les avantages et se développant au détriment des autres. Cela accélère la vulnérabilité de la société et précipite son extinction. Les sociétés contenant des fréquences élevées de gènes de conformité remplacent celles qui disparaissent, augmentant la fréquence du gène dans la population globale¹. »

Mais alors qu'en est-il de l'homosexualité me demanderez-vous ? Même raisonnement ! Même si les homosexuels ne se reproduisent pas (ce qui *a priori* conduit à la disparition de leurs gènes), leur présence peut être bénéfique au groupe et cela favorise les populations dans lesquelles ce gène subsiste à l'état latent. « Les membres homosexuels des sociétés primitives ont peut-être joué le rôle d'auxiliaires [...] Libérés des obligations parentales, ils pourraient s'être avérés utiles en tant qu'auxiliaires de leurs proches². » Il est vrai que quelques lignes plus bas, Wilson prend la précaution d'ajouter : « Il demeure à préciser si de tels gènes existent réellement. » Il n'a pas eu cette prudence quand il a écrit : « Dans les communautés vivant de chasse et de cueillette, l'homme chasse et la femme reste à la maison. Cette tendance persiste dans presque toutes les sociétés agricoles et industrielles et, sur ce plan, semble avoir une origine génétique [...] Même avec une éducation identique et la liberté d'accès à toutes les professions pour les femmes, il est probable que les hommes continueront à jouer un rôle plus important dans la vie politique, les affaires et la science³. »

DANIEL DENNETT n'est pas un scientifique, c'est un philosophe spécialisé dans les sciences cognitives, professeur à l'université de Tufts (États-Unis). À partir de réflexions sur le cerveau et la conscience (que nous retrouverons au chapitre 13), il a été amené à écrire un ouvrage de synthèse⁴ considéré comme une des meilleures présentations du « darwinisme fort⁵ ».

Pour lui, l'idée centrale de Darwin est que l'évolution est un algorithme, un processus aveugle, mécanique, que Darwin a nommé la sélection naturelle. Dennett insiste énormément sur

1. Edward Wilson, *La sociobiologie*, op. cit., p. 555.

2. *Ibid.*, p. 541.

3. *New York Times*, 12 octobre 1975.

4. Daniel Dennett, *Darwin est-il dangereux ?*, Odile Jacob, 2000.

5. *New York Times*, 12 octobre 1975.

cette idée d'algorithme. D'habitude, dit-il, les algorithmes font des choses simples, mais dans la nature, toutes les caractéristiques que nous observons ont été créées par l'algorithme darwinien : « Le processus sous-jacent ne consiste en rien d'autre qu'en un ensemble d'étapes individuellement aveugles qui se suivent sans l'aide de la moindre direction intelligente » (p. 68). « Que vous les aimiez ou pas, des phénomènes comme celui-ci manifestent le cœur du pouvoir de l'idée darwinienne. Une petite machinerie moléculaire est la source ultime de tout l'agir, donc de la signification et donc de la conscience dans l'Univers » (p. 232).

Enthousiasmé par cette vision selon laquelle le simple pourrait créer le complexe et qui stipule que toutes les formes de la nature seraient le résultat d'un algorithme aveugle que personne n'a créé, Dennett compare ce qu'il appelle l'« idée dangereuse de Darwin » à un acide universel (p. 71).

Comme ce dernier, qui dissout tous les matériaux qu'il rencontre, l'idée de Darwin dissout tous les concepts qu'elle rencontre. Parmi ceux-ci, les idées platoniciennes ou les « essences » aristotéliennes. La notion d'« espèce naturelle » qui correspondait à une « essence » ou à une « idée », n'a pas de sens. On retrouve là, comme chez Dawkins, une conception gradualiste de l'évolution, dans laquelle on passe insensiblement d'une espèce à une autre et où une espèce elle-même est un agrégat d'individus tous légèrement différents car porteurs de génomes en constante évolution.

Dennett a une telle confiance (aveugle !) dans le pouvoir de la sélection naturelle qu'il n'hésite pas à écrire : « Lorsque les savants sont confrontés avec ce qui apparaît comme une objection puissante contre l'hypothèse de sélection naturelle, ils sont conduits à raisonner ainsi : je ne peux pas encore imaginer comment on peut réfuter cette objection ou résoudre cette difficulté, mais puisque je ne peux imaginer comment il pourrait y avoir une autre cause de ces effets que la sélection naturelle, je tiendrai pour acquis que l'objection est vide ; d'une manière ou d'une autre, la sélection naturelle doit suffire à expliquer ces effets » (p. 54).

Dennett est parfaitement conscient de l'énormité de ce qu'il vient d'écrire ! Il se justifie en disant que la sélection naturelle a relevé tant de défis, remporté tant de succès, qu'« il est raisonnable de croire qu'une idée qui pourrait se révéler en dernière instance fausse aurait déjà succombé à une telle campagne obstinée de critiques. Ce n'est pas une démonstration probante, bien entendu, seulement une raison très convaincante » (p. 54). Cela est moins convaincant si l'on songe que la physique newtonienne résista trois cents ans à toutes

les attaques avant d'être remplacée par des concepts complètement différents ! Cela témoigne surtout d'une forme de blocage mental sur lequel nous reviendrons au chapitre 12.

Autre idée centrale chez Dennett, l'adaptationnisme. « Le raisonnement adaptationniste n'est pas une option que nous serions libres de choisir : c'est le cœur et l'âme de la biologie évolutionniste. Bien qu'il puisse être amélioré et amendé, songer à le déplacer de sa position centrale en biologie, ce n'est pas seulement imaginer la chute du darwinisme mais l'effondrement de la biochimie et de toutes les sciences sociales ainsi que de la médecine » (p. 273). Il compare l'adaptationnisme à de la « rétro-ingénierie » : lorsque les ingénieurs démontent le produit d'un concurrent, ils se posent des questions du type : « Pourquoi ce fil est-il aussi épais ? », « Pourquoi avoir utilisé ce type d'alliage à cet endroit ? », etc. Certes, Dennett admet que, parfois, il n'y a pas de réponse à la question, c'est par hasard que telle ou telle solution a été choisie. Mais dans l'immense majorité des cas, il y a une réponse. De la même façon, quand nous regardons les différentes caractéristiques d'un être vivant, dans l'immense majorité des cas, elles ne sont pas là par hasard, elles sont des adaptations de l'organisme à telles ou telles conditions de vie de ses ancêtres.

Il est important de comprendre pourquoi ce raisonnement « adaptationniste » est si essentiel pour les darwiniens forts. Pour eux, la sélection naturelle est extrêmement efficace, elle est capable de susciter des adaptations extraordinaires à partir de mutations dues au seul hasard, mais se révélant avantageuses pour l'organisme dans certains contextes. Donc, la plupart des caractéristiques d'un être vivant *doivent être* le résultat d'adaptations.

Dennett a également créé le concept de « grues » et de « crochets célestes » (*skyhook*). Les grues sont des engins permettant de transporter des objets d'un point à un autre. Dans l'histoire de l'évolution de la vie, ce seront des mécanismes physiques permettant aux espèces de franchir des « distances évolutives » importantes qu'elles ne pourraient pas franchir par le biais de mécanismes normaux. Les mutations des gènes de régulation (voir page 254) pourraient être un exemple de telles « grues ».

Les « crochets célestes » sont des engins mythiques, miraculeux et impossibles, suspendus dans le vide. Dennett accuse en permanence les non-darwiniens et les tenants d'une vision non réductionniste de la conscience d'être à la recherche de « crochets célestes ».

Enfin, en ce qui concerne les religions, l'« idée dangereuse » de Darwin menace d'être tout aussi toxique pour elles que la civilisation moderne l'est pour les grands mammifères tels que les éléphants, justement parce qu'elle est un acide universel capable de tout dissoudre. Il faut sauver les éléphants, nous dit Dennett, mais pas à n'importe quel prix. De même faut-il sauver les religions, mais pas en acceptant d'elles n'importe quoi. « La sécurité exige que les religions soient mises en cage lorsque c'est absolument nécessaire. Nous ne pouvons tout simplement pas accepter l'excision forcée des femmes, et le statut de seconde zone qu'elles ont dans le catholicisme romain, le mormonisme, pour ne rien dire de leur statut dans l'Islam » (p. 597).

La même logique doit pousser à interdire l'enseignement du créationnisme dans les écoles chrétiennes privées aux États-Unis (Dennett est assez subtil pour ne pas proposer d'interdire la critique du darwinisme dans l'enseignement bien qu'il semble n'en être pas très loin). La meilleure place pour les religions se situe donc... dans les zoos (ce n'est pas une plaisanterie !) : « Que dire alors de toutes les gloires de nos traditions religieuses ? Il faut assurément les préserver, comme il faut préserver les langages, l'art, les costumes, les rituels, les monuments. On considère de plus en plus les zoos aujourd'hui comme des havres de seconde classe pour des espèces en danger, mais au moins, ces havres existent et ce qu'ils préservent est irremplaçable [...] Que se passera-t-il, peut-on se demander, si la religion se trouve préservée dans des zoos culturels, dans des bibliothèques, dans des concerts et des manifestations ? Cela arrive déjà : les touristes s'agglutinent pour assister aux danses tribales des Indiens d'Amérique, et pour les spectateurs, c'est du folklore, une cérémonie religieuse qu'il faut assurément traiter avec respect » (p. 601).

Il y a, bien sûr, de nombreux autres darwiniens forts : Ernst Mayr¹, John Maynard Smith², Mark Ridley³ ou, en France, Maxime Lamothe⁴, Michel Delsol⁵, sans parler des « glorieux

1. Ernst Mayr, *La biologie de l'évolution*, Hermann, 1981.

2. John Maynard Smith, *La biologie*, Belin, 1980.

3. Mark Ridley, *L'évolution*, Belin, 1989.

4. Maxime Lamothe, *Théorie actuelle de l'évolution*, Hachette, 1994.

5. Michel Delsol, Philippe Sentis, Janine Flatin, *L'évolution biologique en vingt propositions*, Vrin, 1991.

ancêtres » que sont Jacques Monod¹ et François Jacob², mais ils n'apportent rien de fondamentalement nouveau aux présentations que Dawkins et Dennett font du darwinisme.

Les darwiniens faibles : prédominance du hasard

STEPHEN JAY GOULD restera certainement l'un des grands spécialistes de la théorie de l'évolution du XX^e siècle. Cela, non seulement parce qu'il fut un auteur prolifique et un grand pédagogue (les nombreuses histoires qu'il racontait à ses lecteurs pour faire partager ses conceptions de l'évolution ne portaient pas seulement sur des anomalies biologiques – comme le « pouce du panda » – mais également sur l'histoire du base-ball, l'évolution de la taille des barres de chocolat ou de la figure de Mickey !), mais aussi parce qu'il fut à la base de deux révolutions des conceptions darwiniennes (ses adversaires diront qu'il s'agit de simples « adaptations » et cela d'autant plus que ses adversaires sont les adaptationnistes !).

La première révolution commence en 1972, lorsqu'il publie un article avec Niles Eldredge dans lequel apparaît la notion d'« équilibres ponctués³ ». Comme le rappelle Gould, « selon Darwin, les ancêtres et leurs descendants doivent être reliés par une infinité de liens transitoires qui forment une belle succession d'étapes progressives⁴ ».

C'est le fameux problème des « chaînons manquants » dans les « archives » que nous ont laissées les couches paléontologiques. Gould n'hésite pas à écrire : « L'extrême rareté des formes fossiles transitoires reste le secret professionnel de la paléontologie. Les arbres généalogiques des lignées de l'évolution qui ornent nos manuels n'ont de données qu'aux extrémités et aux nœuds de leurs branches ; le reste est constitué de déductions, certes plausibles, mais aucun fossile ne vient les confirmer⁵. »

1. Jacques Monod, *Le hasard et la nécessité*, op. cit.

2. François Jacob, *Le jeu des possibles*, Fayard, 1981.

3. Niles Eldredge, Stephen Jay Gould « Punctuated equilibria : an alternative to phyletic gradualism » in *Models in paleobiology*, dirigé par T. J. M. Schopf, Freeman, Cooper and co, 1972, p. 82-115.

4. Stephen Jay Gould, *Le pouce du panda*, Grasset, 1980, p. 173.

5. *Ibid.*, p. 175.

Darwin et, à sa suite, les darwiniens forts ont toujours prétendu que cela était dû à l'incomplétude des documents fossiles. Seul le corps d'un individu se fossilise complètement pour un million ou plus d'individus ayant vécu sur terre. Mais « la nature ne fait pas de sauts », la vie est bien un long fleuve tranquille, les espèces évoluent graduellement, passant insensiblement de l'une à l'autre, ce qui fait que pour un darwinien fort comme Dennett, la notion d'espèce est suspecte puisqu'il ne saurait exister d'« essence » des espèces.

Seulement voilà, Gould confirme une affirmation qui fut centrale dans le discours de tous les antidarwiniens du passé, du présent... et du futur : la structure des fossiles déjà trouvés s'oppose au gradualisme.

« L'histoire de la plupart des espèces fossiles présente deux caractéristiques particulièrement incompatibles avec le gradualisme :

La stabilité : la plupart des espèces ne présentent aucun changement directionnel pendant toute la durée de leur présence sur terre. Les premiers fossiles que l'on possède ressemblent beaucoup aux derniers ; les changements morphologiques sont généralement limités et sans direction.

L'apparition soudaine : dans une zone donnée, une espèce n'apparaît pas progressivement à la suite de la transformation régulière de ses ancêtres ; elle surgit d'un seul coup et « complètement formée¹ ! » »

Le grand argument des darwiniens classiques – qui stipule que si les « chaînons manquants » ne se sont pas fossilisés, cela n'en empêche pas moins l'évolution d'être un phénomène graduel – ne tient plus. Le fait que les documents fossiles montrent une stabilité des espèces pendant de longues périodes et des changements brutaux pendant une courte période s'oppose clairement à une conception gradualiste de l'évolution, comme l'affirme Gould avec une force (et une honnêteté) qu'il faut d'autant plus saluer qu'elle est rare chez les darwiniens.

Est-ce à dire qu'il faille rejeter l'évolution et retourner à une conception créationniste dans laquelle les espèces sont déposées sur terre « complètement formées » par Dieu ? Les créationnistes américains n'ont pas manqué d'exploiter les propos de Gould pour servir leur thèse. Mais c'est aller un peu vite en besogne et

1. Stephen Jay Gould, *Le pouce du panda*, op. cit., p. 176.

c'est surtout une récupération malhonnête. Car c'est là qu'entre en jeu la notion d'« équilibres ponctués ».

Selon cette théorie, l'évolution ne se produirait jamais au sein de grandes populations mais au sein de petites, soumises à des contraintes très fortes. On dit qu'il y a alors « spéciation », passage d'une espèce à une autre. Pour Gould, le phénomène peut être très rapide (à l'échelle géologique) et ne prendre que quelques milliers, voire quelques centaines d'années pour qu'une espèce nouvelle apparaisse, se répande et « reconquière » le territoire qui était celui de ses ancêtres au détriment, parfois, de son espèce « mère ». Les changements se produisent sur un trop petit nombre de mutants et pendant une trop courte période pour que, sauf exception, l'évolution puisse être « prise sur le vif » par la fossilisation.

Les darwiniens forts ont essayé d'« annexer » cette idée en clamant qu'il n'y avait là que du darwinisme classique : des mutations triées par la sélection naturelle. Que le processus prenne mille ans au lieu de cent mille n'y change rien. La macroévolution, même accélérée, se fait avec les mêmes mécanismes que la microévolution et tout reste pour le mieux dans le meilleur des mondes darwiniens possibles. C'est la raison pour laquelle Dennett¹ et Dawkins passent beaucoup de temps à démontrer :

1. Que Gould n'a rien inventé.
2. Qu'il n'a pas dit ce qui serait radicalement nouveau et constituerait un blasphème épouvantable contre le darwinisme : que la nature fait vraiment des sauts.

En effet, même si les « équilibres ponctués » postulent un rythme du changement évolutif bien plus rapide, il s'agit toujours, à l'échelle humaine, d'un phénomène graduel. Gould lui-même le dit : « Vous ne remarqueriez vraisemblablement rien si pendant toute votre vie, vous observiez attentivement des abeilles en plein processus de spéciation². »

Donc, « la théorie des équilibres ponctués n'est pas une théorie de la macromutation³ ». Cela veut dire que lorsqu'on la regarde de haut, l'évolution semble faire des sauts, mais que « vue de près », elle n'en fait pas.

1. Voir Daniel Dennett, *Darwin est-il dangereux ?*, op. cit., p. 324 à 358.

2. Stephen Jay Gould, *Le pouce du panda*, op. cit., p. 178.

3. Stephen Jay Gould, « The meaning of punctuated equilibrium and its role in validating a hierarchical approach to macroevolution », in T. Milkman (dir.), *Perspectives on evolution*, Sunderland, Massachusetts, 1982, p. 83-104.

Néanmoins, le fait que la théorie des équilibres ponctués ne repose pas sur les macromutations n'interdit pas que de tels phénomènes, lors desquels apparaît un individu présentant des caractéristiques différentes de ses parents, existent. Et il est clair que Gould a fortement cru à leur existence comme le montre l'un des chapitres les plus fascinants de toute son œuvre : « Le retour du monstre prometteur¹ ». Gould tente de réhabiliter Richard Goldschmidt, généticien des années 1940. La tâche est lourde car Gould nous confie que « Big Brother, le tyran du roman de George Orwell, 1984, adressait ses deux minutes de haine quotidienne à Emmanuel Goldstein, l'ennemi du peuple. Lorsque j'étudiais la biologie de l'évolution à l'université, vers 1965, toute la dérision et les blâmes officiels se concentraient sur Richard Goldschmidt, célèbre généticien qui, nous disait-on, s'était écarté du droit chemin. Je suis néanmoins persuadé que, dans les dix ans qui viennent, c'est Goldschmidt qui sera réhabilité dans le monde de la biologie de l'évolution² ».

Quel crime terrible avait donc commis Goldschmidt ? Celui d'affirmer que les processus permettant la macroévolution n'étaient pas les mêmes que ceux qui se déroulent sous nos yeux et qui sont responsables de la microévolution. C'est ce que disent la majorité des non-darwiniens forts et il est important de noter au passage la violence des réactions que de telles positions peuvent susciter chez certains darwiniens. Ce qui était vrai dans les années 1960 l'est encore aujourd'hui.

La nature produit parfois des monstres mais, en général, ils ne sont pas viables. Toutefois, supposons qu'un monstre sur cent mille le soit. Il serait alors un « monstre prometteur » susceptible de s'adapter à un mode d'existence différent de celui de ses parents. Pour Goldschmidt, la macroévolution repose sur le succès, peu fréquent, de tels monstres prometteurs, et non sur les processus darwiniens classiques.

Pour Gould, il n'y a là rien de scandaleux : « En tant que darwinien, je souhaite apporter mon approbation au postulat suivant énoncé par Goldschmidt : la macroévolution n'est pas une simple extrapolation de la microévolution et les transitions de structure les plus importantes peuvent s'effectuer rapidement sans avoir été précédées par une longue série de phases intermédiaires [...] À quoi sert une moitié de mâchoire ou une moitié

1. Stephen Jay Gould, *Le pouce du panda*, op. cit., p. 180-187.

2. *Ibid.*, p. 180.

d'aile ? Le concept de préadaptation nous apporte une réponse classique en nous permettant d'affirmer que les phases naissantes remplissaient d'autres fonctions. La demi-aile a bien pu servir à attraper des proies ou à réguler la température du corps. Je considère la préadaptation comme un concept important, indispensable même. Mais une histoire plausible n'est pas nécessairement vraie. Je ne doute pas que la préadaptation puisse sauver le gradualisme dans certains cas mais nous permet-elle d'expliquer la continuité dans la plupart des cas ou dans tous les cas ? Je soutiens que non, bien que cette position ne reflète peut-être que mon manque d'imagination et j'invoque en ma faveur deux cas de changement discontinu qui furent exposés récemment. [Gould commente alors l'apparition de poches extérieures sur les joues de certains rongeurs et d'une articulation au milieu de la mâchoire supérieure – un phénomène unique chez les vertébrés – chez des serpents de l'île Maurice]. Ces faits [...] et d'autres cas similaires ont ruiné, il y a bien longtemps, ma foi dans le gradualisme¹. »

Et Gould finit le chapitre en citant un passage du célèbre traité *On growth and form* de D'Arcy Thompson : « Une courbe algébrique a sa formule fondamentale qui définit la famille à laquelle elle appartient. Nous ne pensons jamais à transformer un cercle en une courbe de fréquence. Il en va de même pour la forme des animaux. Nous ne pouvons pas transformer un invertébré en un vertébré [...] La nature passe d'un type à un autre. Chercher des marchepieds pour franchir les écarts séparant ces types, c'est chercher en vain, à jamais². » Il est donc clair pour Gould que certaines transitions sont soudaines et non pas graduelles. Pourquoi est-ce si important ? Parce que Daniel Dennett et Richard Dawkins passent beaucoup de temps à montrer que la seule action du hasard ne peut déboucher sur un « monstre prometteur ». Admettre l'existence de telles macromutations et leur faire jouer un rôle de premier plan dans l'évolution, c'est donc ouvrir une porte au « non-hasard », ce qui est intolérable pour les darwiniens forts. Gould se défend en affirmant que le hasard peut produire beaucoup plus de choses qu'on ne l'imagine.

Et c'est là que se place la deuxième révolution de Gould. Cette fois-ci en collaboration avec Richard Lewontin, il publie un article au titre étrange, article qui est l'un des plus cités en biologie de

1. *Ibid.*, p. 182-184.

2. Cité par Stephen Jay Gould, *Le pouce du panda*, *op. cit.*, p. 187.

l'évolution : « *The spandrels of San Marco and the panglossian paradigm : a critique of the "Adaptationist Programme"*¹. » Il s'agit d'une critique radicale de l'adaptationnisme qui, comme souvent avec Gould, utilise des exemples qui n'ont rien à voir avec la biologie. Ici, il s'agit des pendentifs de la basilique Saint-Marc à Venise. Lorsque vous construisez une coupole, elle doit reposer sur des piliers reliés entre eux par des arches. Un espace en forme de triangle (cf. figure 10.1) apparaît alors au sommet de chaque pilier.



Figure 10.1.

Pendentif soutenant la coupole d'une église.
Cette partie est nécessaire pour soutenir la voûte.
Elle n'existe donc pas pour elle-même.

C'est un « tympan » ou un « pendentif ». L'argument de Gould, c'est qu'il est impératif de remplir le vide qui est situé à cet endroit-là d'une façon ou d'une autre. Le pendentif n'existe pas parce qu'il apporte quelque chose de particulier à l'église mais simplement parce que l'existence de la coupole implique l'existence de ce genre de sous-produit. Pour Gould et Lewontin, les darwiniens forts nous racontent des histoires lorsqu'ils veulent expliquer la raison d'être de toutes les caractéristiques d'un organisme. Certaines caractéristiques n'ont pas plus de rai-

1. Stephen Jay Gould, Richard C. Lewontin, *Proceedings of the Royal Society London*, B 205, 1979, p. 581-98.

son d'être que les pendentifs de la basilique Saint-Marc. Elles existent en tant que sous-produits d'autres caractéristiques qui, elles, sont un atout pour l'organisme. Vouloir développer des raisonnements darwiniens visant à mettre en lumière l'atout apporté à l'organisme par ces *tympanes*, ce qui expliquerait les raisons pour lesquelles la sélection naturelle les aurait sélectionnés, est aussi absurde que les raisonnements du bon docteur Pangloss de Voltaire qui prétendait que « tout était pour le mieux dans le meilleur des mondes possibles ». Le terme *tympanes* pour désigner des organes qui ne sont pas des adaptations a fait fortune et est aujourd'hui largement répandu.

Cette façon, pour Gould, de minorer le rôle de la sélection naturelle implique logiquement la majoration du rôle du hasard et de la contingence dans l'évolution. Une autre idée provocante de Gould, c'est qu'il n'y a pas de véritable progrès vers plus de complexité au cours de l'évolution.

« Mais enfin, me direz-vous, même le biologiste le plus aveugle peut constater l'immense accroissement de complexité qui s'est produit entre la première cellule vivante et l'apparition de l'homme. » Pour Gould, il s'agit d'une illusion... Son argument de base est qu'il existe un « mur de la complexité minimale » (cf. figure 10.2).

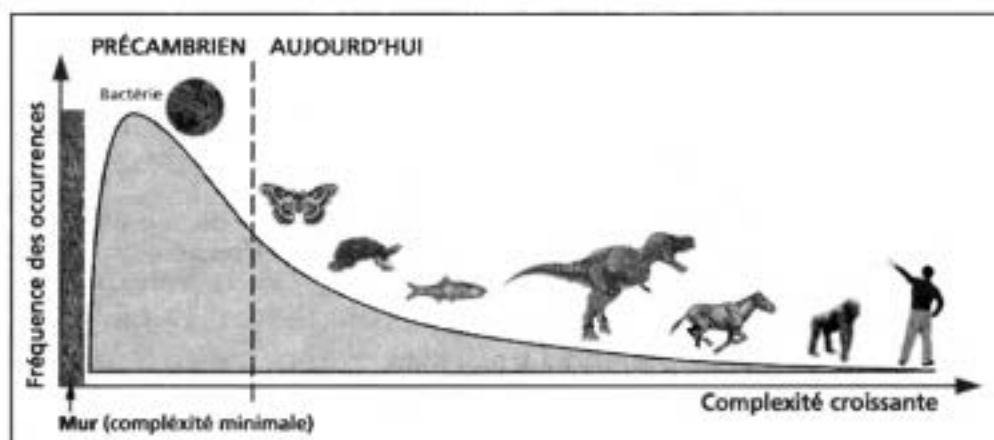


Figure 10.2.

Les bactéries sont assez proches de l'être vivant le moins complexe et le plus petit qui puisse théoriquement exister. Les bactéries ont toujours été la forme de vie dominante de la planète. Gould se lance dans une véritable ode aux bactéries, leur résistance (jusqu'à 150 °C et 10 kilomètres de profondeur), leur utilité,

leur diversité, leur invincibilité (il est impossible de les faire disparaître de la planète¹).

« La vie ne pouvant aller vers la "gauche" à cause du mur, elle n'a pu qu'évoluer vers la droite, vers plus de complexité. » Mais cela ne signifie rien : « Le fameux progrès dans l'histoire de la vie est ainsi un mouvement aléatoire éloignant les organismes de leurs minuscules ancêtres et non une impulsion unidirectionnelle vers une complexité fondamentalement avantageuse². »

Gould lutte avec énergie contre toute attribution à l'homme d'une place particulière dans l'Univers (au sommet d'une pyramide de la complexité) : « L'aile droite devait certes exister, mais les créatures qui la composent sont le fruit d'un processus totalement imprévisible, partiellement aléatoire et entièrement contingent et ne sont en rien prédéterminées par les mécanismes de l'évolution. Recommencez le jeu de la vie autant de fois qu'il vous plaira, en débutant près du mur de gauche et en laissant la diversification jouer son rôle d'expansion, vous obtiendrez presque toujours une aile droite ; mais lors de chaque nouvelle donne, les occupants de la zone de complexité maximale seront fantastiquement différents et totalement inattendus, et l'immense majorité de vos tentatives ne produira jamais une créature consciente. L'être humain est un pur produit du hasard et non le résultat inéluctable de la directionalité de la vie ou des mécanismes de l'évolution³. »

Gould répétera cette thèse de nombreuses fois. Pour lui donner une illustration pratique, il analyse dans un célèbre ouvrage la faune du site de Burgess au Canada. Là se trouve une extraordinaire collection d'invertébrés fossiles emprisonnés dans la pierre depuis cinq cent soixante-dix millions d'années. Elle contient à la fois les ancêtres des crustacés, des araignées, des insectes mais aussi une trentaine de types qui ne ressemblent à rien de connu. Parmi eux, *Anomalocaris*, 60 centimètres de long, ce qui est bien plus gros que tous les autres invertébrés de l'époque, ou l'incroyable *Hallucigenia* (cf. figure 10.3) et ses tentacules.

1. Stephen Jay Gould, *L'éventail du vivant*, Seuil, 1997, p. 215-241.

2. *Ibid.*, p. 213.

3. *Ibid.*, p. 216.

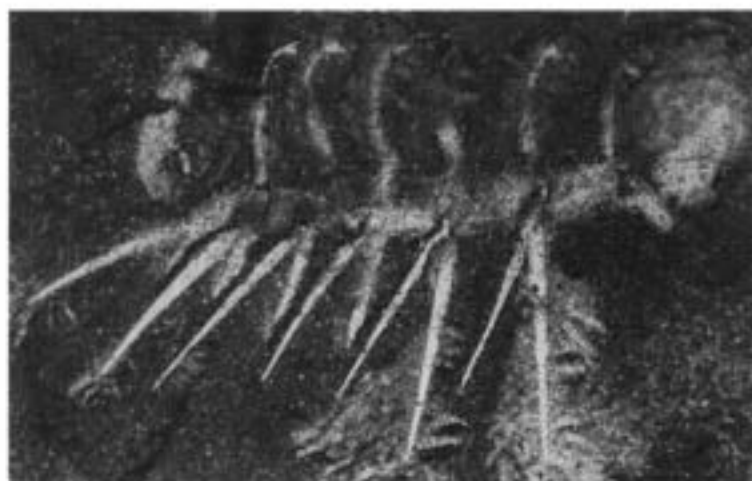


Figure 10.3.

© Simon Conway-Morris, université de Cambridge.
Hallucigenia ainsi nommée parce qu'elle est... hallucinante.

Or, ces êtres remarquables n'ont pas laissé de descendants, alors qu'il y avait aussi le *Pikaia*, *a priori* une espèce de ver (cf. figure 10.4).



Figure 10.4.

© Simon Conway-Morris, université de Cambridge.
Pikaia, notre ancêtre commun.

Mais il s'agit en fait du premier des chordés (il possède sur toute la longueur du dos une baguette qui est l'ancêtre de notre colonne vertébrale), ce qui fait de lui l'ancêtre de tous les vertébrés.

Pourquoi un organisme comme le *Pikaia* a-t-il survécu alors que des espèces *a priori* bien mieux armées que lui pour la lutte pour la vie comme *Hallucigenia* ou *Anomalocaris* ont disparu ?

Selon Stephen Jay Gould, il n'y a aucune raison particulière à cela, c'est le pur hasard qui est à la base de cette survie... sans

laquelle nous n'aurions jamais pu exister : « Pourquoi les hommes existent-ils ? [...] Parce que *Pikaia* a survécu à la décimation. Cette réponse n'invoque pas une seule loi de la nature, elle ne repose sur aucun raisonnement au sujet de la prédictibilité de certaines voies évolutives ni sur aucun calcul de probabilité basé sur l'écologie ou les règles générales de l'anatomie. La survie de *Pikaia* a été contingente ; elle a relevé du "rien de l'histoire"¹. » Ce qui permet à Gould de dire une fois de plus : « Ce type de thèse me conduit à conclure que l'aperçu le plus pénétrant que puisse donner la biologie de la nature humaine, du statut de l'homme et de ses potentialités réside dans cette phase, incarnant toute la contingence : *homo sapiens* est un détail dans l'histoire de la vie et n'en incarne pas une tendance². »

Cette misanthropie, cette volonté de réduire la place que l'homme occupe dans la biosphère, n'a pas empêché Gould d'être un défenseur des droits de l'homme. Il s'est élevé contre *La malmesure de l'homme*³, c'est-à-dire l'usage des données de la biologie, des tests de QI, et de toute argumentation pseudo-scientifique à des fins de racisme ou d'eugénisme. Il a combattu avec virulence la sociobiologie et les idées reposant sur le déterminisme génétique⁴. Bien qu'élevé dans une tradition marxiste, et étant agnostique, il a respecté la religion au point de consacrer un ouvrage aux relations entre science et religion⁵. Il y expose une thèse qu'il appelle le Noma (Non-empiètement des magistères). Le magistère de la science concerne le domaine empirique : en quoi consiste l'Univers (les faits) et pourquoi il fonctionne ainsi (la théorie). « Le magistère de la religion s'attache, lui, aux significations ultimes et aux valeurs morales. Ces deux magistères n'empiètent pas l'un sur l'autre⁶. »

À ce sujet, rappelons que Gould a été en pointe dans le combat des scientifiques contre l'enseignement de la « science de la création » dans les écoles américaines, qui visait à rendre obligatoire, en parallèle de l'enseignement des sciences de l'évolu-

1. *Ibid.*, p. 365.

2. *Ibid.*, p. 361.

3. Stephen Jay Gould, *La malmesure de l'homme : l'intelligence sous la toise des savants*, Ramsay, 1983.

4. Voir par exemple Stephen Jay Gould, *Darwin et les grandes énigmes de la vie*, Seuil, 1984, p. 215-289.

5. Stephen Jay Gould, *Et Dieu dit : que Darwin soit !*, Seuil, 2000.

6. *Ibid.*, p. 19.

tion, la présentation des pseudo-arguments scientifiques soutenant la crédibilité d'une lecture littérale de la Genèse (les hommes ont vécu avec les dinosaures, la vie sur terre n'a pas plus de 10 000 ans, etc.).

On comprend que la confrontation avec ces absurdités l'ait amené à militer contre tout mélange des genres, mais aussi à montrer aux tenants de la religion (qui ne sont pas, loin de là, tous créationnistes aux États-Unis) qu'il n'est en rien leur ennemi.

Mais ce principe de stricte séparation l'amène aussi à fustiger ce qu'il nomme le « syncrétisme », c'est-à-dire que des scientifiques d'un niveau équivalent au sien, s'appuyant sur des faits et des théories parfaitement admis par la communauté scientifique, puissent affirmer que le progrès des sciences donne non pas des preuves mais une crédibilité nouvelle à une conception non matérialiste du monde.

Devant les progrès (particulièrement nets pour vous qui êtes en train de lire ce livre) de cette école de pensée, Gould en perd son sang-froid et l'avoue : « Je trouve les arguments du syncrétisme si boiteux, si illogiques, si accrochés à un pur espoir, si chargés de principes et de certitudes du passé, que j'ai du mal à garder le visage impassible et la plume sereine¹. »

Trouver sous la plume de Gould des formules comme « étonnante stupidité », « métaphores brumeuses », « illogisme sommaire » pour qualifier des réflexions sur la physique quantique et le principe anthropique faites par ses pairs², et non des absurdités émises par des créationnistes n'ayant décroché qu'un doctorat en science, prouve, quand on sait à quel point il est d'habitude respectueux de ses adversaires, que, sciemment ou non, il sait que c'est des syncrétistes et non des créationnistes que peut venir la seule menace sérieuse pour son Noma.

La personnalité de Gould est telle parmi les darwiniens faibles, et les idées de ses collègues Eldredge³, Lewontin⁴, Stanley⁵ sont, sur les points essentiels, si proches des siennes que, pour décrire cette école de pensée, nous nous sommes exclusivement centré

1. *Ibid.*, p. 194.

2. *Ibid.*, p. 196.

3. Niles Eldredge, *Reinventing Darwin*, John Wiley & Sons, 1995.

4. Richard C. Lewontin, Steven Rose, Leon J. Kamin, *Not in our genes: biology, ideology and human nature*, Pantheon Books, 1984.

5. Steven Stanley, *The new evolutionary timetable*, Basic Books, 1981.

sur ses écrits. Mais il est intéressant de citer Richard Lewontin, pour découvrir la façon dont même un scientifique (théoriquement) ouvert peut avoir des *a priori* : « Nous avons un engagement préalable pour le matérialisme. Ce n'est pas que les méthodes ou les institutions scientifiques nous contraignent en aucune façon que ce soit d'accepter une explication d'ordre matériel du monde des phénomènes, mais c'est au contraire *notre adhésion préalable à la causalité matérielle* qui nous force à créer une méthode d'investigation et une série de concepts qui produisent des explications matérielles, quand bien même celles-ci s'opposeraient à notre intuition ou laisseraient perplexes les non-initiés. Le matérialisme est, de plus, absolu, en ce que nous ne pouvons accepter la moindre présence divine¹. »

Qu'il reconnaisse, avec une honnêteté rare qu'il faut souligner, que des savants comme lui (et on peut penser que son « nous » inclut Gould) s'engagent en faveur du matérialisme en raison d'un *a priori* idéologique et non de données scientifiques objectives, est d'une grande importance pour comprendre pourquoi les esprits s'échauffent lorsque l'on tente de réfléchir sereinement aux mécanismes de l'évolution.

Les non-darwiniens faibles : le hasard canalisé

On pourra s'étonner de trouver ici des scientifiques dont certains se présentent comme tout à fait darwiniens. Ce serait oublier que dans tout système de classification, les étiquettes sont collées selon les positions prises par les personnes, non en fonction de ce qu'elles disent d'elles-mêmes. Tony Blair peut, de bonne foi, affirmer qu'il est un homme de gauche puisqu'il est le chef du parti travailliste. Cependant, de nombreux commentateurs le classent parmi les hommes de droite en raison de sa politique économique, bien plus libérale que celle de nombreux gouvernements de droite. Un homme peut affirmer être un bon chrétien, arguant qu'il va à la messe tous les dimanches, ses amis ou sa femme sont en droit de ne pas

1. Richard Lewontin, *New York Review of books*, 9 janvier 1997.

le considérer comme un chrétien dans sa vie de tous les jours, etc.

Nous avons déjà vu que Gould et différents darwiniens considèrent que si l'on devait recommencer l'évolution, il serait bien improbable qu'elle produise de nouveau des êtres pourvus de conscience. Un plus grand nombre encore de darwiniens admettraient qu'un important argument des antidarwiniens repose sur l'existence de convergences se produisant au cours de l'évolution : « Les évolutionnistes anti-darwiniens ont toujours présenté le développement *répété* d'adaptations très similaires au sein de souches différentes comme un argument contre la notion pivot du darwinisme selon laquelle l'évolution se déroule sans plan et sans direction. Le fait que des organismes différents convergent à plusieurs reprises vers les mêmes solutions n'indique-t-il pas que certaines directions du changement sont préétablies et ne sont pas une conséquence de la sélection naturelle agissant sur la variation fortuite ? Ne devrions-nous pas considérer la forme répétée elle-même comme la cause finale de nombreux phénomènes évolutifs qui y conduisent¹ ? »

Bien entendu, les darwiniens savent parfaitement qu'il existe des tendances dans l'évolution. Le terme « orthosélection » a été formé pour désigner une action de la sélection agissant toujours dans la même direction sur une lignée (par exemple, l'augmentation de la taille).

Toute la question est donc de savoir quel type de répétabilité les mécanismes darwiniens alliés aux contraintes de l'environnement peuvent provoquer.

Les auteurs suivants argumentant avec force en faveur d'une *répétabilité* de l'évolution allant bien au-delà des limites de ce qui paraît acceptable pour les différentes écoles darwiniennes, il me paraît donc logiquement impossible de les classer parmi les darwiniens, tant cela est contraire à toutes les conceptions des darwiniens faibles ou forts que nous venons de décrire.

Pour CHRISTIAN DE DUVE (prix Nobel de médecine pour ses travaux sur la cellule), les lois biochimiques produisent des contraintes si strictes que le hasard est canalisé et que l'apparition de la vie – et même de la conscience – se produit nécessairement plusieurs fois dans l'Univers : « Selon la théorie que je défends, il

1. Stephen Jay Gould, *Le pouce du panda*, op. cit., p. 36.

est dans la nature même de la vie d'engendrer l'intelligence partout où (et dès que) les conditions requises sont réunies. La pensée consciente appartient au tableau cosmologique, non pas comme un quelconque épiphénomène propre à notre biosphère, mais comme une manifestation fondamentale de la matière. La pensée est engendrée et nourrie par le reste du cosmos¹. »

Christian de Duve est le plus « darwinien des non-darwiniens » dont nous analysons la pensée ici : en effet, pour lui, les mécanismes de l'évolution sont ceux postulés par les darwiniens. La différence vient du fait que, lorsque l'on regarde l'évolution au niveau global, on s'aperçoit que le jeu est « truqué » et que les lois de la biochimie doivent amener non seulement la production de la vie mais également (position encore bien plus audacieuse !) celle de la conscience. Comme le dit Christian de Duve en réponse à la célèbre phrase d'Einstein « Dieu ne joue pas aux dés », « Dieu joue aux dés, parce qu'il est sûr de gagner ! ».

C'est en cela que ses positions sont radicalement différentes de celles des darwiniens classiques tels que Jacques Monod ou François Jacob. Il s'oppose particulièrement à Gould et à son éloge des bactéries. Pour lui, il y a bien un progrès vers plus de complexité au cours de l'évolution. À la métaphore du « mur de la complexité minimale » de Gould, il oppose la métaphore de l'arbre. Recouvert de toutes ses feuilles, un arbre donne une impression « buissonnante », celle de partir dans toutes les directions, mais lorsqu'il est nu, on voit qu'il possède une structure centrale, un tronc qui s'élève verticalement quel que soit le nombre de branches latérales existantes. Pour Christian de Duve, l'évolution a bien cette structure-là, et l'humanité est située, pour l'instant, au sommet de l'arbre. Mais nous ne devons en tirer aucune fierté. En effet, cette position n'est que transitoire et, selon lui, des êtres bien plus évolués nous succéderont (ou apparaîtront sur d'autres planètes si nous disparaissions dans un cataclysme nucléaire).

Sur le plan philosophique, Christian de Duve affirme : « J'ai opté en faveur d'un univers signifiant et non vide de sens. Non pas parce que je désire qu'il en soit ainsi mais parce que c'est ainsi que j'interprète les données scientifiques dont nous disposons². » Ses conceptions semblent proches du panthéisme : son ouvrage est dédié « À la Vie » qui est pour lui « un impératif cos-

1. Christian de Duve, *Poussière de vie*, Fayard, 1996, p. 493.

2. *Ibid.*, p. 494.

mique ». Même si, de l'« extérieur », les conceptions de Christian de Duve semblent inciter à un certain finalisme (d'ailleurs, les ultradarwiniens ne manquent pas de l'attaquer sur ce point), lui-même rejette totalement cette notion. L'évolution n'est pas un processus aveugle mais un processus ouvert se dirigeant vers une fin qui n'est écrite nulle part. Un rapprochement avec la *process theology* anglo-saxonne, inspirée de Whitehead, et selon laquelle Dieu ayant créé la créativité de la nature, le résultat de l'évolution ne saurait être déterminé à l'avance, est ici possible.

SIMON CONWAY-MORRIS, professeur à Cambridge, est l'un des plus grands paléontologues actuels. Lui aussi se présente comme un darwinien : il n'y a pas d'autres mécanismes que les mécanismes darwiniens qui agissent dans la nature. Pourtant, il affirme : « Le but principal de cet ouvrage est de montrer que les contraintes qui s'exercent sur l'évolution et la présence de nombreux phénomènes de "convergence" rendent l'émergence de quelque chose comme nous à peu près inévitable¹. » La convergence dont parle Conway-Morris, c'est le fait que, au sein de l'évolution, de nombreuses voies conduisent à des résultats quasi identiques. S'il est normal que le requin, le dauphin et un reptile marin comme le plésiosaure aient des formes identiques (pour pouvoir nager, il vaut mieux être profilé !), rien n'explique la raison pour laquelle le poulpe et l'homme ont des yeux dont la structure est proche (à l'exception de l'orientation de la rétine), alors que leur ancêtre commun n'avait, lui, pas d'yeux. Ou la raison pour laquelle certains marsupiaux, en Australie, ont exactement la même structure de crâne que leur équivalent chez les mammifères placentaires².

En multipliant les exemples de « convergence », Conway-Morris cherche à montrer que, contrairement aux affirmations des darwiniens, l'ensemble de toutes les formes biologiques possibles est limité et que cette limitation exerce des contraintes très strictes sur l'évolution : « Le consensus actuel est que chaque espèce est le résultat d'un processus dû au hasard et qu'il y a un grand nombre de possibilités, probablement bien plus que le nombre de planètes habitables dans la galaxie. Selon une telle conception, il est très improbable que les habitants d'une planète

1. Simon Conway-Morris, *Life's solution*, Cambridge University Press, 2003, p. 328.

2. *Ibid.*, p. 131.

puissent ressembler à ceux d'une autre planète. Le phénomène de la convergence évolutionniste indique au contraire que le nombre d'alternatives est strictement limité [...] Si cela est correct, cela suggère que la façon dont l'évolution "navigue" vers une solution fonctionnelle particulière peut fournir la base d'une théorie plus générale de la biologie. Cette approche postule l'existence de quelque chose d'analogue à des "attracteurs" par lesquels les trajectoires évolutionnistes sont canalisées vers des formes fonctionnelles stables¹. »

Et il va jusqu'à affirmer (un point essentiel selon moi) : « Mon opinion est qu'un tel programme de recherche pourrait révéler un niveau plus profond de la biologie dans lequel l'évolution darwinienne resterait un concept central, mais où les formes fonctionnelles possibles sont prédéterminées depuis le big bang². »

Il est extraordinaire de voir des conceptions aussi éloignées du néodarwinisme (préexistence des formes fonctionnelles en tant que formes potentielles depuis le big bang, nécessité d'une nouvelle théorie en biologie, existence de quelque chose comme un attracteur pour canaliser l'évolution, apparition inévitable de quelque chose ressemblant aux êtres humains) défendues par l'un des plus grands paléontologues actuels (dont, ô ironie, le travail fut encensé par Gould dans son ouvrage *La vie est belle*) qui, par ailleurs, se présente comme étant encore darwinien ! Cela montre bien comment l'idéologie influence ce domaine. Vous devez vous prétendre néodarwinien, et ce, quelles que soient vos idées, sinon vous êtes sociologiquement et scientifiquement mort...

Conway-Morris est ici dans la même situation que Tycho Brahé qui avait bâti un modèle selon lequel les planètes tournaient autour du Soleil mais dans lequel la Terre... était encore au centre du monde. Contrairement à Copernic et Galilée, le système de Tycho Brahé ne fut jamais condamné. Sa diffusion permit certainement l'ouverture de nombreux esprits et l'évolution de nos conceptions de l'Univers. D'où l'importance des idées de Conway-Morris, qui peut aujourd'hui jouer le rôle d'un Tycho Brahé de l'évolution... en attendant l'arrivée d'un Galilée³ !

1. *Ibid.*, p. 309.

2. *Ibid.*, p. 309-310.

3. Le 7 janvier 2007, lors d'un séminaire du Faraday Institute à l'université de Cambridge, John H. Brooke, premier professeur à avoir occupé une chaire de science et religion à l'université d'Oxford, a lui aussi comparé Conway-Morris à un Tycho Brahé moderne.

STUART KAUFFMAN, biologiste et mathématicien au Santa Fe Institute, appartient à une école différente, celle de l'auto-organisation. Avec lui, on rencontre clairement le problème posé par l'existence du gradualisme dans *les positions* relatives à l'évolution (pas le gradualisme dans l'évolution elle-même, qui me paraît intenable comme nous le verrons au chapitre suivant !). Difficile de dire s'il est un non-darwinien faible ou un darwinien ultrafaible. Pourtant, certaines de ses positions s'écartent radicalement du darwinisme.

« Depuis Darwin, nous nous sommes tournés vers une seule force : la sélection naturelle [...] Sans elle, nous pensons qu'il n'y aurait rien d'autre qu'un désordre incohérent. Je vais argumenter dans ce livre que cette idée est fausse. Comme nous le verrons, les sciences de la complexité et de l'émergence suggèrent que l'ordre n'est pas un accident, qu'il existe de grands "gisements" d'ordres spontanés [...] L'étendue de ces ordres spontanés est bien plus grande que ce que nous avons pensé [...] L'existence d'ordres spontanés est un défi fantastique aux idées établies en biologie depuis Darwin [...] Si cela est vrai, quelle révision de la vision du monde darwinienne nous attend ! Nous ne sommes pas un accident, nous étions attendus. Mais la révision des conceptions darwiniennes ne sera pas facile. Les biologistes n'ont aucun cadre conceptuel dans lequel étudier un processus évolutionniste qui combine sélection et auto-organisation. Comment la sélection agit-elle sur des systèmes qui ont déjà un ordre spontané¹ ? »

L'expression « nous étions attendus » ne doit pas induire en erreur. Kauffman n'est pas finaliste et ne pense même pas que l'évolution se répéterait si les conditions étaient peu ou prou les mêmes, contrairement à Conway-Morris. Ce qu'il veut dire, c'est que les lois de la Nature font spontanément émerger des niveaux d'ordre complexes qui donnent à la sélection naturelle un « matériau de base » de tout autre nature que les mutations au hasard. Comme ces ordres s'enracinent dans les lois de la nature, cela nous permet de nous sentir de nouveau « chez nous dans l'Univers », alors que, selon lui, le darwinisme avait vidé le monde de toute signification : « Le paradis a été perdu non à cause du péché mais à cause de la science². »

1. Stuart Kauffman, *At home in the Universe*, Oxford University Press, 1995, p. 8.

2. *Ibid.*, p. 4, voir aussi p. 6-7.

Les non-darwiniens forts : au-delà du hasard et de la sélection naturelle

1. Répétabilité de l'évolution

MICHAEL DENTON, biochimiste et généticien, professeur à l'université d'Otago (Nouvelle-Zélande) spécialiste de la génétique des yeux, va, pour sa part, encore plus loin que Conway-Morris, qui déjà allait lui-même plus loin que Christian de Duve. Ses idées partent de conceptions comme celles de D'Arcy Thompson (voir page 258) qui expliquait que les formes biologiques n'étaient pas arbitraires mais épousaient des formes mathématiques complexes. Denton montre que c'est vrai pour les protéines, avec un article au titre évocateur, « Le repliement des protéines en tant que formes platoniciennes : un nouveau support pour la conception pré-darwinienne d'une évolution par lois naturelles¹ » illustrant la thèse selon laquelle les formes de protéines sont un « donné de la physique ». Les protéines se replient sur elles-mêmes. En théorie, elles pourraient le faire de très nombreuses façons différentes ; dans la pratique, il n'existe qu'un peu plus de mille formes de base pour les protéines. Il existerait donc une « structure sous-jacente aux protéines » comme c'est le cas pour les cristaux de neige qui ont toujours six branches. Cela amène Denton à postuler qu'au-delà des protéines, il peut en être de même pour les cellules, mais également pour les êtres vivants. L'existence de ces formes archétypales nous amène à concevoir une évolution guidée par les lois de la nature.

« La robustesse de certaines formes cytoplasmiques – telles que, par exemple, l'architecture du fuseau ou la forme cellulaire de protozoaires ciliés comme le stentor – suggère que ces formes représentent peut-être, elles aussi, des structures exceptionnellement stables et énergétiquement favorables, déterminées par les lois physiques. S'il s'avère qu'une quantité substantielle de formes biologiques supérieures est naturelle, alors les implications seront radicales et d'une grande portée. Cela voudra dire que les lois physiques ont dû avoir un rôle bien plus important dans l'évolution

1. Michael Denton, Craig Marshall, Michael Legge, « The protein folds as platonic forms : new support for the pre-Darwinian conception of evolution by natural laws », *Journal of Theoretical Biology*, 2002, p. 219, p. 325-342.

des formes biologiques qu'on ne l'imagine généralement. Et cela signifiera un retour à la conception pré-darwinienne selon laquelle, sous-tendant toute la diversité du vivant, un ensemble fini de formes naturelles réapparaîtra encore et toujours partout dans l'Univers où il y a de la vie à base de carbone¹. » Il est à noter que Conway-Morris soutient également une telle conclusion².

Par « retour à des conceptions pré-darwiniennes », Denton ne veut pas parler de conceptions non évolutionnistes, mais de conceptions déjà évolutionnistes comme celles des « morphologistes rationnels » tels qu'Étienne Geoffroy Saint-Hilaire pour lesquels, derrière toute la diversité de la vie, il y a des éléments de base assurant l'unité d'un type (par exemple, malgré leurs différences, les jambes des vertébrés terrestres obéissent à un principe commun. Pour ces scientifiques, leur unité ne peut pas être expliquée par le seul fait qu'elles proviennent d'un ancêtre commun. Les formes des organes obéissent à des critères rationnels et non uniquement aux lois de l'hérédité³).

L'ouvrage majeur de Denton *L'évolution a-t-elle un sens ?* s'inscrit dans la grande tradition anglaise des traités de « théologie naturelle » comme ceux de Bridgewater (huit ouvrages rédigés en 1830 par quelques-uns des plus éminents scientifiques de l'époque), de Lawrence Henderson sur l'adéquation parfaite entre l'environnement et la vie⁴, ou le fameux traité de William Paley dans lequel il affirme que si l'on tombe sur une montre, on est forcé d'admettre l'existence d'un horloger. Cela l'a desservi en France où certains, ignorant que la « théologie naturelle » part de l'observation du réel pour n'en tirer des conclusions théologiques qu'à la fin, ont pensé que ce n'était pas la peine de le lire puisque c'était un ouvrage de théologie et non de science.

Cela est gravement inexact. À part les quelques propos théologiques de conclusion que vous trouverez ci-après, l'ouvrage contient cinq cents pages purement scientifiques montrant que :

— Le carbone est de très loin le meilleur atome pour élaborer des systèmes complexes.

1. Michael Denton and Craig Marshall, « Laws of form revisited », *Nature* 2001, 22, 2001, p. 417.

2. Simon Conway-Morris, *Life's solution*, *op. cit.*, p. 11.

3. Vincent Fleury vient juste d'apporter des arguments extrêmement forts à de telles conceptions. Voir p. 305-309.

4. Lawrence Henderson, *The fitness of the environment : an inquiry into the biological significance of the properties of matter* [1913], Beacon Press, Boston MA, 1958, réédition.

— L'eau est de très loin le liquide le mieux adapté à la vie basée sur le carbone.

— Le bicarbonate est de très loin le meilleur tampon pour la vie à base de carbone.

— La seule région du spectre de la lumière du Soleil qui puisse traverser non seulement l'atmosphère, mais également l'eau est aussi celle qui est la plus utile pour la vie, etc.

« La thèse de la téléologie tire sa force de l'accumulation des arguments en sa faveur. Elle ne se fonde pas sur une seule preuve mais sur l'addition de toutes ces preuves ; sur la longue chaîne de coïncidences qui conduit de façon si convaincante vers l'objectif très particulier de la vie ; sur le fait que toutes ces preuves indépendantes s'emboîtent les unes dans les autres pour donner une magnifique totalité téléologique. Dans le domaine de l'évolution, la thèse se dégage également de l'addition des preuves. Prises une à une, ces preuves ne font que suggérer une possibilité ; mais considérées ensemble, elles donnent une image globale qui soutient fortement la notion d'évolution dirigée¹. »

Denton sait bien que ses détracteurs affirmeront que l'Univers doit nécessairement donner l'apparence d'avoir obéi à un projet, car si l'Univers n'était pas adapté à notre existence, nous ne serions pas là.

Mais si l'on peut soutenir une conception téléologique de la nature, « c'est en constatant que le cosmos est adapté à la vie non pas à un certain point mais optimalement² ».

Cette hypothèse d'une évolution dirigée est tout à fait scientifique et en rien religieuse ou philosophique (les opposants de Denton oublient en général ce point) parce qu'elle est poppérienne (c'est-à-dire réfutable). Pour la réfuter, il suffit de découvrir « un liquide alternatif aussi adéquat que l'eau pour la vie fondé sur le carbone, un moyen de construire un support de stockage de l'information génétique plus performant que la double hélice, un processus biochimique supérieur à l'oxydation, des structures plus performantes que les protéines, que la bicouche lipidique de la membrane, que le système cellulaire, que le bicarbonate, que les phosphates, etc.³ ».

1. Michael Denton, *L'évolution a-t-elle un sens ?*, Éditions Fayard, 1997, p. 516. *Nature's destiny. How the laws of biology reveal purpose in the Universe*, Free Press, 1998.

2. Michael Denton, *L'évolution a-t-elle un sens ?*, op. cit., p. 516.

3. Ibid., p. 517.

C'est seulement après tout cela que Denton en tire une conclusion qui, elle, est d'ordre théologique : « En raison de la doctrine de l'Incarnation qui impliquait que Dieu avait pris la forme humaine, aucune religion ne dépendait davantage de la notion d'une position absolument centrale et singulière de l'homme dans le cosmos que le christianisme. La vision anthropocentrique de la chrétienté médiévale est peut-être l'idée la plus extraordinaire que l'homme ait jamais formulée. C'est une théorie fondamentale et d'une prétention radicale. Aucune théorie humaine ne l'égale en audace puisqu'elle stipule que toute chose se rapporte à l'existence de l'homme [...] Quatre siècles après que la révolution scientifique eut paru détruire cette conception, bannir Aristote et rendre caduque toute spéculation téléologique, le flot incessant des découvertes s'est spectaculairement retourné en faveur de la téléologie. La science, qui depuis quatre cents ans semblait le grand allié de l'athéisme, est enfin devenue, en cette fin de II^e millénaire, ce que Newton et beaucoup de ses premiers partisans avaient ardemment souhaité : le défenseur de la foi anthropocentrique¹. »

C'est ainsi que l'on peut exorciser le « fantôme de Copernic ». L'homme n'est plus au centre de l'Univers au plan géographique mais retrouve, de façon plus subtile, une place centrale en tant que but de l'évolution de l'Univers. Si étonnant que cela puisse paraître à celui qui vient de lire ces lignes, Denton n'est nullement chrétien. Il ne fait que constater que la longue chaîne de coïncidences qu'il met au jour à travers les propriétés chimiques et biochimiques de la nature soutient un point central de la théologie chrétienne.

Ses travaux actuels portent sur la réhabilitation du vitalisme et la démonstration que les êtres vivants sont fondamentalement différents des machines.

« L'échec total du réductionnisme dans le domaine des êtres vivants et l'échec total des tentatives de fabriquer des nouvelles formes contrastent avec le domaine des machines. Pour les avions ou les machines à écrire, les propriétés et le comportement de l'ensemble peuvent être prédits de façon très précise d'"en bas" à partir d'une analyse complète de leurs composants. C'est parce que les composants des machines n'ont pas mis en place des interactions réciproques complexes et des *feed back* [...] À l'inverse, les systèmes organiques sont essentiellement des réalités allant du tout vers la partie (*top-down*). Les formes organiques

1. *Ibid.*, p. 522.

sont des totalités non modulaires, elles ont un ordre qui leur est propre et qui ne se manifeste que dans le fonctionnement du tout [...] Les ensembles organiques ne peuvent pas être bâtis morceau par morceau à partir de molécules indépendantes, parce que leurs parties n'existent qu'à travers la totalité¹. »

Ce qu'il est intéressant de noter, c'est qu'il s'agit pour lui d'une manière de réfuter à la fois le darwinisme et l'*Intelligent Design* qui dépendent tous deux de cette conception selon laquelle les organismes vivants seraient analogues à des machines.

2. L'auto-organisation

Pour BRIAN GOODWIN, professeur de biologie à l'Open University, plus encore que pour Stuart Kauffman, l'apparition de structures plus complexes serait due à une « propriété » émergente de la vie : « Depuis 1859, le mécanisme de la sélection naturelle et la survie du plus fort se sont imposés comme la seule thèse explicative de la vie sur terre. Les origines, les extinctions, les adaptations ont toutes été étudiées à travers le prisme du darwinisme. Or, une autre explication de l'origine et de la diversité des espèces existe. De même que la vision newtonnienne du monde a prédominé jusqu'à la révolution einsteinienne au XX^e siècle, le darwinisme doit-il être remplacé par une nouvelle théorie qui admette que la complexité est une qualité inhérente et émergente de la vie, et pas uniquement le résultat de mutations aléatoires et de la sélection naturelle. Les organismes sont aussi coopératifs qu'ils sont compétitifs, aussi altruistes qu'égoïstes, aussi créatifs et joueurs qu'ils sont destructifs et répétitifs². »

Brian Goodwin, lui aussi, mentionne les morphologistes rationnels prédarwinien et D'Arcy Thompson, et va jusqu'à souhaiter la réhabilitation de Goethe et le développement d'une science plus qualitative.

MAE WAN HO, maître de conférences en biologie à l'Open University, voit, elle aussi, comme beaucoup de tenants de l'auto-organisation, mais aussi comme Michael Denton, la vie comme échappant à toute démarche réductionniste : « La vie est un processus organisé global. La vie est un processus et non une chose,

1. Michael Denton, « *Organism and machine: the flawed analogy* » (www.kurzweilai.net/meme/frame.html?main=/articles/art0498.html).

2. Brian Goodwin, *How the leopard changed its spots*, Touchstone Books, 1996.

ni une propriété d'une chose matérielle ou une structure. Ainsi la vie doit se trouver dans les flux dynamiques de matière et d'énergie qui font que les organismes vivent, grandissent, se développent et évoluent. On peut donc constater que le "tout" n'est pas une entité isolée et monadique. C'est un système ouvert sur l'environnement qui se structure et s'organise, en se dépliant sur l'environnement externe, tout en "repliant" son potentiel dans des formes stables qui sont hautement reproductibles¹. »

L'un des mots les plus importants ici est celui d'émergence. Il n'y a aucune préexistence, même potentielle ou virtuelle, des formes complexes. Celles-ci émergent du processus du vivant car il est dans la nature même de ce processus de permettre cette émergence. Mae Wan Ho et Brian Goodwin sont clairement plus éloignés du darwinisme que Stuart Kauffman. Pour eux, les mécanismes darwiniens ne jouent pas le rôle principal dans l'évolution. Les formes plus complexes émergent dans la nature grâce à l'auto-organisation et non grâce à la sélection.

Sur le plan philosophique, les tenants de l'auto-organisation sont perçus, du moins en Europe, comme étant liés aux conceptions panthéistes ou animistes du monde. Et cela parce que la plupart des scientifiques de cette école de pensée partagent de telles conceptions (ou des conceptions bouddhistes comme Francisco Varela) et que la notion d'émergence permet de se passer d'un « premier moteur » au sens qui lui est donné par Aristote, ou de toute extériorité fondatrice. Néanmoins, il est à noter qu'un certain nombre de théologiens et philosophes (parmi lesquels Niels Gregersen et Philip Clayton) essaient de développer une conception chrétienne de l'émergence et de l'auto-organisation en s'appuyant, entre autres, sur des théologies du processus (*process*) inspirées de Whitehead et ils débattent avec des tenants de l'auto-organisation dans sa version panthéiste, tels que Terrence Deacon², pour affirmer l'existence d'une pluralité des conceptions dans ce domaine. Pensant sans doute que l'auto-organisation va s'imposer au XXI^e siècle comme un paradigme important, ils ne veulent pas que le christianisme en soit absent, même si le rapprochement des deux notions peut sembler problématique.

1. Mae Wan Ho, *The rainbow and the worm*, World scientific, 1998.

2. Terrence W. Deacon, *The symbolic species : the co-evolution of language and brain*, Norton and company, 1997.

3. Logiques internes

RÉMY CHAUVIN, professeur retraité de la Sorbonne, est éthologue. C'est l'un des grands spécialistes français des insectes sociaux. Poursuivant une tradition française qui fut défendue par un grand paléontologue comme Jean Piveteau ou par un grand zoologue comme Pierre-Paul Grassé, il est critique à l'égard du darwinisme et de la « toute-puissance » de la sélection naturelle ; en tant que spécialiste du comportement animal, il critique tout particulièrement la sociobiologie¹.

Voici un résumé des conceptions de Chauvin écrit avec le style provocant qui est le sien :

« — La vie se caractérise par l'énorme marge de sécurité, l'immense adaptabilité à des variations très étendues du milieu, la pluralité des solutions, également fonctionnelles pour un même problème.

— L'étroitesse de l'adaptation, c'est la mort ; les spécialisations raffinées des organes ne sont souvent que l'art pour l'art, développées sans nécessité.

— Il est impossible, sauf exception, de savoir si un dispositif organique est nuisible ou utile, ni jusqu'à quel point.

— Partout où existe un dispositif compliqué, on peut en trouver un autre plus simple, souvent à proximité immédiate, et qui ne paraît pas fonctionner plus mal.

— L'évolution s'intéresse au but à atteindre et non pas aux moyens qui peuvent varier indéfiniment (exemple : l'aile et le vol).

— Le néodarwinisme n'est qu'un ensemble de tautologies qui ne peuvent satisfaire que les âmes pieuses.

— Le milieu ne dirige pas grand-chose et autorise à peu près n'importe quoi. Il n'est sélectif que dans un petit nombre de cas tout à fait extrêmes.

— Les états supérieurs du psychisme autorisent tous les câblages et atteignent leurs sommets dans des organismes très différents.

— La direction générale du processus ressemble à une volonté diffuse dans tous les êtres animaux et végétaux, et qui les relie (par exemple l'orchidée et la guêpe qui la féconde). Il ne faut

1. Voir Rémy Chauvin, *Le darwinisme ou la fin d'un mythe*, Éditions du Rocher, 1997, p. 125-189.

pas gloser sur ce finalisme mais chercher comment s'exerce cette volonté diffuse. Des expériences sont possibles¹. »

Chauvin érige presque en loi le principe selon lequel les solutions très complexes présentées par les darwiniens comme un summum d'adaptation sont « concurrencées » par des solutions très simples remplissant les mêmes fonctions chez des organismes proches. Comme, par ailleurs, il montre que la sélection naturelle n'élimine pas certains animaux visiblement mal adaptés à leur environnement, cela lui permet d'affirmer que les explications darwiniennes fondées sur la toute-puissance de la sélection naturelle sont incohérentes.

Chauvin est finaliste sans aucun complexe et l'un des rares biologistes à donner ainsi tort à François Jacob qui disait : « La finalité est une femme avec laquelle un biologiste ne veut jamais être vu en public, mais dont il ne peut se passer ! »

Pour lui, l'évolution correspond à un programme interne qui se déroule. Mais ce n'est pas une simple pétition de principe. D'abord, il propose des expériences permettant de mettre en lumière l'existence d'un tel programme (nous y reviendrons au chapitre 12). Ensuite, son finalisme part de l'observation de la nature, du fait que l'évolution ne « revient pas en arrière » et que des tendances de fond s'y manifestent telles que le progrès du psychisme chez les insectes, les oiseaux, les poulpes et les mammifères, comme si quelque chose voulait se réaliser. Il reprend également l'idée développée aux États-Unis par Tom Bethell selon laquelle le darwinisme serait une tautologie (il prédit la survivance des mieux adaptés. Mais qui sont les mieux adaptés ? Ceux qui survivent !).

Les travaux d'ANNE DAMBRICOURT-MALASSÉ (chargée de recherche au CNRS, département de préhistoire du Muséum national d'histoire naturelle), ont déclenché en France un important débat sur la nature des processus qui surviennent au cours de l'évolution des primates ainsi que sur les mécanismes de l'évolution en général.

Ses travaux se décomposent en deux découvertes et une théorie.

La première découverte, c'est que la flexion de la base du crâne est liée à l'enroulement du tube neural (cf. figure 10.5) et que le degré de verticalisation qui en résulte chez les premiers hominidés n'est pas provoqué par la locomotion bipède comme on l'a toujours cru, mais par une augmentation de l'amplitude de cet enroulement.

1. Rémy Chauvin, *La biologie de l'esprit*, Éditions du Rocher, 1985, p. 19-20.

SOMMES-NOUS ICI PAR HASARD ?



Figure 10.5.

Une nouvelle compréhension de la bipédie.
La rotation du tube neural provoque
la « contraction cranio-faciale » et redresse le corps.

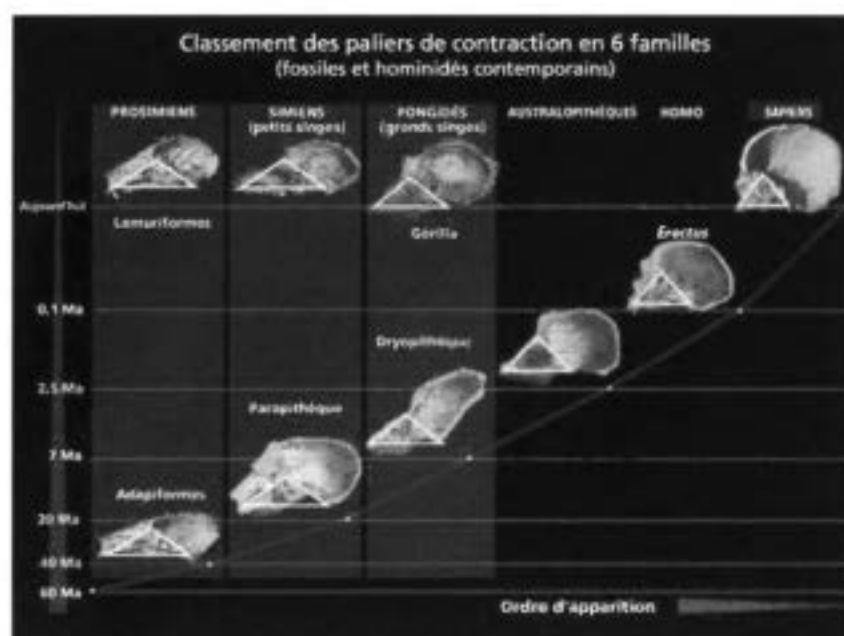


Figure 10.6.

Les six grandes étapes menant à nous.
Directivité et non-gradualisme dans l'évolution de la vie.

Plus ce tube s'enroule, dans les premiers stades embryonnaires, plus la flexion est importante. Le processus se répercute sur les tissus en connexion avec la base du crâne. Ces tensions font apparaître le petit vide symphysaire que nous avons tous au milieu du menton et qui n'existe chez aucun singe actuel. Il apparaît avec les australopithèques et pas avant.

Il s'agit de faits objectifs que chacun peut vérifier, et d'une grande importance pour notre compréhension de l'apparition des hominidés avec leur cou plus verticalisé et un retrait du prognathisme (c'est ce phénomène de contraction de la base du crâne et de recul de la face, qui, à force de se répéter, fait que nous sommes les seuls primates à avoir les dents sous le front au stade adulte).

Si la première découverte concerne l'origine embryonnaire de notre posture et de notre verticalité, la deuxième concerne les fossiles. Si l'on prend certaines mesures en trois dimensions sur les crânes des ancêtres de l'homme, ceux-ci se répartissent automatiquement en six grands groupes de primates actuels et fossiles (cf. figure 10.6), chacun correspondant à un « palier de contraction » embryonnaire.

À partir de ces découvertes, qui s'appuient sur des mesures, des angles et des trajectoires de croissance, Anne Dambricourt-Malassé cherche à écrire une théorie mathématique de l'évolution morphologique qui a mené à l'homme. Cette évolution représente une tendance continue, qui se répète, mais avec des discontinuités dans ses effets. On passe sans intermédiaire d'un palier de contraction embryonnaire à un autre, chaque palier correspondant à ce qu'elle a nommé « ontogenèse fondamentale ».

On parle aussi de « patron », de « *pattern* », ce qui est proche de la notion de forme archétypale. Le patron peut varier sans dépasser certaines limites (telles des berlines qui peuvent devenir des coupés ou des breaks tout en gardant la même base), et cette évolution à l'intérieur du patron peut être graduelle, darwinienne et contingente. En revanche, et contrairement au paradigme en vigueur, ce n'est pas ce type d'évolution qui est constaté entre un grand singe anthropoïde et un australopithèque, mais précisément l'apparition d'une nouvelle embryogenèse grâce à une refonte du plan d'organisation de la précédente.

La traduction mathématique des changements angulaires, qui permet de décrire ce processus, montre que les angles évoluent toujours dans le même sens, celui d'une « contraction cranio-faciale » avec un enroulement du tube neural plus important et une com-

plexification du système nerveux central toujours plus prononcée, le corps étant de plus en plus vertical et son équilibre de plus en plus complexe.

Avec un recul de soixante millions d'années, on voit alors se dégager un processus qui se lit à l'intérieur du crâne, qui est d'origine interne, et qui est transmissible par les voies de l'hérédité. Si les innombrables modifications de l'environnement agissent sur les espèces, elles n'altèrent cependant jamais ce processus interne fondamental. L'apport d'Anne Dambricourt est donc de montrer que des processus essentiels à l'œuvre dans l'évolution ne sont pas liés à la sélection naturelle¹. Cette évolution va aller en s'accélégrant de façon exponentielle. L'apparition d'une nouvelle ontogenèse nécessite moins de temps que l'apparition de celle dont elle est issue.

Anne Dambricourt conclut à l'existence de logiques internes, sensibles à des propriétés internes (qu'elle pense être d'origine quantique), et qui ne peuvent être expliquées par les modèles néodarwiniens dont le seul maître d'œuvre est la sélection naturelle exercée par l'environnement et agissant sur des gènes mutés. C'est en cela qu'elle rejoint de nombreux scientifiques qui ont toujours distingué la macroévolution (évolution permettant le passage d'un type à un autre) de la microévolution (multiples adaptations se déroulant à l'intérieur d'un type).

Une telle théorie, construite sur des découvertes et des connaissances qui vont au-delà de la génétique tout en l'intégrant, prend à contre-pied trois postulats fondamentaux du néodarwinisme : l'idée selon laquelle l'évolution obéit à des phénomènes imprévisibles, c'est-à-dire qu'elle n'est pas influencée par les évolutions qui ont pu se produire auparavant, qu'elle n'a pas de « mémoire ». Celle selon laquelle ce sont principalement les changements de l'environnement qui sélectionnent les changements anatomiques au cours de l'évolution. Et enfin, que ces modifications sont graduelles.

Mais tout en montrant les insuffisances du néodarwinisme, cette approche constitue l'une des meilleures preuves possibles de l'évolution, permettant de voir, si l'on ose dire, celle-ci en action.

1. Vincent Fleury a récemment donné une explication possible pour de tels processus. Voir son ouvrage *De l'œuf à l'éternité, le sens de l'évolution*, Flammarion, 2006, p. 206-242, et ici, chapitre 11, p. 305-309.

Pour ROSINE CHANDEBOIS, le développement des organismes vivants n'est pas codé dans l'ADN. En tant qu'embryologiste, elle a recensé des expériences montrant, selon elle, que ce serait le cytoplasme de l'œuf qui serait l'« architecte », tandis que l'ADN ne définirait que les matériaux employés pour la construction (le bois ici, le béton ailleurs, selon une de ses métaphores).

Ses conceptions, qui peuvent s'apparenter à un combat d'arrière-garde contre la toute-puissance de la biologie moléculaire, viennent trouver confirmation dans le travail réalisé par de jeunes chercheurs tels que Andras Paldi qui avance : « L'enjeu de la prochaine révolution génétique sera de redonner sa place à l'ADN dans l'énorme complexité d'interactions biochimiques du vivant. On ne le met plus sur un piédestal comme un dictateur qui dirige le déroulement de la vie... Je crois que l'on arrive à la fin d'une période de développement de la génétique. Elle a commencé au début du XX^e siècle et se caractérise par la notion clé du gène tout-puissant, selon laquelle les gènes contiennent l'information nécessaire et suffisante pour le développement d'un organisme vivant. On s'aperçoit que ce schéma explicatif a de plus en plus de mal à rendre compte des phénomènes héréditaires que l'on observe. » Il parle également de hasard « canalisé¹ ».

Pour Rosine Chandebois, l'évolution est l'exécution d'un programme initial qui se déroule depuis l'origine, à l'image du développement embryonnaire qui va de la première cellule jusqu'à l'organisme complet. « Le programme génétique de développement existe uniquement dans l'imagination collective des biologistes [...] Tous ces travaux nous amènent à la même conclusion : le programme de développement n'est pas écrit dans l'ADN ! Il est contenu dans le cytoplasme de l'œuf qui doit avoir une composition moléculaire particulière et, plus encore, une organisation appropriée. En d'autres termes, l'ADN ne commande rien, et n'est certainement pas l'architecte. Mais parce qu'il produit les matériaux pour la construction, il donne à l'organisme son originalité [...] L'arbre de la vie a été fabriqué à partir de la première cellule, de la même façon que l'arbre a été fabriqué à partir de la graine, exclusivement à travers des facteurs internes². »

1. Andras Paldi, « Les gènes n'expliquent pas tout le vivant », *Le Figaro*, 16 juillet 2002, p. 25.

2. Rosine Chandebois, *Pour en finir avec le darwinisme*, Éditions Espace 34, 1993.

Elle semble rejoindre là Michael Denton et a, en partie, inspiré Rémy Chauvin. Cependant, la différence réside dans le fait que, pour elle, l'existence d'un « programme » inhérent à l'évolution serait due à des facteurs internes agissant sur le cytoplasme de l'œuf. Ces idées sont, bien entendu, extrêmes mais la tendance actuelle consistant à insister sur le rôle de l'épigénétique plutôt que sur celui de la génétique (cf. les propos d'Andras Paldi) montre qu'elles sont loin d'être absurdes.

JEAN CHALINE est un paléontologue qui s'intéresse au développement des organismes, et tout particulièrement au nouveau domaine appelé « évo-dévo » qui fait le lien entre la génétique des organismes, leur développement embryonnaire et la paléontologie. Ce domaine repose, entre autres, sur les gènes de régulation (également appelés « gènes *hox* »), découverts par Edward B. Lewis et dont le rôle a été précisé par Walter Gehring et Denis Duboule. De tels gènes semblent contrôler l'architecture des organismes. Ainsi, chez la mouche drosophile, un mutant du gène *antennapedia* déclenche la formation de pattes à la place de la formation des antennes, et chez d'autres mutants, on obtient des mouches à quatre ailes.

Plus fort encore : le gène de régulation qui déclenche la formation de l'œil chez la mouche drosophile (*eyeless*) existe également chez la souris. Si l'on remplace dans le génome de la mouche le gène *eyeless* de la mouche par celui provenant de la souris... ce dernier va néanmoins provoquer la formation d'un œil de mouche ! Chaline se base sur l'existence de tels mécanismes élucidés depuis peu pour développer une vision globalement non graduelle de l'évolution, dans laquelle coexistent des sauts et des évolutions graduelles ayant lieu, elles, sous l'action de la sélection naturelle. Pour lui, la macroévolution proviendrait des mutations de ces gènes de régulation, tandis que les gènes classiques appelés « ouvriers » seraient, eux, à l'origine de la microévolution (les mutations classiques ayant un effet structurellement moins important). Cette nouvelle approche permet, selon Chaline, de réhabiliter les conceptions de Richard Goldschmidt (que nous avons déjà décrites) et une partie des conceptions de Pierre-Paul Grassé (que nous rencontrerons page 258).

Mais son travail le plus original est d'avoir essayé, avec l'aide d'un astrophysicien spécialiste de la relativité et des fractales, Laurent Nottale, auteur de la nouvelle théorie de la relativité d'échelle (cf. p. 194), et d'un économiste, Pierre Grou, d'appliquer cette

nouvelle théorie à l'évolution pour mettre en évidence l'existence d'une structuration fractale possible de l'évolution. Dans leur ouvrage commun¹ ainsi que dans la publication qu'ils ont présentée à l'Académie des sciences française², ils utilisent une loi d'évolution des systèmes critiques³ qui semblent gouverner à grande échelle l'évolution de la vie mais également celle de l'Univers et des sociétés humaines. La répartition des événements majeurs d'une lignée suit une loi log-périodique, ce qui rend possibles des « prédictions globales ». D'après cette loi, le prochain saut structurel au sein de notre propre espèce pourrait avoir lieu dans huit cent mille ans. Mais ce n'est pas une certitude car la contingence a aussi son mot à dire : ces lois sont essentiellement des « lois probabilistes », ce qui laisse une place importante au hasard.

Ainsi, ici aussi, il existe une contrainte interne d'origine génético-embryonnaire permettant à l'évolution d'être un phénomène en partie prédictible. Cependant, parmi les biologistes que nous avons regroupés dans cette école de pensée, Jean Chaline est le plus proche du darwinisme (ou plutôt d'un néo-darwinisme enrichi de nombreux concepts⁴) car sa conception de l'évolution au jour le jour attribue un rôle clé aux mutations se faisant par hasard, à la sélection naturelle qui retient ou élimine les résultats et à la contingence. Par ailleurs, il rejette toute finalité dans l'évolution et s'oppose à l'*Intelligent Design*⁵. Ce n'est que dans une vision à grande échelle de l'évolution qu'apparaissent des différences avec le darwinisme, désormais décrit grâce aux nouveaux outils fournis par l'évo-dévo et complété par l'intégration de la nouvelle théorie de la relativité d'échelle de Nottale. Selon Chaline, une révolution des conceptions est en cours.

1. Jean Chaline, Laurent Nottale, Pierre Grou, *Les cycles de l'évolution*, Hachette, 2000.

2. « L'arbre de la vie a-t-il une structure fractale ? », compte rendu de l'Académie des sciences n° 328 (Iia), 1999, p. 717-726.

3. Il s'agit d'une loi dite log-périodique avec des phases d'accélération ou de décélération par rapport à un temps critique spécifique des lignées ou systèmes étudiés.

4. Voir Jean Chaline, *Quoi de neuf depuis Darwin ?*, Ellipses, 2006, p. 259-270 et p. 323-340. Voir également Jean Chaline et Didier Marchand, *Les merveilles de l'évolution*, Presses universitaires, Dijon, 2002.

5. Il a également milité contre le créationnisme, entre autres en écrivant, sous un pseudonyme, un roman policier à clés dans lequel des créationnistes tentent de faire disparaître les fossiles prouvant la parenté entre l'homme et les singes !

4. Existence de macromutations « canalisées »

Dans cette catégorie, nous regroupons un certain nombre de scientifiques qui pensent que les mécanismes postulés par les théories néodarwiniennes ne peuvent expliquer la macroévolution, (c'est-à-dire le passage non d'une espèce à une autre mais d'une classe à une autre ou d'un ordre à un autre). Ils déduisent donc des faits observés en paléontologie, mais également de simulations informatiques et de calculs statistiques, que d'autres mécanismes ont dû exister dans le passé afin de permettre des transitions entre deux plans d'organisation. En effet, dans une telle vision, il faut raisonner non en terme d'espèces mais en terme de plans d'organisation. Ces mécanismes produisent des macromutations, concept qui fut développé pour la première fois, comme nous l'avons vu, par Richard Goldschmidt.

ROBERTO FONDI, paléontologue, professeur à l'université de Sienne, défend une position « organiciste » qu'il définit ainsi : « Le tout est plus que la somme des parties. La totalité détermine la nature des parties. On ne peut comprendre ces parties tant qu'on les considère isolément, sans référence à la totalité. Les parties sont dynamiquement reliées entre elles dans une interaction et une interdépendance incessantes. En conséquence, l'approche analytique, atomiste, caractéristique de la physique newtonienne classique se révèle inadéquate pour comprendre la vie dans son ensemble, ou dans ses différentes expressions animales ou végétales¹. » Pour Roberto Fondi, les genres n'apparaissent pas par hasard. Ils préexistent sous une forme potentielle. Les plans d'organisation sont ainsi la manifestation d'archétypes. L'évolution est discontinue, allant d'un archétype à l'autre. Roberto Fondi fait appel à la physique quantique pour suggérer la voie par laquelle des facteurs encore inconnus pourraient agir sur l'évolution.

GIUSEPPE SERMONTI, généticien, professeur à l'université de Pérouse, dirige la revue *Biologie Forum* et est le coauteur, avec Roberto Fondi, d'un ouvrage critique envers le darwinisme². Pour lui aussi, le passage d'un plan d'organisation à un autre (pas d'une

1. Roberto Fondi, *La révolution organiciste*, Livre Club du Labyrinthe, 1986.

2. Sermoni et Fondi, *Dopo Darwin*, Rusconi, Milan, 1980.

espèce à une autre car cette évolution-là relève de la microévolution et non de la macro) nécessite une macromutation qui ne peut être produite par des mécanismes darwiniens. Les découvertes génétiques ne confirment pas les théories darwiniennes car les mutations sont trop rarement positives. Sermoniti a provoqué un scandale en accusant les tenants du néodarwinisme contemporain de connaître parfaitement ce fait et donc d'être malhonnêtes en continuant à prêcher une théorie en laquelle, en privé, ils ne croient plus. Pour lui aussi, il y a bien une finalité dans l'évolution.

JEAN DORST, zoologue, membre de l'Académie des sciences française, ancien directeur du Muséum national d'histoire naturelle, décédé en août 2001, partageait également l'idée selon laquelle le néodarwinisme ne peut expliquer les grandes transitions qui ont eu lieu au cours de l'évolution. Il soulignait les insuffisances explicatives du darwinisme : « Le darwinien est comme un homme qui cherche un chat noir dans une pièce noire. Et qui crie qu'il a attrapé le chat... alors que le chat n'est pas dans la pièce¹. » Et il croyait en la finalité : « Je retrouve un ordre dans le déroulement de l'évolution du vivant. Les étapes successives de la conquête de la planète par les végétaux et les animaux s'inscrivent dans une perspective en quelque sorte "logique". Elles tendent vers un constant perfectionnement et de longues séquences d'adaptation particulières. Chaque stade est la suite et la conséquence du précédent. Aucun événement dû au seul hasard ne peut expliquer ce phénomène perceptible à travers toute l'évolution du vivant². »

MARCEL-PAUL SCHÜTZENBERGER, médecin, biologiste et mathématicien, membre de l'Académie des sciences, décédé en 1996, critiquait le darwinisme à partir de la théorie de l'information dont il était un des fondateurs. Pour lui, certains niveaux de complexité ne peuvent être atteints par des processus d'essais et d'erreurs, comme ceux postulés par le néodarwinisme. Certains darwiniens comme Richard Dawkins³ ont essayé, pour simuler l'évolution, de produire des algorithmes. Ainsi, des spécialistes de la simulation ont pu montrer que cette approche ne permettait pas de rendre compte du phénomène évolutif.

1. Interview par Jean Staune dans *Le Figaro Magazine* du 26 octobre 1991.

2. Jean Dorst, *Et si l'on parlait un peu de la vie ?*, Maisonneuve et Larose, 1999, p. 80.

3. Richard Dawkins, *L'horloger aveugle*, op. cit.

Cette approche est reprise actuellement en France par PIERRE PERRIER de l'Académie des sciences, spécialiste de la modélisation¹.

Je vais faire une brève exception à ma règle de ne présenter que des scientifiques actuels (ou récemment décédés comme Marcel-Paul Schützenberger et Jean Dorst) à cause de l'importante influence qu'ont eue les deux personnes dont les noms suivent.

PIERRE-PAUL GRASSÉ a été l'un des grands zoologues du XX^e siècle. Auteur d'un *Traité de zoologie* qui fait référence, il a occupé pendant trente ans la chaire d'évolution à la Sorbonne.

Voici un très bref résumé des idées exprimées dans son ouvrage majeur sur l'évolution², qui rassemble une grande partie des concepts non darwiniens présentés ici :

- L'évolution n'est pas un phénomène aléatoire.
- L'évolution n'est pas un phénomène continu.
- L'évolution n'est pas obligatoirement liée à une nécessité immédiate. Cela implique qu'elle n'est pas le produit de la sélection naturelle.

— L'évolution et la mutation sont deux phénomènes séparés : en effet certaines espèces mutent énormément sans évoluer.

Grassé a tout particulièrement étudié les tendances dans l'évolution (dont le passage des reptiles aux mammifères, voir page 302), et il en conclut : « La paléontologie révèle que les lignées issues d'une souche commune jouissent toutes d'une même tendance à réaliser une certaine forme, un certain type, mais à des degrés inégaux³. »

Nous avons déjà vu que D'ARCY THOMPSON (1860-1948), biologiste et mathématicien, a inspiré des auteurs aussi divers que Stephen Jay Gould, Michael Denton ou les tenants de l'auto-organisation. Son œuvre⁴ représente sans doute la plus importante tentative, au XX^e siècle, de réhabilitation du courant de morphologie rationnelle auquel nous avons fait allusion à plusieurs reprises.

1. Pierre Perrier, « Que nous apprend l'analyse mathématique de la micro et de la macroévolution ? » in *Evoluzione : crocevia di scienza, filosofia e teologia*, sous la direction de Rafael Pascual, Éditions Studium, Rome, 2005, p. 149-197.

2. Pierre-Paul Grassé, *L'évolution du vivant*, Albin Michel, 1973.

3. *Ibid.*, p. 400.

4. D'Arcy Thompson, *Forme et croissance*, Seuil, 1994.

Les formes ne sont pas issues de processus aveugles ou d'adaptation. Elles possèdent des logiques internes. Ainsi la déformation d'une même structure sous-jacente permet d'intégrer toute une série d'espèces différentes de crabe (cf. figure 10.7).

De même que l'on ne peut pas passer graduellement d'une forme mathématique à une autre, le passage d'un type ou d'un plan d'organisation à un autre est forcément non graduel, puisque justement ces types peuvent être décrits par des lois mathématiques ! La figure 10.8 montre qu'en agissant sur un seul angle, on peut « sauter » d'une coquille d'invertébré à une autre.

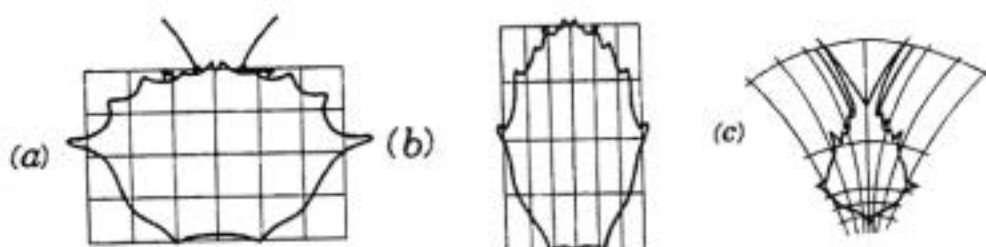


Figure 10.7.

Analyse de la structure sous-jacente de la carapace de divers crabes :
(a) geryon ; (b) corystes ; (c) *Scyramathia*.

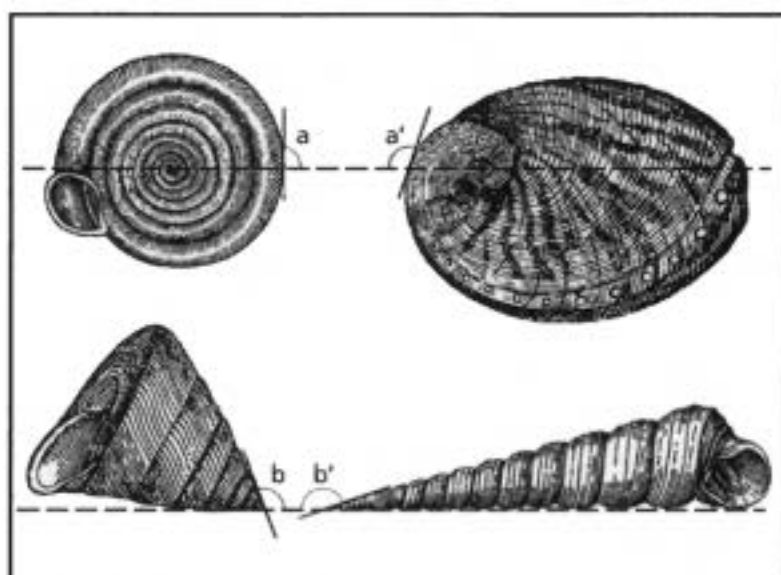


Figure 10.8.

Schéma de divers gastéropodes illustrant les conséquences des variations d'un seul angle. En haut, l'angle A de la spirale est grand à gauche et petit à droite. En bas, l'angle B, formé de l'enveloppe du cône, est grand à gauche et petit à droite.

On trouve ainsi une légitimation à la notion de types ou d'archétypes fondamentaux et à l'idée qu'il existe des lois permettant de passer d'un type à l'autre sans intermédiaire et que de telles lois correspondent à des transformations mathématiques.

Néolamarckisme, physique quantique et autres pistes

Le lamarckisme effectue depuis peu un retour en force grâce à certaines expériences comme celles de JOHN CAIRNS à Harvard¹, qui semblent montrer que lorsque des bactéries ont besoin, pour survivre, d'une certaine mutation, cette dernière se produit à un taux plus important que chez d'autres bactéries de la même espèce situées dans un environnement où elles n'ont pas besoin de cette mutation pour survivre. Cairns en a conclu « combien peu sûre est la croyance dans la spontanéité ou dans le caractère aléatoire de la plupart des mutations ».

BARRY HALL, professeur à l'université de Rochester, a également détecté ce type de mutation chez plusieurs sortes de bactéries. Son étude la plus étonnante consiste en un système dans lequel la bactérie doit posséder non pas une, mais deux mutations *à la fois* pour pouvoir survivre. Rares en temps normal, ces bactéries « doublement mutantes » sont bien apparues quand il s'agissait d'une question de survie. Hall en a conclu que « la génération sélective de mutations par un procédé inconnu est une solution qui ne peut pas et ne doit pas être rejetée² ».

EDMOND STEELE, professeur de biologie à l'université de Wollongong en Australie, a travaillé sur le système immunitaire des souris. Comme tout système immunitaire, il génère des anticorps lorsqu'il est attaqué par des antigènes (c'est ainsi qu'on se défend contre les maladies). L'anticorps spécifique produit en réponse à l'attaque d'un antigène est appelé un « idiotype ». Il existe des

1. John Cairns, J. Overbaugh, S. Miller, « The origins of mutants », *Nature* n° 335, 1988, p. 142-145.

2. Barry G. Hall, « Spontaneous point mutations occur more often when advantageous than when neutral », *Genetics*, 1997, 126, p. 5-16.

idiotypes communs aux parents et à leurs enfants (qui sont donc héritables) et d'autres qui ne sont pas héritables.

Si l'on compare les idiotypes non héritables des parents avec ceux de leurs enfants avant que les parents soient exposés à un antigène, on constate il n'y a pas de corrélation entre eux. On expose ensuite les parents à l'antigène, puis on compare les idiotypes des parents avec ceux de la nouvelle portée de souriceaux conçus après que leurs parents ont été attaqués par les antigènes en question. Eh bien maintenant, 20 % des enfants ont en commun avec leurs parents des idiotypes (en théorie non héritables) qui leur permettront de mieux se défendre s'ils rencontrent la même maladie durant leur vie. Steele et ses collaborateurs y voient une preuve décisive en faveur du néolamarckisme¹.

Bien sûr, le point faible de toutes ces expériences, c'est que l'on ne possède pas de mécanismes aptes à expliquer comment un tel transfert d'informations pourrait se produire depuis l'environnement de l'animal ou de la bactérie jusqu'à son ADN.

JOHN JOE MCFADDEN, biologiste moléculaire, enseignant à l'université du Surrey en Angleterre, pense que la mécanique quantique peut fournir une explication à l'existence de telles adaptations de type lamarckien.

Pour résumer très schématiquement la thèse qu'il décrit dans son ouvrage sur l'évolution quantique², les systèmes de mesure provoquent des « réductions des paquets d'onde » faisant que telle particule élémentaire va se situer à un endroit bien déterminé de l'espace, alors qu'une incertitude (parfois très grande) pouvait exister auparavant sur sa position. Pour McFadden, la cellule se comporte comme un appareil de mesure : en fonction de ce qui se passe dans son environnement, elle favorise des réductions spécifiques des fonctions d'onde de certaines particules pour permettre l'émergence des fameuses « mutations adaptatives » qui lui sont favorables. Ces mutations n'étant rien d'autre que le déplacement de quelques-unes de ces particules élémentaires.

Une telle hypothèse paraît très spéculative mais notre partie sur la mécanique quantique nous a appris à nous méfier du bon sens commun.

1. Edmond Steele, Robyn A. Lindley et Robert Blanden, *Lamarck's signature : how retrogenes are changing Darwin's natural selection paradigm*, Perseus Publishing, 1988.

2. John Joe McFadden, *Quantum evolution*, Norton, 2000.

Par ailleurs, il faut noter que McFadden a réussi (avec difficulté, il le reconnaît) à publier avec un collègue son hypothèse dans une revue à *referees*¹ ».

VASILY OGRYZKO, biologiste moléculaire, directeur de recherche à l'Inserm à Paris, est le pionnier de ce domaine. Deux ans avant John McFadden, il a publié un article dans une revue à *referees* dans lequel il développe une analogie entre une bactérie et un système quantique. Même si la plupart des propriétés physiques d'une bactérie obéissent aux lois de la physique classique (sa position et sa vitesse par exemple ne sont en rien concernées par le principe d'incertitude), certaines propriétés biologiques essentielles ne peuvent être connues simultanément. Si l'on connaît le génome d'une bactérie, on ne peut pas savoir comment elle va se développer dans certaines conditions. Si l'on observe la façon dont une bactérie mute et se développe dans certaines conditions, on ne connaît pas le génome de la bactérie mère. Il fait alors l'hypothèse selon laquelle les bactéries seraient en état de superposition, comme des objets quantiques, et que les mutations se produiraient lors de la « mesure ». Dans ce cas, l'ensemble des variations possibles du génome de la bactérie dépend des *conditions elles-mêmes de la sélection*. L'idée centrale d'Ogryzko, c'est qu'il existe des cas dans lesquels on ne peut séparer la variation et le processus de sélection. C'est ce qu'il appelle le postdarwinisme : « Contrairement au cas darwinien, les variants ne préexistent pas indépendamment les uns des autres avant la sélection, ils sont tous des composants d'un seul état. En d'autres termes, la sélection se produit non parmi une population d'objets mais parmi un ensemble d'états virtuels d'un même objet [...] En dépit du fait que la sélection naturelle intervienne, cette sorte d'adaptation, associée ici à la réduction de la fonction d'onde, peut également être considérée comme lamarckienne². »

Une autre façon de relier évolution et physique quantique a été développée par LOTHAR SCHÄFER, professeur de physique-chimie à l'université de l'Arkansas. Il retrouve l'idée des « états virtuels » développée par Vasily Ogryzko. Toute mutation, comme nous

1. John McFadden et Jim Al Khalili, « A quantum mechanical model of adaptive mutations », *Biosystems* 50, 1999, p. 203-211.

2. Vasily Ogryzko, « A quantum theoretical approach to the phenomenon of directed mutations in bacteria », *Biosystems* 43, 1997, p. 83-95.

l'avons déjà vu, est un phénomène quantique : c'est-à-dire qu'il s'agit du passage d'un état actuel de la molécule à un état qui, avant de devenir réel, existait à l'état virtuel. Comme le dit Schäfer, « le hasard classique peut mener à n'importe quoi. Le hasard quantique, lui, ne peut mener que d'un état bien défini à un autre état bien défini ; jamais à un point arbitraire situé entre les deux ».

Le choix entre des états quantiques préexistants est ce que Schäfer appelle la « sélection quantique ». « La sélection naturelle n'est pas la seule à diriger l'évolution, elle est contrôlée par la sélection quantique [...] La sélection quantique révèle que dans l'évolution biologique, le hasard quantique n'a rien de commun avec le hasard darwinien. Pour les darwiniens, l'ordre émergent est un saut dans le néant et est créé par le hasard, un "bruit" que la sélection naturelle transformera en musique¹. Dans l'émergence de l'ordre complexe par les états virtuels actualisés (EVA), la musique fait partie d'un concert cosmique qui n'est que révélé par les sauts quantiques². »

Ce que Schäfer veut dire, c'est qu'une mutation rend réel (actualise) un état virtuel qui préexistait (sous sa forme virtuelle). Et que donc, partant d'une molécule donnée, les états futurs qui peuvent être le sien sont déjà déterminés avant même qu'elle ne mute – concept qui me paraît d'une grande importance. Schäfer a été le premier à calculer la structure d'un peptide par la mécanique quantique³, ce qui a permis de *prédire* des détails de la structure d'une protéine avant qu'ils ne soient observés⁴. De telles avancées fragilisent la position de ceux qui affirment que la mécanique quantique n'a rien à voir avec le vivant.

Une dernière école de pensée doit être mentionnée, celle qui relativise l'importance du génome. Nous avons déjà vu avec Andras Paldi la façon dont a été remise en question l'idée selon

1. Cf. Jacques Monod, *Le hasard et la nécessité*, op. cit., p. 152.

2. Lothar Schäfer, « L'importance des états virtuels dans l'émergence de l'ordre complexe de l'Univers », *PhiloScience*, n° 3, 2007.

3. Lothar Schäfer, Christian Van Alsenoy and J. Neel Scarsdale, « Molecular structures and conformational analysis of the dipeptide N-acetyl-N'-methyl glycyl amide and the significance of local geometries for peptide structures », *J. Phys. Chem.*, n° 76, 1982, p. 1439.

4. X. Jiang, M. Cao, B. Teppen, S.Q. Newton and L. Schäfer, « Predictions of protein backbone structural parameters from first principles : systematic comparisons of calculated N-C(a)-C', angles with high-resolution protein crystallographic results », *J. Phys. Chem.*, n° 99, 1995, p. 10521.

laquelle les gènes contiendraient toute l'information nécessaire au développement d'un être vivant. Plus on progresse dans le décryptage du génome, plus on se rend compte qu'il y a un problème. Il y aurait autour de 33 000 gènes chez l'homme (seulement un tiers de plus que chez un ver de terre !). Cela représente beaucoup moins de quantité d'informations que celle qu'il faudrait envoyer en Chine pour permettre aux Chinois de produire un Airbus A380 à partir de rien. Or l'homme est une structure plus complexe que le plus complexe des avions. Alors d'où vient le reste de l'information nécessaire ?

***L'Intelligent Design : la complexité irréductible
de la nature implique-t-elle l'existence d'un créateur ?***

Comment se situe ce mouvement, qui fait beaucoup parler de lui à l'heure actuelle, dans notre grille d'analyse ? Notre approche permet de démêler aisément une question complexe. Ce mouvement est divisé en trois groupes bien distincts, unis cependant par leur critique du darwinisme et par l'idée selon laquelle la complexité des systèmes vivants est suffisante pour affirmer l'existence d'un « designer » – d'où le nom de ce mouvement.

— De purs créationnistes pour lesquels il est inconcevable que l'homme descende biologiquement d'un primate. Ce texte issu du site Internet de Jonathan Wells en donne un bel exemple : « Les bébés humains ont besoin de lait pour survivre et grandir, ainsi les mammifères ont-ils dû exister avant que les humains n'apparaissent. Et il ne s'agit pas de n'importe quel mammifère. Le premier bébé humain a vraisemblablement dû être élevé par une créature lui ressemblant beaucoup – un primate semblable à l'homme. Cette créature, à son tour, ne peut uniquement avoir été élevée que par une créature intermédiaire entre elle et un mammifère plus primitif. Autrement dit, un plan en vue de l'émergence des êtres vivants doit avoir inclus quelque chose ressemblant à la succession de formes préhistoriques que nous trouvons dans les documents fossiles [...] Bien que ce processus soit superficiellement semblable à la notion darwinienne de descendance commune, la théorie du "design" diffère de la précédente par le fait qu'elle maintient le besoin de l'existence des

prédécesseurs, mais uniquement en termes de fournisseurs de la nourriture et de protection. Des organismes successifs sont "apparentés", dans le sens qu'ils représentent des étapes prévues dans l'histoire de la vie, bien qu'ils ne soient pas génétiquement apparentés comme des ancêtres et des descendants pourraient l'être¹. »

Cela signifie qu'il pense que les nouveaux plans d'organisation ne sont pas apparus par descendance et que la théorie du « design » n'est pas évolutionniste ! Ici, nous pouvons clairement voir une conception au sein de laquelle le bébé *homo sapiens* est livré par des anges puis éduqué par des singes qui s'occupent de lui.

— Des agnostiques vis-à-vis de l'évolution tels que Bill Dembski et Philip Johnson. Ainsi, Dembski, le principal théoricien du mouvement, a réaffirmé récemment que son site était ouvert à tous les non-darwiniens : les évolutionnistes comme les antiévolutionnistes². Or, il est absurde de prétendre qu'un fait comme l'évolution n'existe pas sous prétexte que l'on n'a pas de bonne explication de ce fait.

— Des biologistes professionnels qui croient en l'existence d'un ancêtre commun, donc à l'évolution, mais qui pensent qu'elle est dirigée, tels que Michael Behe³, Steve Minnich ou Doug Axe (qui m'ont tous confirmé qu'ils étaient évolutionnistes au sens où je l'ai défini au début de ce chapitre). Ils représentent une forme extrême de biologistes évolutionnistes non darwiniens qui entre dans la catégorie « macromutations canalisées ».

Pourquoi extrême ? Parce que, en partant des deux constats suivants :

— les mécanismes darwiniens ne peuvent expliquer l'évolution,

— les données scientifiques que nous avons permettent de déduire que « quelque chose » coordonne ou canalise l'évolution dans le long terme,

cette troisième école de l'*Intelligent Design* va trop loin dans ses conclusions. Comme Michael Denton le montre très bien, des lois naturelles peuvent expliquer cette coordination. Quant aux deux premières écoles, elles doivent être rejetées avec la plus

1. www.tparents.org/library/unification/talks/wells/nat-select.htm

2. www.uncommondescent.com/index.php/archives/747

3. Michael Behe, *Darwin's black box*, The Free Press, Simon and Schuster, 1996.

extrême vigueur et ne font *pas* partie de la biologie évolutionniste non darwinienne qui est présentée ici. En effet, n'acceptant pas le concept d'évolution, elles s'excluent elles-mêmes du champ de la biologie.

Dans ce chapitre, nous avons passé en revue toutes les écoles qui prétendent expliquer l'évolution de façon darwinienne ou non. Cela en fait un des plus longs de cet ouvrage. La conclusion irréfutable que l'on peut en tirer, c'est que si le néodarwinisme occupe aujourd'hui une position hégémonique en biologie, l'affirmation souvent entendue, « tous les biologistes sont darwiniens, et seuls des individus sans crédibilité ou des scientifiques dont la discipline n'a aucun rapport avec le sujet, sont non darwiniens », relève de la désinformation, comme nous l'avons démontré.

Après avoir passé en revue des scientifiques et leurs positions, concentrons-nous sur des faits, car en science ce sont eux les arbitres ultimes.

Des « histoires comme ça »

« Selon certains biologistes, le mécanisme de l'évolution est déjà connu, au moins dans ses grandes lignes. Je ne partage pas cette conviction et je suis tout au contraire persuadé que nous ne savons à peu près rien des facteurs qui déterminent la progressive diversification des formes initiales. »

Jean Rostand

Après tout, pourquoi ne pas simplement accepter le néodarwinisme ?

Il s'agit du paradigme dominant dans tous les secteurs des sciences de l'évolution. La grande majorité des biologistes n'imagineraient pas un autre cadre conceptuel pour leurs recherches.

Certes, en science, la notion de majorité ne veut pas dire grand-chose, les grandes découvertes étant souvent faites par des individus se situant en marge ou en dehors du paradigme majoritaire.

Mais le néodarwinisme a un pouvoir explicatif extraordinaire. Il a permis de comprendre de façon convaincante des milliers de faits. Et pas uniquement des faits simples tels que la croissance de la résistance aux antibiotiques chez les bactéries (soumises à une sélection par l'existence des antibiotiques, les populations de bactéries vont voir se développer très rapidement en leur sein les mutants qui, par chance – pour eux –, possèdent la mutation qui leur permet de résister... car toutes les autres bactéries vont mourir). Mais également des énigmes telles que la suivante sont résolues grâce au néodarwinisme.

Certaines cigales ont des cycles de développement très longs. Elles végètent durant des années sous forme de larves, puis naissent en grand nombre, se reproduisent massivement et meurent rapidement. Pour que ce cycle de vie fonctionne, il faut donc que

tous les membres d'une même espèce naissent au même moment. Si la durée de l'« hibernation » est réglée par un gène, seules survivent les espèces chez lesquelles tous les membres ont le même gène, les faisant naître au bout d'*X* années. Mais pourquoi constate-t-on que les cigales ayant recours à ce genre de stratégie naissent tous les treize ans ou tous les dix-sept ans (selon les différentes espèces) et non pas, par exemple, tous les huit ou douze ans ?

Eh bien le darwinisme peut expliquer cela.

Ces cigales subissent l'assaut de prédateurs, d'autres insectes dont la vie est déterminée par des cycles plus courts que ceux des cigales (deux ou quatre ans).

Il y a des millions d'années, on suppose que tout le monde se reproduisait normalement, chaque année. Puis est apparu chez les proies un gène permettant à celles-ci de ne se reproduire que tous les deux ans. Cela leur a donné un avantage sélectif car leurs prédateurs avaient nettement moins de nourriture une année sur deux et étaient ainsi affaiblis.

Donc, lorsque le gène permettant aux prédateurs de ne se reproduire eux aussi que tous les deux ans apparut chez eux par hasard, il fut immédiatement sélectionné. Les proies se sont retrouvées en grand danger d'extinction. Quand est apparu par hasard un gène leur permettant de ne se reproduire que tous les treize ou dix-sept ans, il a immédiatement été sélectionné.

Et les gènes permettant de se reproduire tous les huit ou douze ans, me direz-vous ? Les espèces qui les portaient ont disparu ! Car à chaque génération, elles ont été dévorées par des prédateurs qui avaient des cycles de reproduction de quatre ans *ainsi que* par ceux qui avaient des cycles de deux ans !

La clé de toute l'histoire, c'est que 13 et 17 sont des nombres premiers et ne sont donc pas les multiples d'un autre nombre. C'est cela qui protège les espèces qui se reproduisent sur une telle durée de leurs prédateurs, et fait qu'elles existent encore¹.

Vous trouverez dans les ouvrages de Stephen Jay Gould, Daniel Dennett, Richard Dawkins, que j'ai cités au chapitre précédent, de nombreuses autres histoires de cette nature, permettant,

1. Voir Stephen Jay Gould, *Darwin et les grandes énigmes de la vie*, op. cit., p. 102-106. Un entomologiste m'a fait remarquer que de très nombreuses espèces de cigales se reproduisent tous les ans et survivent sans aucun problème. Alors en quoi l'adoption d'une stratégie si compliquée constitue-t-elle un avantage ? Le débat est ouvert...

de façon souvent très convaincante, d'expliquer des phénomènes aussi étonnants que celui que je viens de décrire.

La place me manque ici pour en rapporter d'autres, mais j'insiste sur l'extraordinaire étendue du caractère explicatif du darwinisme. C'est d'ailleurs ce qui a fait sa force et son succès, et non pas, comme le croient trop souvent les créationnistes, le seul fait qu'il permettait d'« éliminer » Dieu de l'histoire de la vie.

Alors oui, encore une fois, pourquoi ne pas accepter le néo-darwinisme puisqu'il permet d'expliquer tant de choses et qu'il existe un consensus très général à son sujet (avec néanmoins quelques notables exceptions comme nous l'avons vu lors du chapitre précédent) ? C'est là qu'il est nécessaire de prendre un peu de recul et de replonger dans l'histoire des sciences.

Pendant près de mille cinq cents ans, les scientifiques (du moins en Occident) ont quasiment tous adhéré à une théorie plaçant la Terre au centre du monde, celle de Ptolémée. Plus les observations des planètes devenaient précises, plus on découvrait dans leur orbite des « bizarreries ». Les planètes ne tournaient pas de façon régulière autour de la Terre. Elles allaient dans un sens puis repartaient en arrière, reprenaient leur marche vers l'avant, avant de repartir de nouveau en arrière, etc.

Pour expliquer ces mouvements erratiques, on a progressivement ajouté à la théorie des épicycles : tout en tournant autour de la Terre, les planètes étaient de temps en temps animées d'un petit mouvement cyclique les faisant repartir en sens inverse sur leur orbite. Bien entendu, ces mouvements étaient *ad hoc*. Ils ne correspondaient à aucune théorie. Ils étaient inventés au fur et à mesure pour rendre compte des observations. C'étaient des rustines que l'on collait sur la théorie pour l'empêcher de se dégonfler.

Dès le XIII^e siècle, toutes ces rustines formaient un ensemble monstrueux et le roi Alphonse X d'Espagne pouvait dire que si Dieu, avant de créer le monde, lui avait demandé conseil, il lui aurait suggéré quelque chose de plus simple¹.

Pourtant, à l'époque de Copernic, personne n'avait encore remis en cause ce système étant donné le poids du paradigme dominant et la difficulté d'en imaginer un autre (comment imaginer que la Terre tourne sans que nous puissions nous en apercevoir ?).

Puis vinrent Copernic, Galilée, Kepler, Newton. Et pendant trois cents ans, ce nouveau système, dans lequel la Terre tournait

1. Thomas Kuhn, *La structure des révolutions scientifiques*, op. cit., p. 104.

autour du Soleil grâce à la force de la gravitation, a paru pouvoir tout expliquer. Bien sûr, il y avait de petites anomalies comme l'avancée du périhélie de Mercure (voir page 137). Mais pourquoi remettre en cause pour si peu un système qui expliquait tant de choses ?

Puis vint Einstein qui, comme nous l'avons vu, expliqua ces anomalies au prix d'une tout autre vision du monde, très différente de celle de Newton, avec son espace-temps courbe, ses trous noirs, sa relativité de l'espace et du temps, etc.

Voilà les raisons pour lesquelles il est si important de chercher ce que le darwinisme n'explique pas et de ne pas se contenter de ce qu'il explique. C'est en effet ainsi que nous pourrions voir si une nouvelle théorie de l'évolution est nécessaire ou si le néodarwinisme constitue une explication suffisante.

Quelles que soient les améliorations qu'on lui apporte, le cœur du darwinisme repose sur le concept de sélection naturelle comme le dit très bien Gould : « La variation fortuite est bien la matière première du changement, mais la sélection naturelle parvient à concevoir des organes efficaces en rejetant la plupart des variantes tout en acceptant et en accumulant celles qui améliorent l'adaptation à l'environnement local¹. »

Face à un organe ou une fonction quelconques, il n'existe qu'un nombre limité d'explications possibles à son existence, dans un cadre néodarwinien.

— Il est là purement par hasard en tant que produit d'une mutation ne servant à rien.

— Lorsqu'il est apparu par hasard, il a été sélectionné car il améliorait l'adaptation de cet organisme à son environnement.

— Ses différents composants sont apparus par hasard et ont été sélectionnés un par un, car chacun améliorait l'organisme en accomplissant une fonction différente de celle qu'il accomplit aujourd'hui. Puis les composants ont fusionné pour créer un nouvel organe. Ils ont alors changé de fonction. Cette notion de « transfert de fonction » est un concept clé non seulement du darwinisme, mais également de toute théorie de l'évolution.

— Il s'agit d'un « *tympan* » (voir page 230), c'est-à-dire d'une structure qui n'a pas été sélectionnée pour elle-même mais parce que son existence est nécessaire pour qu'une autre structure, qui, elle, apporte un avantage à l'organisme qui la possède, puisse exister.

1. Stephen Jay Gould, *Le pouce du panda*, op. cit., p. 38.

Dans tous les cas (sauf dans le premier qui ne peut guère être à la source de grands progrès puisqu'il repose sur le seul hasard), c'est la sélection naturelle qui permet d'expliquer l'apparition de nouvelles structures au cours de l'évolution. Tous les darwiniens sont donc d'accord pour reconnaître que ce concept se trouve au cœur du darwinisme. Ils insistent souvent sur le fait que le darwinisme est mal compris. On considère que le darwinisme se fonde sur le hasard. Et on le réfute en disant que le hasard ne peut pas produire de structures complexes. Or, le darwinisme, ce n'est pas cela, insistent les darwiniens : c'est le « hasard couplé à la sélection naturelle ».

Et, bien entendu, il existe des milliers d'exemples montrant que la sélection naturelle existe à de nombreux niveaux et dans les domaines les plus divers. Ainsi, la question fondamentale nécessaire pour juger de la validité du darwinisme devient : « Quelle est la puissance exacte de la sélection naturelle ? » Peut-elle vraiment accomplir tout ce qu'elle doit accomplir pour que le darwinisme puisse expliquer l'évolution ?

Pour étudier cette question, commençons par deux histoires, toutes deux extraordinaires, qui paraissent très semblables mais qui, selon moi, amènent à des conclusions très différentes.

Coquillages darwiniens et papillons non-darwiniens



Figure 11.1.

Le *Lampsilis*, quand un coquillage imite un poisson.

Contrairement à ce que vous pouvez penser, la figure 11.1 ne vous montre qu'un seul être vivant : un coquillage, le *Lampsilis*, et non un coquillage et un poisson, comme on pourrait le penser de prime abord.

Comment une chose pareille est-elle possible ? Voilà l'explication (darwinienne bien sûr) qu'en donne Stephen Jay Gould¹. Tout d'abord, le coquillage se servait d'une simple membrane pour faire circuler l'eau autour des larves en période de ponte. Cette membrane, par son mouvement, attirait des poissons. Il y avait une chance qu'un poisson se trouve là au moment où les œufs étaient lâchés. Certains œufs se logeaient dans les branchies du poisson, où ils pouvaient se développer bien tranquillement.

Au fil du temps, plus la membrane ressemblait à un poisson, plus il était probable qu'un poisson fût là au moment du lâcher des œufs. Donc toute mutation aléatoire améliorant la ressemblance avec un poisson a été sélectionnée.

Cette explication recourt au fameux « transfert de fonction ». Gould est parfaitement conscient du problème suivant : « 5 % de pastiche de poisson est-il suffisant pour susciter la curiosité d'un vrai poisson² ? » La réponse, c'est que le coquillage ne s'en servait pas pour attirer un poisson mais pour autre chose ! Ce type d'explication est absolument nécessaire au darwinisme : « La réponse à la question : "À quoi peuvent bien servir 5 % d'un œil ?" est que le possesseur d'une structure intermédiaire de ce type ne l'utilisait pas pour voir³. »

Cette explication pose néanmoins plusieurs questions :

— Tout d'abord, nous sommes dans le cas, si souvent mentionné par Rémy Chauvin, où une solution complexe ne marche pas mieux (voire moins bien !) qu'une solution simple. Presque tous les coquillages libèrent simplement leurs œufs dans l'eau, où ils se développent. Bien qu'ils ne soient pas à l'abri – tels les œufs du *Lampsilis* à l'intérieur du poisson –, les coquillages se reproduisent très bien et, pour la plupart, avec plus de succès que le *Lampsilis* qui reste un coquillage rare.

1. Stephen Jay Gould, *Darwin et les grandes énigmes de la vie*, op. cit., p. 107-114.

2. Stephen Jay Gould, *Le pouce du panda*, op. cit., p. 40.

3. Stephen Jay Gould, *Darwin et les grandes énigmes de la vie*, op. cit., p. 112.

— Ensuite, les œufs de *Lampsilis* sont, aujourd'hui, incapables de se développer dans l'eau contrairement à ceux des autres coquillages. Alors, comment faisaient-ils avant que leur ancêtre ne commence à développer ce leurre ?

On peut bien sûr supposer que les œufs de *Lampsilis* ont perdu cette fonction qui ne leur était plus nécessaire, tout comme les taupes ont perdu la vue. Néanmoins, comment la sélection naturelle a-t-elle pu favoriser une mutation qui a fait perdre aux œufs de *Lampsilis* une fonction si répandue chez les autres coquillages et bien utile si un poisson ne se présente pas au bon moment ?

Mais bon, trêve de questions, acceptons l'explication darwinienne¹ !

J'espère que les darwiniens qui me liront reconnaîtront que j'ai l'esprit large, car je suis sûr que bien des lecteurs neutres penseront que je fais une concession trop importante au darwinisme en acceptant une explication aussi alambiquée !

Pour moi, néanmoins, le point essentiel est ailleurs : il est dans le fait que ce n'est pas une sardine ou un hareng qui est imité par le coquillage mais juste une forme générale de poisson. Ce n'est pas une imitation d'une espèce existante de poisson.

Les choses seront différentes avec le *Kallima* de Ceylan (figure 11.2).

Comme vous le voyez, ce papillon imite à la perfection une feuille morte, ce qui est très utile pour échapper à ses prédateurs. Mais si vous le regardez de plus près, vous verrez qu'il imite également des champignons qui se développent sur les feuilles mortes (cf. figure 11.2 B).

Et là où les choses deviennent extraordinaires, c'est que le mycologue Roger Heim, ancien directeur du Muséum national d'histoire naturelle, ait pu identifier quelle espèce *précise* de champignon était représentée sur les ailes de ce papillon². Certes, plus le camouflage est parfait, plus cela représente un avantage pour l'animal, dira un darwinien.

1. Les darwiniens diront, par exemple, que la présence du leurre permet une importante « économie » pour le coquillage, celui-ci pouvant se reproduire en pondant moins d'œufs.

2. Cité par Rémy Chauvin, *Biologie de l'esprit*, op. cit., p. 69.

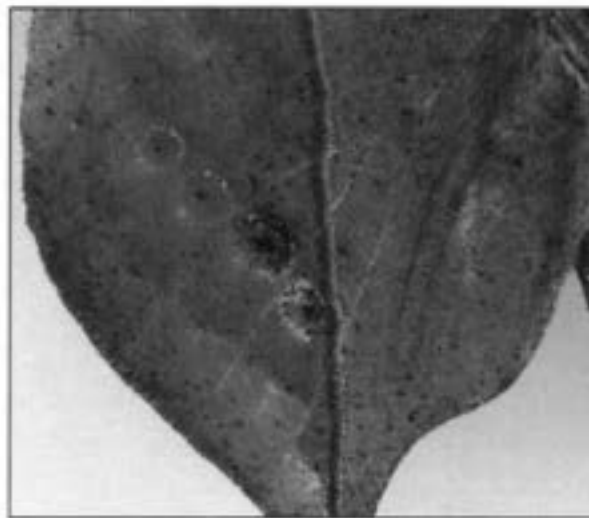
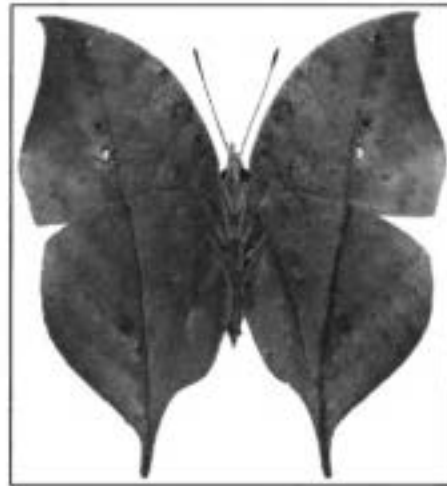


Figure 11.2 A et B.

© Henri-Pierre Aberlenc.

Le *Kallima* de Ceylan et un gros plan sur l'imitation d'une espèce de champignon présente sur ses ailes.

Mais voilà, pour arriver à son état actuel, un *Kallima* a dû, au fil des générations, franchir, grâce à un processus de sélection, les étapes suivantes :

1. *Kallima* ressemblant déjà à une feuille morte mais sans taches sur les ailes ;
2. *Kallima* avec des taches sur les ailes ;
3. *Kallima* avec des taches sur les ailes ressemblant vaguement à un champignon ;
4. *Kallima* avec des taches sur les ailes ressemblant vraiment à un champignon ;

5. *Kallima* avec des taches sur les ailes ressemblant un peu à une espèce particulière de champignon ;

6. *Kallima* actuel avec des taches sur les ailes ressemblant exactement à une espèce particulière de champignon.

Or, s'il est possible que la sélection naturelle puisse permettre le passage de l'étape 1 à l'étape 2 ou de la 2 à la 3, le processus s'arrêtera à l'étape 4 ou, au mieux, à l'étape 5 car il n'existe pas d'oiseaux « mycologues » capables de manger un « père » se situant à l'étape 5 et de laisser vivre son fils mutant se situant à l'étape 6, en le confondant avec une vraie feuille morte. En d'autres termes, la sélection naturelle n'est pas assez puissante pour permettre que, une fois l'étape 5 atteinte et une fois qu'une mutation au hasard aura fait naître un *Kallima* porteur de taches ressemblant exactement à un champignon (étape 6), ce dernier soit avantagé au point de remplacer à terme les *Kallima* restés à l'étape 5.

Une expérience pourrait très facilement le démontrer. Il suffit de frotter délicatement les taches avec un pinceau pour les faire disparaître, et d'avoir une population témoin de *Kallima* dont on a frotté les ailes sans faire disparaître les taches (pour être sûr que ce n'est pas le processus qui, en lui-même, a affaibli le papillon). Il ne reste alors plus qu'à attendre et voir si les *Kallima* « modifiés » survivront moins bien que les *Kallima* « témoins ».

Bien sûr, l'expérience n'a jamais été réalisée et ne sera sans doute pas faite avant des décennies – et pas uniquement parce que Ceylan est à l'heure actuelle en pleine guerre civile.

Des expériences bien plus complexes ont été menées pour confirmer des postulats darwiniens. Comme l'a très bien montré Kuhn¹, lorsqu'un paradigme est dominant, les recherches se font à l'intérieur de ce paradigme. Un résultat « hérétique » peut être perturbant à la fois intellectuellement et pour la carrière du scientifique ; il vaut mieux l'oublier. Dans une période de changement de paradigme, comme celui que nous avons décrit pour la physique, c'est le contraire : les scientifiques se précipitent sur les résultats anormaux avec frénésie, car il s'agit alors d'une clé pour une grande carrière, ou pour un prix Nobel. Ce n'est pas encore le cas en biologie. Il suffit d'attendre... pas trop longtemps, j'espère.

Mais, me direz-vous, des scientifiques pourraient faire cette expérience pour renforcer le darwinisme. Si vraiment les *Kallima*

1. Thomas Kuhn, *La structure des révolutions scientifiques*, op. cit.

de type 5 étaient mangés par les oiseaux plus souvent que le *Kallima* « parfait » de type 6, quel triomphe pour le darwinisme !

Je suis persuadé que, consciemment ou non, les spécialistes du domaine savent très bien que ce ne serait pas le cas. Pourquoi ? D'abord parce qu'ils connaissent bien la façon dont les *Kallima* sont capturés par leurs prédateurs.

Ce que je ne vous ai pas encore dit, c'est que la magnifique imitation d'une feuille morte se trouve uniquement sur la face inférieure des ailes du *Kallima*, la seule visible quand il est au repos car il replie alors ses ailes l'une contre l'autre. Lorsqu'il vole, c'est en revanche la face supérieure des ailes qui est visible, et cela surtout pour les oiseaux (qui en général volent à une altitude plus élevée que les papillons !). Or, sur cette face-là, le *Kallima* possède de superbes zébrures orange et bleue qui font qu'on le repère comme le nez au milieu du visage (cf. figure 11.3).



Figure 11.3.

© Henri-Pierre Aberlenc.

Face supérieure des ailes du *Kallima*. Dès qu'il déplie les ailes, il ne passe pas inaperçu !

Aucun oiseau ne cherche donc à attraper un *Kallima* à l'arrêt puisqu'il suffit d'attendre qu'il vole ! Ainsi, une ressemblance honorable avec une feuille morte est-elle largement suffisante, la ressemblance parfaite n'ayant pu être sélectionnée par la selec-

tion naturelle puisqu'elle n'apportait rien de plus au *Kallima*. C'est de « l'art pour l'art » dirait Chauvin.

Il y a ensuite un argument encore plus fort : parmi les très nombreuses espèces de *Kallima* qui imitent, sur leurs ailes, des feuilles mortes, certaines en sont restées au premier stade de mon hypothétique évolution des *Kallima* par sélection naturelle. Ces dernières n'ont aucune imitation de champignon sur leurs ailes. Elles survivent pourtant sans problème, ce qui confirme l'inutilité, en terme de sélection, de la présence de l'imitation de champignon sur les ailes du *Kallima* !

Certains darwiniens sont amenés à reconnaître que la sélection naturelle n'est pour rien dans l'apparition de l'imitation du champignon. Celle-ci, selon eux, est due à des contraintes de construction qui font apparaître sans raison précise certains motifs sur les ailes des papillons. Bien entendu, cette explication serait crédible si le papillon imitait une forme générale de champignon (comme le *Lampsilis* imite la forme générale d'un poisson) et non une espèce précise de champignon.

Bon, me direz-vous, une hirondelle ne fait pas le printemps. Un seul cas, même extraordinaire, ne prouve rien. Mais le problème pour le darwinisme, c'est qu'il en existe des milliers.

En voici un autre du même type, mais beaucoup plus simple : de nombreuses espèces de papillons imitent parfaitement d'autres espèces de papillons. Généralement, le papillon imité contient une substance qui le rend inesthétique pour les oiseaux. Il y a donc un énorme avantage, en terme de sélection naturelle, pour l'imitateur à ressembler à l'imité. Illustration classique du darwinisme vous dira-t-on avant de passer à autre chose.

Curieusement, les darwiniens ne s'arrêtent jamais sur le fait que des papillons comestibles imitent parfois également... des papillons comestibles ! La seule explication qui semble possible en termes de sélection, c'est que le papillon imité était inesthétique dans le passé. Mais alors, comment la sélection naturelle a-t-elle pu favoriser chez ses ancêtres la mutation lui permettant de passer du statut d'« inesthétique » à « comestible » ?

L'existence d'une telle transition semble être en contradiction avec les concepts de base du darwinisme. L'autre explication de type darwinien serait là aussi de recourir au hasard pur, allié à des « contraintes de construction ». Mais si les deux papillons sont identiques au point que les spécialistes eux-mêmes les confondent et qu'il s'agisse d'espèces non apparentées, peut-on vraiment continuer à prétendre que cette ressemblance est due au hasard ?

Comme le dit Chauvin, « tous les cas peuvent se présenter qui peuvent aboutir à une protection efficace ou non du papillon imitateur, comme s'il existait une "activité imitante de la nature" indépendante de ces conséquences ; mais l'imitation apparaît quasiment constituée avant que les prédateurs ne s'en mêlent. Le problème est alors bien plus étrange et plus profond que les tautologies darwiniennes ne le supposent¹ ».

Mais qu'est-ce qui peut donc bien faire que le dessin d'une espèce particulière de champignon ou le dessin d'un autre papillon apparaissent quasiment constitués sur les ailes d'un papillon sans que la sélection naturelle y soit pour quelque chose ?

Comme l'anomalie de l'orbite de la planète Mercure – qui était le signe de l'existence dans l'Univers de phénomènes aussi extraordinaires que les trous noirs ou l'espace-temps courbe –, ces phénomènes d'« apparitions spontanées » ne sont-ils pas le signe qu'une nouvelle théorie de l'évolution (NTE) reste à découvrir et qu'elle pourra être aussi éloignée de nos concepts familiers relatifs au darwinisme que la relativité générale l'est vis-à-vis de la gravitation newtonienne ?

Continuons donc notre exploration parce que, comme le dit la sagesse populaire, « Dieu (ou le diable) est dans les détails ».

Quand le triton nous fait un clin d'œil

Si, en effectuant une opération chirurgicale, on prélève le cristallin d'un triton, un nouveau cristallin se reformera à partir du bord de l'iris² (cf. figure 11.4). Or, lors du développement embryonnaire normal, le cristallin se forme, à partir de la peau, d'une façon complètement différente. Là aussi, il s'agit d'un phénomène très intéressant.

Cette régénération du cristallin n'a jamais pu se produire dans la nature au cours des millions d'années d'existence des différentes espèces de tritons. En effet, en temps normal, un triton ne peut pas perdre le cristallin. Il peut perdre un œil par exemple. Mais pour qu'un cristallin soit retiré et que le reste de l'œil reste intact, prêt à

1. Rémy Chauvin, *Biologie de l'esprit*, op. cit., p. 72.

2. Joseph Needham, *Biochemistry and morphogenesis*, Cambridge University Press, 1942.

continuer à fonctionner... une opération chirurgicale est nécessaire ! Donc ce processus de régénération (complètement différent, répétons-le, du processus normal de formation) du cristallin ne peut être le résultat d'un processus de sélection naturelle, puisque l'animal n'a jamais affronté une situation dans laquelle cette régénération aurait pu lui être utile.

Simon Conway-Morris a construit une grande partie de sa vision de l'évolution sur la convergence. Ici, nous avons une autre sorte de convergence : deux façons différentes d'obtenir le même organe chez un même individu. Cela ne suggère-t-il pas que la nature possède une sorte de « capacité à produire » des organes complexes de cette sorte ? Que ce système de régénération se soit mis en place en bloc comme l'image du champignon sur les ailes du *Kallima*, ou que, graduellement, des mutations n'ayant aucun avantage sélectif se soient accumulées pour le constituer, on peut être sûr d'une chose : il n'est pas apparu grâce à un processus reposant sur la sélection naturelle.

Les darwiniens font remarquer que les amphibiens ont de grandes capacités de régénération, une patte sectionnée pouvant repousser chez certains. Personne ne nie l'énorme avantage, en terme de sélection, de pouvoir remplacer une patte perdue ! Mais ici, cette mutilation n'a jamais pu se produire et l'organe est reconstruit selon une voie différente de la voie normale.

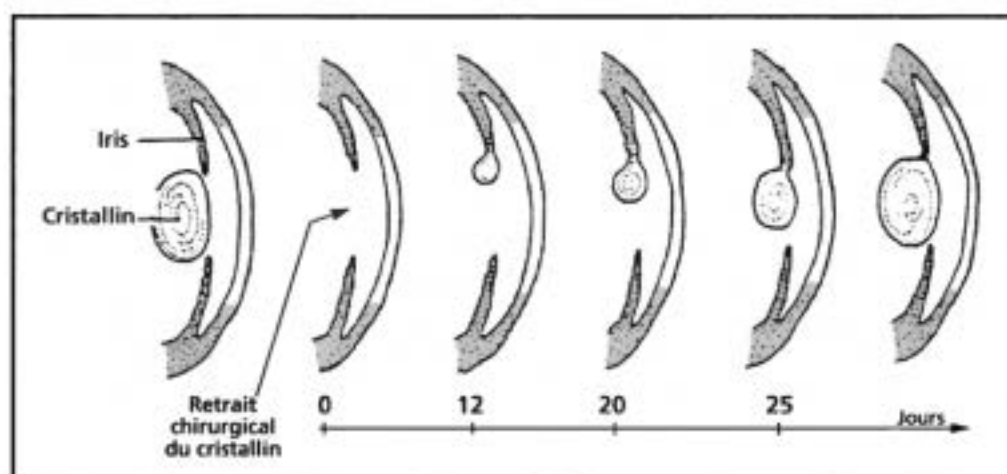


Figure 11.4.

© Les Éditions du Rocher.

Processus de régénération de l'iris du triton.

Ces deux exemples parlent d'une voix forte en faveur du même concept : celui de la préexistence de certaines formes, confirmant les conceptions de D'Arcy Thompson et de Michael Denton.

L'apparition de l'imitation du champignon ou la régénération du cristallin ne pouvant se faire ni par miracle ni de façon darwinienne, il faut bien que quelque chose canalise les processus biologiques pour permettre à ces formes d'apparaître. Ce quelque chose ne serait-il pas une forme ou un archétype au sens platonicien du terme¹ ?

Le phacochère est-il lamarckien ?

S'il y a un fantôme que les darwiniens cherchent à faire disparaître à tout prix, c'est bien celui de Lamarck. Peut-être parce qu'il est susceptible de faire de l'ombre à leur grand homme. Après tout, c'est lui et non Darwin qui a formulé le premier l'idée d'évolution. Mais aussi parce que le mécanisme postulé par Lamarck (cf. p. 213) constitue l'une des principales hérésies possibles dans le domaine des sciences de l'évolution.

Son concept, « la fonction crée l'organe », a été réfuté par de nombreuses expériences. Si vous marchez pieds nus toute votre vie, vous aurez les pieds calleux, mais vos enfants naîtront avec des pieds normaux.

La révolution de la biologie moléculaire a particulièrement fragilisé le lamarckisme. En effet, le dogme fondamental de cette discipline stipule que l'information évolue toujours dans un seul sens : ADN => ARN => protéines.

Pour inscrire le message « pieds calleux » dans l'ADN de vos enfants, il faudrait qu'un message aille en sens inverse, des protéines des callosités de vos pieds vers votre ADN. La découverte des rétrovirus qui, dans le cas du sida, vont de l'ARN à l'ADN, montre qu'une partie du chemin a déjà été franchie en sens inverse. Mais pour l'instant, on n'a aucune idée de la façon dont un message pourrait aller des protéines jusqu'à l'ARN.

À des milliers de kilomètres des lieux où se produisent ces débats théoriques, le phacochère, sorte de sanglier africain, part à la recherche de sa nourriture quotidienne. Il se nourrit de racines et s'agenouille sur ses pattes de devant pour pouvoir les déterrer.

1. De nombreux mathématiciens affirment que de tels archétypes existent dans le monde des concepts mathématiques (cf. chapitre 15).



Figure 11.5.
Phacochère africain déterrante une racine.

Les genoux de ses pattes portent donc des callosités, traces de ce travail quotidien. Mais voilà que l'analyse d'un fœtus de phacochère montre que les callosités sont déjà présentes avant la naissance (cf. figure 11.6).

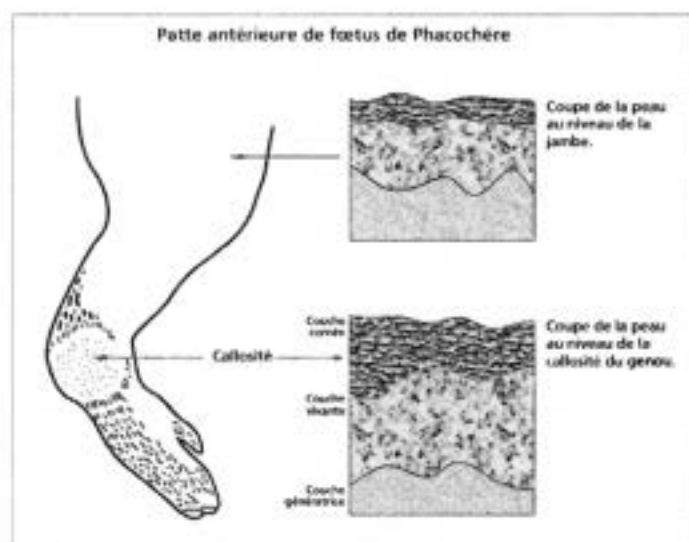


Figure 11.6.
Une callosité présente avant la naissance.
Coupe de la peau d'un fœtus de phacochère au niveau du genou
(en bas) et à un autre endroit de la patte (en haut).

Selon la conception darwinienne, un petit phacochère a eu par hasard un jour des callosités au bon endroit. Dans son enfance, il a pu s'agenouiller plus confortablement que ses frères et cousins. Il a ainsi pu mieux se nourrir, devenir plus fort, mieux se reproduire et, au fil des siècles, ses descendants ont supplanté tous les autres phacochères.

Un animal qui s'agenouille tous les jours pour se nourrir aura en quelques mois des callosités qui se formeront sur les genoux. Il sera donc très vite sur un pied d'égalité avec un phacochère mutant, possédant des callosités depuis sa naissance. Peut-on sérieusement croire que disposer de callosités dès le début est susceptible de donner à un jeune phacochère un avantage tel que, bien des années plus tard, il se reproduira mieux que ses collègues ?

Cela paraît être plus proche du conte de fées que du raisonnement scientifique. On retrouve là encore cette faille centrale du darwinisme : la différence entre les pouvoirs réels de la sélection naturelle et les pouvoirs théoriques dont devrait faire preuve la sélection naturelle pour éliminer la nécessité de recourir à d'autres facteurs que les facteurs darwiniens pour expliquer l'évolution.

Le darwinisme est-il dangereux pour notre santé ?

Nous avons vu page 260 que l'existence de « mutations adaptatives », permettant aux bactéries de s'adapter aux changements de leur environnement de façon *a priori* lamarckienne, était maintenant bien établie. Cela peut paraître contredire le fameux dogme central de la biologie moléculaire. Mais les darwiniens répondent par le modèle suivant.

Il est apparu par hasard chez les bactéries un système augmentant le taux général de mutations en période de stress ; celui-ci a été choisi par la sélection naturelle et c'est pour cela que des mutations bénéfiques pour les bactéries apparaissent plus souvent quand elles en ont besoin que lorsque cela n'a pas d'utilité pour elles. Et en fait de telles mutations ont bel et bien été détectées¹ ! Si l'on fait vivre

1. J. Torkelson, R.S. Harris, M.J. Lombardo, J. Nagendran, C. Thulin, S.M. Rosenberg, « Genome-wide hypermutation in a subpopulation of stationary-phase cells underlies recombination-dependent adaptive mutation », *EMBO J.*, 2 juin 1997, 16(11), p. 3303-3311. Voir aussi P.L. Foster, « Adaptive mutation : has the unicorn landed ? », *Genetics*, avril 1998, 148(4), p. 1453-1459.

des bactéries incapables de se nourrir de lactose dans un environnement qui ne contient que du lactose, certaines d'entre elles se mettront à muter de façon prodigieuse. On parle d'« hypermutabilité ». Par hasard, la mutation adéquate va apparaître et permettre aux bactéries qui la possèdent de survivre. Les mutations en question ne sont donc nullement provoquées par des changements de l'environnement de la bactérie. Elles se produisent par hasard et, une fois de plus, le fantôme de Lamarck est mis en déroute.

Patatras ! Des scientifiques ont étudié en détail les bactéries hypermutantes et se sont rendu compte qu'elles ne pouvaient constituer que 10 % (voire moins) de ces fameuses mutations adaptatives¹. On en revient donc quasiment à la situation de départ et le débat fait rage sur cette mystérieuse capacité d'adaptation des bactéries². Comme nous l'avons vu (page 262), Vasily Ogryzko a présenté un modèle postdarwinien ou neo-lamarckien permettant d'expliquer ce phénomène.

Mais John Joe McFadden a mis en lumière un phénomène encore plus étrange³. Pour résoudre le problème du développement de la résistance des bactéries aux antibiotiques, on administrait depuis la fin des années 1960 quatre antibiotiques pour combattre, par exemple, la tuberculose. La probabilité d'apparition d'une mutation permettant de résister à un antibiotique donné est de $1/10^8$ (1 sur 100 millions). Vu le nombre de bactéries existantes, cela arrive très vite. Mais la probabilité pour que, par hasard, une bactérie bénéficie d'une série de mutations lui permettant de résister aux quatre antibiotiques à la fois est de $1/10^{24}$ (parce que si une bactérie peut résister à deux antibiotiques, cela ne lui sert à rien : elle mourra de la même façon qu'une bactérie ne résistant qu'à un seul antibiotique⁴). 10^{24} bacilles de tuberculose,

1. W.A. Rosche, P.L. Foster, « The role of transient hypermutators in adaptive mutation in *Escherichia coli* », *Proc Natl Acad Sci, USA*, juin 1999, 8 ; 96(12), p. 6862-6867. J.R. Roth, E. Kofoed, F.P. Roth, O.G. Berg, J. Seger, D.I. Andersson, « Regulating general mutation rates : examination of the hypermutable state model for Cairnsian adaptive mutation », *Genetics*, avril 2003, 163(4), p. 1483-1496.

2. J. Cairns, P.L. Foster, « The risk of lethals for hypermutating bacteria in stationary phase », *Genetics*, décembre 2003, 165(4), 2317-2318 ; réponse de l'auteur, 2319-2321. Voir le débat dans le numéro de J. Bacteriol, août 2004, 186(15).

3. John Joe McFadden, *Quantum evolution*, Norton Company, 2001, p. 259-274.

4. Le chiffre normal serait de 10^{32} (10^8 à la puissance 4). McFadden donne un nombre moins élevé sans doute parce que 2 des 4 mutations peuvent être liées. On retombe donc à 10^8 à la puissance 3.

cela représente un million de tonnes ! Heureusement pour nous, la Terre est très, très loin d'abriter un million de tonnes de bacilles de la tuberculose. On aurait donc dû être tranquille pour des millénaires.

Mais en vingt-cinq ans, à New York, alors que tous les malades de la tuberculose sont traités avec quatre antibiotiques, est apparu un bacille résistant aux quatre antibiotiques à la fois et mortel dans 70 % des cas ! Cela défie toutes les statistiques basées sur les modèles darwiniens et suggère fortement, là aussi, l'existence de mécanismes néolamarckiens. Si cela était confirmé, les implications en seraient terribles : dans quarante ou cinquante ans, nous mourrons par millions, comme avant l'époque des antibiotiques, de maladies aujourd'hui faciles à soigner. Si le phénomène de résistance aux antibiotiques est totalement intégré par le darwinisme – c'est même l'un des meilleurs exemples de sélection naturelle –, c'est la vitesse du phénomène que le darwinisme nous empêchera peut-être de percevoir à temps.

Nous avons vu que Daniel Dennett a écrit un ouvrage intitulé *Le darwinisme est-il dangereux ?*, destiné à montrer la portée universelle des idées darwiniennes et annonçant que celles-ci, tel un « acide », vont « ronger » toutes les conceptions antérieures. Cependant, pour les raisons que nous venons d'énoncer, le darwinisme pourrait être plus dangereux encore s'il était faux. Peut-être faudra-il un jour mettre sur les livres vulgarisant le darwinisme tels que celui de Dennett un bandeau rouge « Nuit gravement à la santé » comme on le fait sur les paquets de tabac... ?

« Madame la protéine, c'est l'heure de votre mutation »

Un curieux phénomène a été découvert il y a plus de trente ans : celui de l'horloge moléculaire. Bien des protéines se retrouvent chez tous les êtres vivants. On peut donc analyser les différences existant entre la structure d'une même protéine chez une bactérie, une mouche, un poisson et l'homme.

Voici un exemple portant sur le cytochrome C, une enzyme qui se situe dans les mitochondries, et qui intervient dans la production d'énergie.

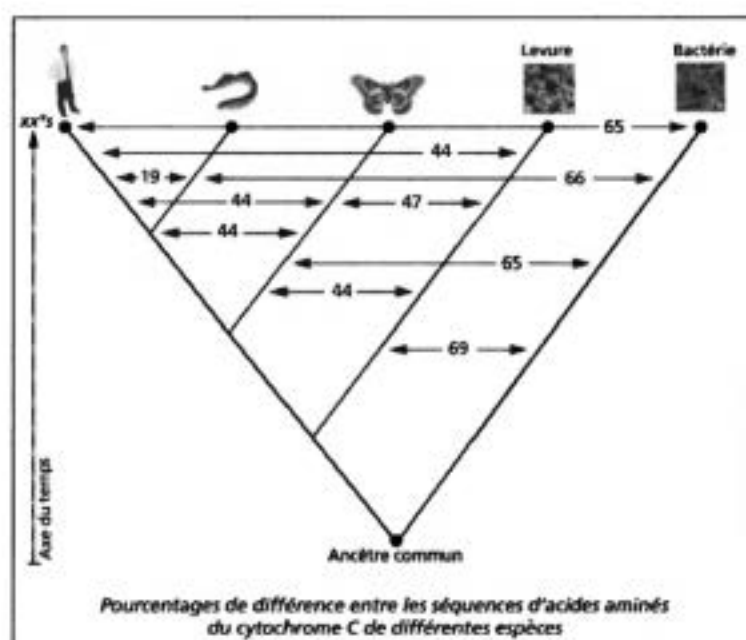


Figure 11.7.

Une étrange régularité dans l'évolution de certaines protéines. Différences entre la structure du cytochrome C chez l'homme, la lamproie, un papillon, une levure et une bactérie.

Les résultats sont des plus étranges : il y a autant de différences entre le cytochrome C d'une bactérie et celui d'une levure qu'entre celui de la bactérie et celui de l'homme ! Même chose pour le *Bombyx*, un papillon lorsqu'on le compare au poisson et à l'homme.

Qu'est-ce que cela veut dire ? Essayons de comprendre ce phénomène en prenant d'abord le « point de vue d'une bactérie » (cf. figure 11.8.A).

La différence est à peu près la même (autour de 65 %) entre la bactérie et tous les autres êtres apparus après elle au cours de l'évolution. Tous ces êtres avaient un ancêtre commun avec la bactérie il y a plus d'un milliard d'années. Les descendants de cet ancêtre sont partis chacun de son côté, emportant des cytochromes C à l'origine tous identiques puis, sur chacun des « chemins » évolutifs menant à ces différents êtres (cf. figure 11.7), les gènes codant les protéines de cytochrome C ont muté, différenciant peu à peu les cytochromes C les uns des autres. Ce qui est incroyable, c'est que les cytochromes C se soient différenciés au même rythme chez tous les organismes depuis leur séparation. Cela veut dire que les gènes codant pour cette protéine ont muté au même rythme.

Cela se confirme à tous les niveaux si l'on compare, par exemple, le cytochrome C du *Bombyx* à celui de tous les êtres plus évolués que lui ; ou celui d'un poisson à celui d'êtres apparus après lui (cf. figures 11.8 B et C).

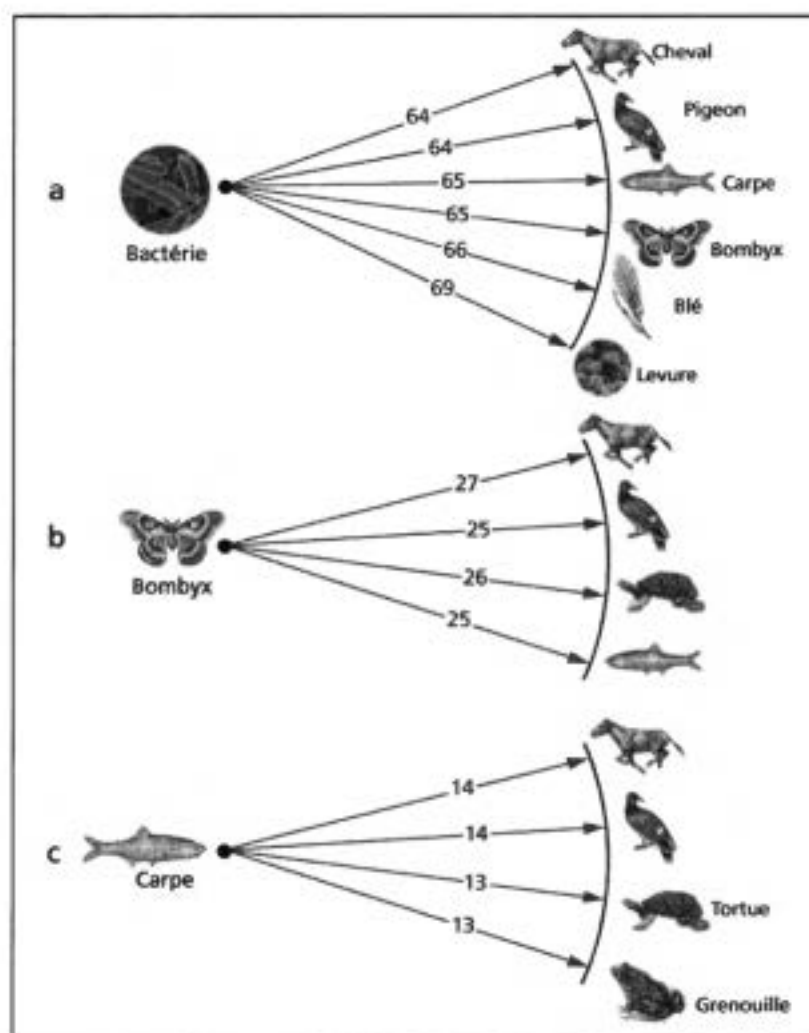


Figure 11.8 A, B et C.

A : Différences entre le cytochrome C d'une bactérie et celui d'êtres plus évolués.

B : Différences entre le cytochrome C du bombyx et celui d'êtres plus évolués.

C : Différences entre le cytochrome C d'une carpe et celui d'êtres plus évolués.

Le résultat est le même que pour la bactérie ; simplement plus l'ancêtre commun est proche, plus les différences de pourcentage entre l'être considéré et ceux apparus après lui sont faibles (autour de 25 % pour le *Bombyx* et de 13 % pour la carpe).

Il existe un phénomène bien connu appelé la « dérive génétique » : à chaque nouvelle génération, un gène a une certaine probabilité de muter. La plupart de ces mutations étant neutres, elles ne sont ni sélectionnées ni rejetées par la sélection naturelle ; elles s'accumulent dans le génome au fil des générations et différencient le génome d'un organisme de celui de ses cousins. Ce phénomène a d'ailleurs donné naissance à la « théorie neutraliste de l'évolution » de Motoo Kimura¹, pour qui l'évolution provient essentiellement de cette dérive génétique neutre (ce qui explique encore moins que le darwinisme l'apparition de structures complexes).

Ainsi, cette parfaite régularité des différences entre les molécules de cytochromes C proviendrait-elle ici de la dérive génétique ? Les gènes mutent régulièrement et cela influence la composition des cytochromes...

Eh bien, *non* ! Car le taux de mutations d'un gène est à peu près le même au sein de chaque génération pour des organismes différents alors que le phénomène que nous venons de décrire est constant relativement au temps astronomique ! Vu l'immense différence entre la durée de vie d'une mouche et d'un homme, il y a deux cent cinquante fois plus de chances qu'un gène quelconque d'une mouche mute au cours d'une année que le même gène mute chez un homme. Au bout de quatre millions d'années, il y a un milliard de fois plus de chances qu'une mutation ait eu lieu dans un gène de mouche que dans un gène d'homme codant pour la même protéine. Pourtant, depuis des centaines de millions d'années, les protéines de cytochrome C se modifient au même rythme, en fonction du temps géologique.

Ce phénomène n'existe pas que pour le cytochrome C. Et l'on ne peut pas en donner une interprétation en termes de sélection naturelle. Prenons l'hémoglobine, ce composant essentiel des globules rouges : ceux situés dans la lignée humaine ont connu un bouleversement complet de leur environnement (apparition des poumons, transformation du cœur, modification des globules rouges) alors que ceux situés dans la lignée d'un poisson ont connu peu de changements par rapport à leur situation d'origine. Cela n'empêche pas le gène codant pour l'hémoglobine de s'être modifié au même rythme (encore une fois, par rapport au

1. Motoo Kimura, *Théorie neutraliste de l'évolution moléculaire*, Flammarion, 1990.

temps absolu, alors que l'homme et ses ancêtres vivent bien plus longtemps que des poissons !) chez l'homme et le poisson¹.

Roger Lewin a écrit dans *Science* : « On possède suffisamment de données montrant que l'horloge moléculaire existe et fonctionne même si de nombreuses et valables raisons semblent s'y opposer². » Les « raisons valables » qu'il mentionne ici ne sont pas seulement liées au fait que le taux de mutations tel qu'il est observé aujourd'hui est, comme nous l'avons vu, constant par génération – et non relativement au temps astronomique –, mais également aux présupposés darwiniens selon lesquels « rien dans l'évolution ne devrait procéder de manière synchronisée³ ».

Il n'y a, à ma connaissance, pas d'autre façon d'interpréter l'existence de l'horloge moléculaire qu'en supposant qu'un facteur encore totalement inconnu coordonne les mutations génétiques dans le long terme. Et que ce facteur, à l'échelle de l'évolution, est bien plus influent que les facteurs darwiniens de mutation au hasard et de sélection naturelle.

Si les mutations au hasard étaient plus fortes que ce système régulateur d'origine inconnue, le génome de la mouche devrait avoir accumulé bien plus de mutations que celui de l'homme.

Si la sélection naturelle était plus forte que ce système régulateur, alors l'hémoglobine de l'homme, à cause de tous les changements qu'elle a traversés, devrait avoir, au cours de son évolution, muté beaucoup plus que celle d'un poisson. Nous avons vu que ce n'était pas le cas⁴ !

1. Toute cette analyse sur l'horloge moléculaire est tirée de deux livres de Michael Denton, *Évolution : une théorie en crise*, Flammarion, 1992, p. 282-315, et *L'évolution a-t-elle un sens ?*, Fayard, 1997, p. 356-364.

2. Roger Lewin, « *Molecular clocks turns quarter of century* », *Science* 239, 1988, p. 561-563.

3. *Ibid.*

4. Il est très important de noter que la sélection naturelle joue quand même un rôle dans cette histoire d'horloge moléculaire. Une protéine essentielle telle que les histones, par exemple, aura un taux de modification plus faible que le cytochrome C, tout simplement parce que toute une série de mutations possibles sont mortelles pour l'organisme. Mais le fait que des familles de protéines évoluent à des rythmes différents les unes par rapport aux autres ne remet en aucune façon en cause le raisonnement présenté ici qui se fonde sur le fait que l'accumulation des mutations dans une même famille de protéines se produit dans des organismes très différents au rythme du temps astronomique et non pas au rythme des générations. Il faut également préciser que l'action de la sélection naturelle, si elle était effective dans la situation décrite ici, n'amènerait pas forcément les protéines à évoluer plus vite, justement à cause des contraintes que nous venons d'évoquer.

Il semble bien que nous soyons en présence de la première preuve démontrant que des mutations peuvent être coordonnées sur le long terme au cours de l'évolution¹.

Des chaînons manquants qu'on ne cherche même plus

La question des « chaînons manquants » a suscité de nombreux débats dès la publication de *L'origine des espèces* par Darwin. Nous avons vu dans le passage consacré à Stephen Jay Gould, l'opposition existant entre les darwiniens forts qui, à la suite de Darwin, voient la vie comme un long fleuve tranquille et les darwiniens faibles, qui soutiennent une évolution alternant de longues périodes de stases et de courtes périodes de changements rapides. Pour les premiers, c'est l'imperfection des documents fossiles qui est la cause de leur absence. Pour les seconds, soit, dans certains cas, les intermédiaires n'ont jamais existé – il s'agit alors d'un « vrai » saltationnisme, on est passé en une génération d'une espèce à une autre grâce à un « monstre prometteur » –, soit la transition a été graduelle mais ultrarapide, ce qui constitue un « faux » saltationnisme. Sous la pression de conditions particulières, une espèce a évolué très vite à l'échelle géologique et il n'y a donc que très peu de chance que ces intermédiaires soient fossilisés.

Aujourd'hui, on sait, comme nous l'a dit Gould (cf. page 226), que la structure des fossiles déjà trouvés s'oppose au gradualisme classique. Mais ce « secret professionnel de la paléontologie » n'a pas encore été largement diffusé auprès du grand public. On peut le regretter car cela contribue à perpétuer des visions fausses de l'évolution (le fameux « redressement » graduel du singe).

1. Il existe bien des mutations qui sont constantes par rapport au temps astronomique et non par rapport au nombre de générations et qui peuvent s'expliquer de façon classique. L'addition d'un radical méthyle CH_3 peut transformer la cytosine en thymine *en dehors de toute répllication de l'ADN* ce qui rend ce processus indépendant du nombre de générations. Mais ce phénomène qui se produit dans des sites particuliers du génome (des séquences de régulation) n'a rien à voir avec le phénomène décrit ici (qui concerne les séquences des protéines) et ne peut l'expliquer. Voir : S.H. Kim, N. Elango, C. Warden, E. Vigoda, S.U. Yi, « Heterogeneous genomic molecular clocks in primates », *Plos genetics*, octobre 2006, vol. 2, n° 10, p. 1527-1534.

Des antidarwiniens mal informés croient pouvoir utiliser cette absence de chaînons manquants contre le darwinisme. Mais les darwiniens eux-mêmes ne cherchent plus de tels chaînons ! Ce qui ne les empêche pas d'en trouver quand même de temps en temps. Ainsi, des fossiles de « protobaleines » dotées de pattes postérieures ont été trouvés à partir de 1994¹.

Mais nombre de darwiniens ne cherchent même plus à savoir quels pouvaient être les ancêtres communs des espèces actuelles ! Ceux qui ont suivi les débats autour du darwinisme en France depuis dix ans savent que beaucoup des campagnes (voire des cabales) visant à discréditer les non-darwiniens ou à essayer d'étouffer leur voix, ont pour origine Guillaume Lecointre, professeur au Muséum national d'histoire naturelle². C'est donc un des darwiniens les plus durs (certains diraient des plus fanatiques) qu'il soit possible de trouver en France. Or, Lecointre est à classer dans la catégorie des cladistes. Les cladistes cherchent à bâtir des « arbres de proximité » et ont renoncé à bâtir des arbres généalogiques. Il leur paraît vain, voire incohérent, de rechercher « qui descend de qui » étant donné le caractère définitivement incomplet des documents fossiles. La bonne question est donc « qui est proche de qui ? ». Bien entendu, les cladistes sont totalement évolutionnistes mais, écrit Lecointre, « les intermédiaires ancêtres, au sens généalogique, resteront à jamais introuvables. Ou plus exactement, ils restent indémonstrables : tous les organismes actuels et fossiles sont nécessairement des intermédiaires puisqu'il y a eu généalogie, mais on n'a aucun moyen de savoir entre quoi et quoi ils le sont³ ».

Merci de l'aveu ! Venant de quelqu'un comme Lecointre, ce n'est pas rien. Je ne sais pas si tous les darwiniens seraient prêts à reconnaître cela (laissons cet intéressant débat se dérouler à l'intérieur du darwinisme), mais il est clair que cette conception progresse parmi les darwiniens. Ainsi Pascal Tassy, qui est également professeur au Muséum, et qui ne perd pas une occasion de fustiger les antidarwiniens, écrit-il dans le même ouvrage au titre évocateur (*Pour Darwin*) : « Les groupes ancestraux sont une

1. Ken Miller, *Finding Darwin's God*, Harper and Collins, 1999, p. 265.

2. Voir par exemple la lettre ouverte de Thomas Johnson sur le site Hominidés : www.hominides.com/html/actualites/actu181105-thomas-johnson-homo-arte.htm

3. Guillaume Lecointre, « Évolution et molécules : Denton en crise », in Patrick Tort (dir.), *Pour Darwin*, PUF, 1997, p. 720.

impasse ontologique sur le plan même de l'évolution, et la solution ne se situe qu'en dehors de la recherche des ancêtres [...] La recherche des liens directs entre ancêtres et descendants est inutile, voire trompeuse. Inutile, car les traits ancestraux se suffisent à eux-mêmes, trompeuse, car elle peut aboutir à la création d'artefacts d'autant plus perniciox qu'ils sont aisément popularisés : les groupes ancestraux. Ce constat disqualifie une grande part de la systématique évolutionniste (notamment celle qui fut considérée comme la plus significative), mais il ne disqualifie pas pour autant le contexte évolutionniste de la biologie moderne¹. »

Deux réactions :

— Premièrement, cela me laisse rêveur quand je songe à toute cette « systématique évolutionniste disqualifiée » qui s'étale dans *Science et Vie* et dans *Sciences et Avenir* ou dans les pages consacrées aux sciences des grands quotidiens. Quand informera-t-on le public que, dans la plupart des cas, il n'est pas possible de savoir exactement qui est l'ancêtre de qui ?

— Deuxièmement, une question iconoclaste : s'il est définitivement admis (du moins par des ultradarwiniens comme Lecointre et Tassy) qu'il est radicalement impossible de bâtir un arbre généalogique montrant comment les espèces se sont engendrées au cours de l'évolution, pourquoi serait-il scandaleux d'affirmer, comme je le ferai dans le chapitre suivant, qu'une partie des mécanismes permettant cet engendrement restera également inconnue ? Si l'on reconnaît qu'on ne peut déterminer qui est exactement l'ancêtre de X, n'est-il pas logique de penser qu'on ne peut pas non plus exactement savoir comment X est apparu ?

Pourtant lorsqu'on suggère cette idée à Lecointre, il réagit violemment, en condamnant ce « défaitisme épistémologique », ce « renoncement à connaître » susceptible de nous ramener vers le pire des obscurantismes... Ne lui est-il jamais venu à l'esprit que son propre travail (construire des arbres de proximité dans lesquels la mention des ancêtres communs est exclue) était également fondé sur un « renoncement à connaître » et un « défaitisme épistémologique » à travers lequel on n'a « aucun moyen de savoir entre quoi et quoi » un fossile donné est intermédiaire ?

Les sciences physique et biochimique sont fondées sur des faits et des mécanismes. Ici, les faits sont l'existence des êtres

1. *Ibid.*, p. 741-742.

vivants et les mécanismes sont ceux qui permettent de passer de l'un à l'autre. Certes, les archives fossiles sont très incomplètes, mais avec l'aide de la génétique et grâce à nos moyens de simulation extrêmement sophistiqués, nous devrions pouvoir bâtir un « tableau de dérivation » montrant qui est l'ancêtre de qui. Reconnaître que cela est impossible n'est-ce pas reconnaître que la théorie néodarwinienne ne fournit pas une bonne explication de l'évolution¹ ? Si c'est le cas, il faut soit admettre que des mécanismes totalement nouveaux sont à découvrir, soit, comme je viens de le mentionner, que les mécanismes en question ne seront jamais dévoilés (peut-être parce qu'ils sont noyés dans l'indéterminisme quantique).

De la nécessité des monstres prometteurs

Revenons aux équilibres ponctués, à Stephen Jay Gould et à Richard Goldschmidt. La véritable question est : y a-t-il vraiment des macromutations produisant des « monstres prometteurs » ou le saltationnisme est-il toujours un faux saltationnisme ?

Nous avons vu que Gould, dans *Le pouce du panda*, répondait par l'affirmative. Oui, pour de grandes transitions, il y a eu de vrais sauts, c'est-à-dire – il faut bien être conscient de ce que cela veut dire – des modifications se produisant en *une* génération. Plus tard, il a fait machine arrière sous l'« amicale » pression de ses collègues. Denis Duboule, généticien, professeur à l'université de Genève, membre de l'Académie des sciences française, m'a confié que, peu avant de mourir, Gould lui avait dit le regretter et avoir le désir de réétudier cette question.

Denis Duboule explique bien² que plus un système est complexe, plus il est intégré, moins il peut se modifier graduellement et soutient que certaines formes évoluées sont apparues grâce à des sauts. Comme l'aurait dit Marcel-Paul Schützenberger, qui lui aussi pensait qu'il a fallu que se produisent des sauts véri-

1. On pourrait alors dire avec Dominique Laplane (voir la postface) qu'elle n'est pas « heuristique », qu'elle ne permet pas de faire suffisamment de découvertes.

2. Conférence de Denis Duboule. (www.academie-sciences.fr/MEMBRES/D/Duboule_Denis_audio.htm).

tables au cours de l'évolution¹, « on ne fera pas passer graduellement les Anglais de la conduite à gauche à la conduite à droite ! ».

Voyons quelques exemples concrets de telles discontinuités :

Même si les singes les plus proches de nous, comme les chimpanzés bonobos, peuvent parfois avoir une démarche de bipède, cela leur est très difficile et ils ne peuvent garder cette position longtemps. Cela est dû au fait que leur bassin est adapté à la quadrupédie. La forme allongée de leur bassin ne soutient pas leur tronc quand ils se redressent (cf. figure 11.9).

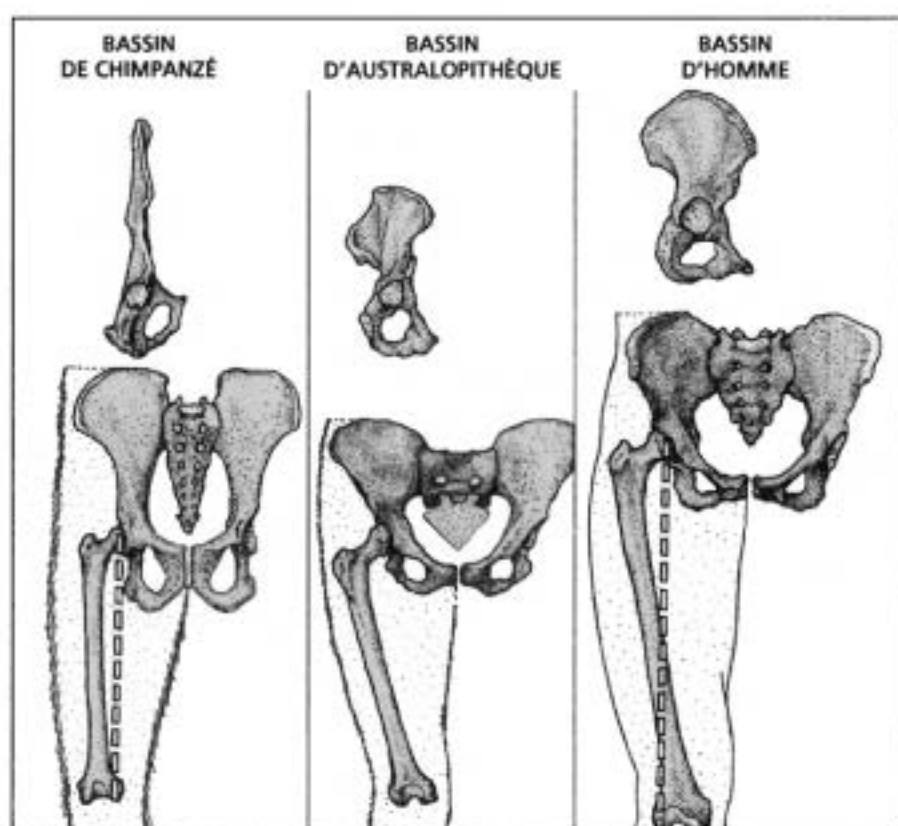


Figure 11.9.

Bassin de chimpanzé, bassin d'australopithèque, bassin d'humain.

En revanche, les plus anciens australopithèques ont un bassin « rond », rétréci par rapport à celui des grands singes, qui leur permet de marcher de façon bipède (même si leur bipédie était moins parfaite que la nôtre).

1. Voir son interview dans *La Recherche* n° 283, janvier 1996, p. 87-90.

Jean Chaline et Charles Devillers ont affirmé qu'il n'y a pas eu d'intermédiaires entre ces deux types d'être : un grand singe aurait donné naissance à un australopithèque¹ ! Cette discontinuité repose sur une nécessité théorique : les organes du tronc d'un être bipède doivent être soutenus par le bassin. Or, chez des primates, une évolution du bassin allant dans ce sens serait handicapante. Il est donc logique de postuler une transition non graduelle. L'existence des gènes de régulation – les fameux gènes *hox*, voir page 254 – fournit un mécanisme crédible à une telle transition.

Comme nous l'avons vu, les gènes *hox* contribuent à la mise en place des grandes structures dans un organisme. Ainsi, une mutation d'un de ces gènes pourrait provoquer un changement radical du bassin comme celui que nous avons décrit et, par conséquent, le « monstre prometteur » rester sagement à l'intérieur de l'orthodoxie darwinienne.

Mais d'autres problèmes se posent dans ce cas précis. Pour marcher debout, une modification de l'oreille interne est nécessaire ainsi, probablement, qu'une modification du cervelet. On sait bien que l'homme perd l'équilibre en cas de trouble de l'oreille interne. Donc l'australopithèque, heureux possesseur de la macromutation lui permettant d'être bipède, ne serait pas allé très loin sans la mutation de son oreille interne nécessaire pour marcher droit.

Mais ses parents, qui n'étaient pas bipèdes, ne pouvaient en aucun cas posséder cette mutation, elle aurait été handicapante pour eux. On voit donc ici une notion pas du tout, mais alors vraiment pas du tout darwinienne, pointer le bout de son oreille : celle de « macromutations coordonnées ». Marcel-Paul Schützenberger y avait fait allusion dans son entretien dans *La Recherche* qui avait fait scandale².

Passons de l'homme à la chauve-souris pour éviter toute accusation d'anthropocentrisme. Darwin lui-même avait donné l'exemple suivant : des petits mammifères ont développé des membranes faites de peau qui relient leurs membres antérieurs et postérieurs. En dépliant ces membranes, ils peuvent planer sur

1. Jean Chaline et Charles Devillers, *La théorie de l'évolution. État de la question à la lumière des connaissances scientifiques actuelles*, Dunod, 1990.

2. *La Recherche*, op. cit., p. 89.

des dizaines, voire des centaines de mètres. L'origine de cette membrane est un processus totalement darwinien : plus la membrane était grande, plus l'animal pouvait planer loin et échapper aux prédateurs. En évoquant le *Galeopithecus*, le plus célèbre de ces animaux, Darwin écrit alors : « Je ne vois pas de difficulté insurmontable à croire que les doigts et l'avant-bras du *Galeopithecus*, reliés par une membrane, aient pu être considérablement allongés par la sélection naturelle, modifications qui au point de vue des organes du vol auraient converti cet animal en chauve-souris¹. »

En ne « voyant pas de difficultés insurmontables », Darwin ouvre la voie à tous ses successeurs qui, eux aussi, établiront des séries graduelles hypothétiques entre deux espèces en oubliant, sciemment ou non, une « difficulté insurmontable » qui se situe sur le chemin.

Le *Galeopithecus*, malgré l'existence de son extraordinaire membrane, est pourvu de pattes lui permettant d'accomplir un certain nombre de gestes courants tels que s'agripper à une branche (cf. figure 11.10).

La chauve-souris, elle, peut réellement voler mais ne peut plus rien saisir, ses doigts s'étant transformés en structure de soutien de ses ailes (cf. figure 11.11).

Il saute aux yeux qu'en cas de transition graduelle de l'un vers l'autre, le *Galeopithecus* devrait perdre la fonctionnalité de ses pattes antérieures bien avant de pouvoir bénéficier des avantages dus au vol véritable. Il y a donc là une difficulté insurmontable : comment la sélection naturelle a-t-elle pu, pendant des milliers d'années, avantager des successions de mutants gravement handicapés puisqu'ils ne pouvaient plus se servir de leurs doigts et ne pouvaient pas encore voler ?

Ici aussi une macromutation a dû se produire. Et le problème est plus compliqué encore que pour l'apparition de la bipédie. Car si on peut envisager qu'un gène *hox* puisse, en mutant, changer la forme d'un bassin, il ne peut, à lui seul, transformer un animal pratiquant le vol plané en un animal pratiquant le vol battu. Battre des ailes nécessite en effet toute une « infrastructure » musculaire et respiratoire très différente de celle d'un animal capable de planer. C'est pourquoi un spécialiste des chauve-souris a

1. C. Darwin, *L'origine des espèces*, op. cit.

pu écrire : « Chez les mammifères connus, d'un point de vue morphologique, génétique et phylogénique, il y a eu une telle distance entre la pratique du vol plané et le mode propre aux chauve-souris, qu'on pourrait presque dire que le développement du premier exclut la probabilité du développement ultérieur du second dans une même lignée phylétique¹. »



Figure 11.10.
Galeopithecus ou lémur volant.

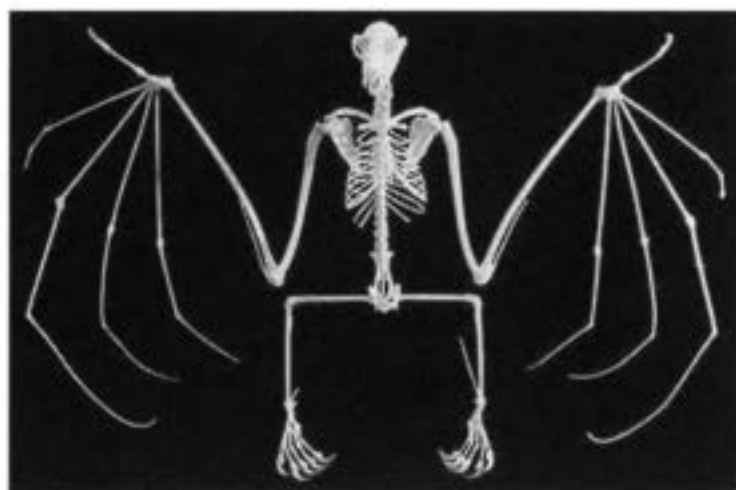


Figure 11.11.
Squelette de chauve-souris.

1. Glenn Jepson, « *Bats origins and evolution* » in W.A. Winsatt (dir.), *Biology of bats*, vol. 1, p. 1-64, voir p. 42-46.

Mais alors, comment les chauve-souris sont-elles apparues ? Ne faut-il pas penser, ici aussi, que des macromutations coordonnées par quelque chose ont eu lieu ? Ce problème de l'origine du vol existe aussi pour les oiseaux. Ils proviennent des reptiles, et là, nous avons un magnifique « chaînon trouvé », l'*Archeopteryx*, qui possède des ailes relativement proches de celles des oiseaux actuels et de nombreux caractères reptiliens. Mais si l'on veut le relier, par l'intermédiaire d'une suite graduelle d'intermédiaires, à un reptile arboricole vivant dans les arbres et capable de planer, on rencontre le même problème qu'avec la chauve-souris.

Des scientifiques tout à fait sérieux comme John H. Ostrom ont alors élaboré le scénario suivant : l'ancêtre des oiseaux était un reptile bipède insectivore qui attrapait des insectes en sautant et en courant après eux. Les écailles sur ses pattes antérieures ont poussé et se sont transformées progressivement en plumes. Cela a constitué des sortes de filets à papillon lui permettant de mieux rabattre les insectes vers sa bouche. Lorsque ces pièges à insectes furent assez développés, il les utilisa comme ailes et, au lieu de sauter après les insectes, commença à voler à leur poursuite¹.

Le seul problème avec cette belle histoire, c'est que tout le monde a fait l'expérience que, pour attraper une mouche, il vaut mieux utiliser une tapette à mouches grillagée, c'est-à-dire laissant passer l'air, qu'une tapette à mouches pleine, car alors la mouche est poussée par le courant d'air provoqué par le déplacement de la tapette et vous échappe. Or, pour voler, il faut une surface qui prenne appui sur l'air et, donc, qui ne le laisse pas passer à travers elle, c'est-à-dire le contraire d'une bonne tapette à mouches. Cela n'a pas empêché les darwiniens de reconstituer ce que pourrait être ce proto-oiseau (cf. figure 11.12).

De nouvelles découvertes ont été faites depuis sur l'origine des oiseaux, mais elles ne suppriment pas la nécessité d'une discontinuité dans l'évolution menant des reptiles aux oiseaux.

1. John H. Ostrom, « Bird flight : how did it begin », *American Scientist*, n° 67, 1979, p. 45-56. Cette hypothèse n'est certes plus aujourd'hui à l'ordre du jour mais elle est significative des jolies histoires que les darwiniens peuvent inventer afin de faire disparaître certains problèmes.



Figure 11.12.

Ancêtre hypothétique des oiseaux d'après John H. Ostrom.

Pour conclure sur ce problème du vol, il faut signaler une piste intéressante mentionnée par Stephen Jay Gould sur le développement du vol chez les insectes¹. Plus un objet est petit, plus il est difficile d'évacuer sa chaleur interne.

C'est la raison pour laquelle les ordinateurs portables sont plus chauds que les ordinateurs de bureau. Un insecte a donc bien plus de difficulté à évacuer la chaleur emmagasinée qu'un oiseau. Les ébauches d'ailes auraient permis aux insectes de mieux évacuer la chaleur. Une expérience montre que des insectes auxquels on a enlevé les trois quarts des ailes survivent mieux au soleil que des insectes à qui on a enlevé la totalité les ailes.

Certes, le sujet est encore loin d'être totalement éclairci, mais cela me paraît une solution crédible – bien plus, du moins, que les explications darwiniennes sur l'origine du vol des oiseaux et des chauve-souris.

Étant donné l'intrication des solutions darwiniennes et non-darwiniennes dans la nature (mimétisme darwinien et mimétisme non-darwinien par exemple), je ne serais pas surpris si l'origine du vol chez les insectes avait une explication darwinienne et celle du vol des oiseaux et des chauve-souris une explication non-darwinienne.

C'est cette imbrication de processus différents qui rend difficile l'identification des discontinuités qui, au cours de l'évolu-

1. Stephen Jay Gould, *La foire aux dinosaures*, op. cit., p. 137-140. Il s'agit de travaux de Kingsolver et Koehl.

tion, n'ont pu être franchies que par des macromutations donnant naissance à des « monstres prometteurs ». Ainsi Ken Miller note que Michael Behe et de nombreux antidarwiniens ont écrit que l'on ne trouverait jamais un fossile intermédiaire entre les mammifères terrestres et les cétacés tels que les baleines et les dauphins... quelques années avant que trois espèces intermédiaires différentes soient découvertes¹. En ce qui me concerne, je n'ai jamais employé l'exemple de la baleine dans les conférences que j'ai faites sur l'évolution de la vie. Tout simplement parce que l'existence des loutres marines, des lamantins, des lions de mer et des phoques fournissait l'idée générale de ce qu'une telle séquence pouvait avoir été.

Mais cette difficulté, voire ce risque de se tromper, ne doit pas nous empêcher de chercher à établir à quel moment les discontinuités ont pris place dans l'évolution. Le bassin des australopitèques et la chauve-souris seront toujours là pour nous rappeler qu'elles ne sont pas des illusions.

Connaissez-vous votre « capacité à évoluer » ?

Comme nous l'avons vu, des mutations se produisent à chaque nouvelle génération chez tous les êtres vivants. La plupart sont neutres et forment la base de la « dérive génétique », certaines sont mortelles et d'autres, enfin, sont bénéfiques, et leurs porteurs seront choisis par la sélection naturelle.

Ainsi, pour le darwinisme, tous les organismes sont égaux devant l'évolution. Face à un organisme donné, il est impossible de prédire s'il a plus de chances qu'un autre d'évoluer. Cela dépendra des mutations que, par hasard, auront subies ses descendants et des conditions environnementales qu'ils rencontreront. Si ces mutations leur permettent de mieux s'adapter aux nouvelles conditions, ils évolueront, sinon ils resteront ce qu'ils sont.

Rien ne serait donc plus absurde pour un darwinien que de parler d'une mystérieuse « capacité à évoluer », une prédisposition qu'auraient certains organismes et qui ferait qu'ils auraient

1. Ken Miller, *Finding Darwin's God*, op. cit., p. 264.

plus de chances d'évoluer que ceux qui en seraient dépourvus. Un darwinien y verrait un concept préscientifique, comme le « phlogistique » qui était censé donner aux corps solides une « capacité à brûler ».

Et pourtant, vous avez certainement déjà pesté contre la présence de cafards dans votre cuisine ou votre salle de bains. Or les cafards actuels sont absolument identiques aux cafards d'il y a cent millions d'années. Tout juste ont-ils acquis un segment de plus à leur antenne. Or, comme beaucoup d'insectes, les cafards mutent énormément. Depuis cent millions d'années, imaginez un peu les extraordinaires modifications d'environnement que les cafards ont dû subir pour aller des grandes forêts primitives jusqu'à nos égouts ! Alors comment explique-t-on leur absence totale d'évolution ? Les darwiniens répondront qu'aucune mutation assez favorable pour être sélectionnée n'est apparue pendant ces cent millions d'années. Alors pourquoi les primates (qui mutent beaucoup moins et vivent tellement plus longtemps que les insectes) ont-ils eu la chance de connaître assez de mutations pour passer, en quarante millions d'années, d'un être de la taille d'une souris à l'homme actuel ?

Mieux encore, la mouche drosophile est l'animal favori des généticiens, justement pour sa fréquence élevée de mutations. Or, on a retrouvé dans l'ambre de la Baltique des drosophiles de 50 millions d'années proches des drosophiles actuelles. Il paraît donc logique de distinguer « capacité à muter » et « capacité à évoluer ».

Prenons l'exemple inverse. Les reptiles thériodontes sont l'un des exemples favoris des darwiniens car il s'agit d'une des meilleures preuves de l'évolution des reptiles vers les mammifères. Cela est parfaitement exact mais si j'étais darwinien, j'évitais de trop en parler car tout en prouvant l'évolution, ils posent un sérieux problème au néodarwinisme.

La mâchoire inférieure d'un reptile se prolonge par deux os, l'angulaire et l'articulaire, qui s'articulent avec le carré, lui-même rattaché au crâne (cf. figure 11.13 en bas). Chez les mammifères, la mâchoire inférieure est directement articulée sur le crâne (cf. figure 11.13 en haut) et les trois os qui formaient l'ancienne articulation chez les reptiles, se retrouvent ensemble pour former l'oreille interne, organe dont les reptiles sont dépourvus.

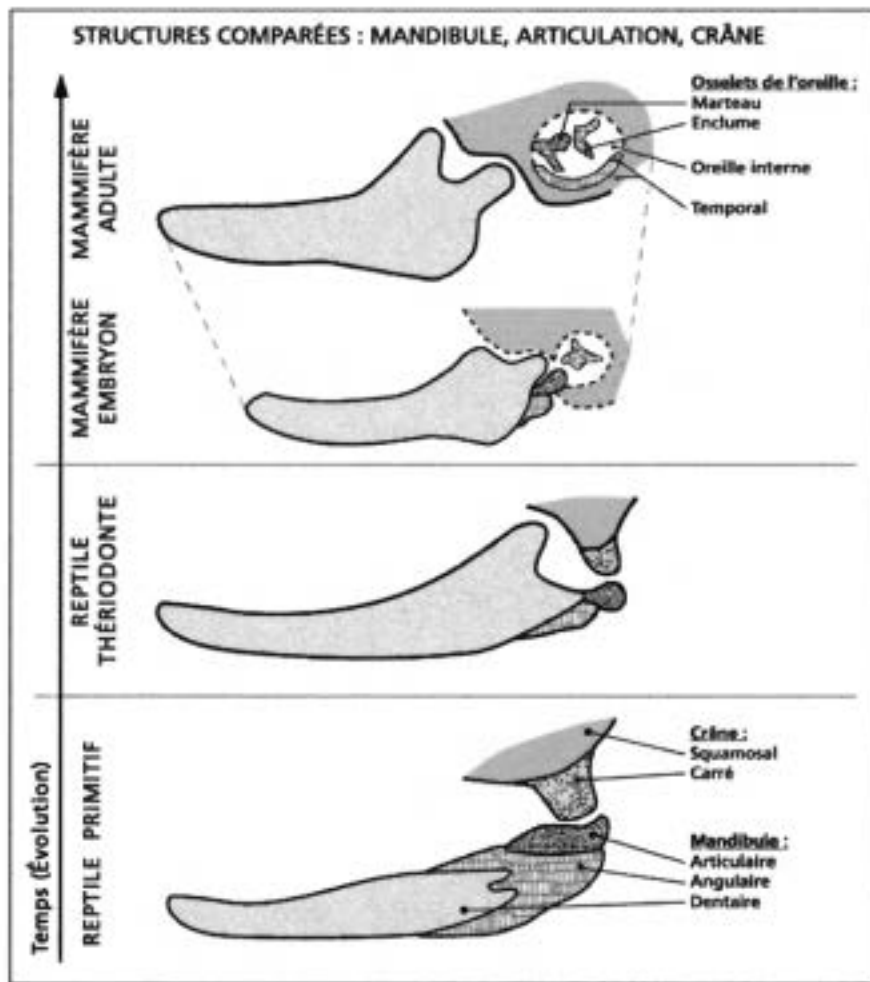


Figure 11.13.

L'évolution depuis les reptiles jusqu'aux mammifères était-elle orientée ?

Structure comparée de la mandibule et de son articulation, de bas en haut, chez un reptile primitif, un reptile thériodonte, un embryon de mammifère et un mammifère.

Bel exemple de « transfert de fonctions », concept clé du darwinisme – et de l'évolution – me direz-vous ?

Oui, et d'autant plus que lors du développement embryonnaire de la mâchoire inférieure chez les mammifères, l'articulaire et l'angulaire sont encore rattachés à la mâchoire avant de migrer vers l'oreille (cf. figure 11.13 en haut). C'est là qu'entrent en scène les reptiles thériodontes. Chez eux, la mâchoire a une double articulation : « en haut », comme chez les mammifères par contact direct de la mâchoire et du crâne, « en bas » par articulation du carré sur l'angulaire et l'articulaire comme chez les autres reptiles (cf. figure 11.13 au milieu).

Mais à quoi peut bien servir une double articulation de la mâchoire ? À continuer à manger quand l'une des deux est cassée, me répondrez-vous peut-être. Un simple coup d'œil à la figure 11.13 montre que tout accident qui fracturerait la mâchoire inférieure de l'animal du bas de la figure fracturerait également celle de l'animal du milieu. Comme dans le cas du cristallin du triton, il faudrait une véritable opération chirurgicale pour trouver un cas dans lequel le système du milieu pourrait fonctionner alors que le système du bas ne le pourrait plus.

Cette absence (théorique) d'avantage fonctionnel apporté par la possession d'une seconde articulation de la mâchoire est confirmée par l'observation (pratique) selon laquelle aucun autre vertébré n'a développé un tel système.

Alors, pourquoi, durant des millions d'années, des mutations qui ont lentement et graduellement construit un tel système ont-elles été sélectionnées ?

Jusqu'à preuve du contraire, la meilleure hypothèse me semble de postuler que quelque chose conduisait les reptiles thériodontes vers le stade mammifère. Leur double articulation de la mâchoire ne leur a servi à rien mais elle était essentielle pour que les mammifères soient, des millions d'années plus tard, pourvus d'une audition suffisante pour assurer leur survie – en entendant, par exemple, arriver leurs prédateurs.

« Scandaleuse conception finaliste basée sur votre foi et non sur la science ! », « Retour obscurantiste à l'époque où Bernardin de Saint-Pierre écrivait que la peau du melon avait des stries pour aider le chef de famille à le découper en parts égales ! » rugiront certainement les darwiniens qui liront ce paragraphe.

Et, pourtant, ce que je viens d'écrire provient d'une étude de Pierre-Paul Grassé, l'un des plus grands zoologues du XX^e siècle, qui montre que les reptiles thériodontes sont divisés en plusieurs sous-ordres, que chaque sous-ordre a développé dans leur mâchoire (ce que n'ont fait aucun autre ordre de reptiles) au moins quelques caractères mammaliens (mais pas tous jusqu'au même point) et que deux sous-ordres ont en parallèle connu la même évolution, les menant avec succès jusqu'aux mammifères¹. « En vérité et complète objectivité, on constate que les variations des thériodontes et des mammifères primitifs n'ont rien d'aléa-

1. Comme nous l'avons vu, il est quasiment impossible de bâtir des phylogénies avec certitude. Ce dernier point (la double évolution en parallèle) peut donc être remis en cause sans que cela réfute le raisonnement présenté.

toire ; elles s'additionnent, s'ajustent au cours du temps, sans avoir la moindre apparence pathologique. Aucun fait caractéristique de la mammalisation n'exige, pour être expliqué, un recours à la sélection¹. »

Il y a bien une « tendance vers ». Cela ne doit pas nous surprendre car l'évolution dans son ensemble est *bel et bien orientée* ! C'est un fait que n'importe qui peut constater, et qui n'a rien à voir, mais alors vraiment rien, avec la foi religieuse de tel ou tel auteur !

Jamais, au cours de sa si longue histoire, l'évolution n'a permis à un mammifère de redevenir un reptile, à un reptile de redevenir un batracien, à un batracien de redevenir un poisson, à un poisson de redevenir un invertébré. L'évolution ne retourne jamais en arrière, c'est ce qu'on appelle la loi de Dollo.

Les darwiniens l'expliquent généralement parce que, pour eux, une transition donnée nécessite que des mutations aléatoires se produisent juste au moment où les modifications de l'environnement les rendent favorables pour l'organisme qui les porte. Ils ajoutent qu'il s'agit là d'un événement très peu probable – et que, donc, la probabilité que l'événement inverse puisse par la suite se produire est quasi nulle !

Soyons sérieux ! Qu'est-ce qui est plus probable : que les premiers mammifères qui ressemblaient à des souris puissent se transformer en baleines, en hommes, en tigres, et en... chauve-souris, ou qu'ils se retransforment en reptiles thériodontes dont ils sont – à peine – (à l'échelle géologique) issus ?

Comme le dit très bien Rémy Chauvin, « si on admet juste à titre d'hypothèse que ce sont bien les mécanismes darwiniens qui sont responsables de l'évolution, et s'ils n'ont pas pu reconstruire un reptile à partir d'un mammifère, c'est qu'ils ne le pouvaient pas, parce que les mammifères n'ont plus les reptiles dans leurs possibilités évolutives ; un mécanisme essentiel a disparu ou s'est définitivement bloqué² ».

Donc il nous faut admettre que l'on doit ajouter, au minimum, un autre concept aux mécanismes darwiniens, celui de « capacité à évoluer ». Si les mouches drosophiles et les cafards n'ont plus évolué depuis tant de millions d'années, c'est qu'ils représentent la fin d'une trajectoire parmi les formes fonctionnelles dont Simon Conway-Morris a écrit qu'elles étaient « prédéterminées

1. Pierre-Paul Grassé, *L'évolution du vivant*, op. cit., p. 93.

2. Rémy Chauvin, *Biologie de l'esprit*, op. cit., p. 56.

depuis le big bang¹ ». Après eux, aucune forme fonctionnelle stable n'existe dans le grand arbre de la vie, ils constituent le rameau terminal d'une branche, alors que les reptiles thériodontes contenaient en eux la possibilité de devenir des mammifères.

Nous parlons bien ici de *lois de la nature*, pas de miracles ou d'interventions divines ! Des lois de la nature dont tous les faits accumulés ici tendent à montrer qu'elles *doivent* exister même si on est très loin d'être capable de les identifier.

L'existence de cette « capacité à évoluer », si évidente lorsque l'on étudie en même temps les drosophiles et les reptiles thériodontes, permet de comprendre bien des choses.

Je n'ai ici ni la place ni l'intention de revenir sur toutes les polémiques qu'ont suscité en France depuis dix ans les travaux d'Anne Dambricourt².

Mais à la lumière de ce que l'on a vu dans ce chapitre, la partie théorique de sa démarche, qui fait appel à des passages discontinus d'un plan d'organisation à un autre, qui constate une directivité et postule l'existence d'une mémoire interne, n'a rien de choquant et n'est certainement pas antiscientifique comme le prétendent certains de ses critiques les plus virulents.

Au contraire, dans un monde où l'on constate la nécessité de faire appel à des macromutations pour expliquer certaines transitions évolutives, où l'existence d'une horloge moléculaire montre que certaines mutations sont calées (dans le long terme) sur le temps astronomique, où l'existence de la loi de Dollo, des reptiles thériodontes et d'animaux panchromiques (insensibles au temps) font admettre l'existence d'une « capacité à évoluer » que les organismes peuvent avoir ou perdre... la démarche d'Anne Dambricourt synthétise de nombreux concepts qui sont au cœur des nouvelles voies de recherche relatives à l'évolution.

Encore faut-il regarder la nature avec de nouvelles lunettes et non avec celles du paradigme darwinien.

1. Simon Conway-Morris, *Life's solution*, *op. cit.*, p. 310.

2. Elle l'a fait elle-même pour les polémiques les plus anciennes dans son ouvrage *La légende maudite du XX^e siècle*, Éditions La Nuée Bleue, septembre 2000, et pour les plus récentes dans : carpediemcom.free.fr/dambricourt.htm

Et si l'évolution se faisait (presque) indépendamment de la sélection ?

Avec Simon Conway-Morris, nous avons déjà rencontré l'idée de contraintes qui s'exercent sur l'évolution et réduisent les possibilités de ce qui peut être produit à partir d'un être vivant donné. Cela est parfaitement admis par les darwiniens, y compris par Richard Dawkins lui-même¹.

Cela amène à minorer le rôle de la sélection non au profit de la contingence et du hasard (comme c'est le cas chez Stephen Jay Gould), mais, au contraire, au profit d'un certain déterminisme, de nature à expliquer certaines convergences. Comme le dit Marc Godinot (paléontologue du Muséum national d'histoire naturelle, considéré comme tout à fait orthodoxe), « il y a des facteurs internes qui limitent le champ des possibles, qui orientent la façon dont se sont produits les changements évolutifs, c'est-à-dire des contraintes de développement. Pour moi, ces contraintes sont fondamentales, elles nous permettent de comprendre pourquoi l'évolution a reproduit un certain nombre de fois des phénomènes semblables, c'est-à-dire a suivi, dans un certain nombre de cas, des parcours évolutifs que la sélection seule n'aurait pas suffi à faire revenir aussi souvent, à mon avis² ».

Toute la question est donc de savoir quelle est l'influence réciproque de la sélection et de ces contraintes de développement. Si le rôle de ces dernières est marginal par rapport au processus de sélection naturelle, on reste bien entendu dans le cadre du darwinisme.

À l'instant où je termine cet ouvrage, un livre de Vincent Fleury (chercheur au CNRS, biophysicien, spécialiste du développement des formes) vient de paraître dans lequel l'auteur affirme que ces contraintes jouent un rôle beaucoup plus important, au cours de l'histoire évolutive globale, que la sélection,

1. Voir *L'horloger aveugle*, op. cit., p. 357-360.

2. Marc Godinot, « Hasard et direction en histoire évolutive », in *Revue Laval théologique et philosophique*, n° 61, 3 octobre 2005, p. 497-514, voir p. 510.

pour déterminer la forme des êtres vivants et tout particulièrement celle des vertèbres tétrapodes.

Fleury pense que « les plans d'ensemble des animaux que nous observons sont issus de processus physiques quasiment automatiques¹ ». Et il n'hésite pas à proposer une théorie radicalement nouvelle de l'origine des êtres vivants dans laquelle la génétique (et donc les processus darwiniens de mutation et de sélection) ne joue qu'un rôle secondaire.

Fleury analyse le développement d'un embryon à partir de la première cellule, et montre que les dynamiques internes qui s'y développent peuvent être analysées par des concepts physiques précis. La base de sa théorie repose sur le calcul de la déformation induite dans le tissu vivant par une cellule qui se déplace.

De façon très schématique, elle peut être résumée ainsi : « La formation des animaux a pour cause unique la collision de deux jets de cellules analogues à des ronds de fumée, qui foncent l'un vers l'autre comme des automobiles. Avant la collision, les animaux sont comme des ronds. Au cours de la collision, l'embryon plie comme de la tôle ou plutôt comme le linge que l'on repasse trop vite. L'ensemble de ces plis constitue un animal, avec son dos, ses bras, ses jambes, sa tête, etc. C'est tout. Si l'embryon plie dans le sens gauche-droite, cela donne un vertébré, si l'embryon plie dans le sens tête-queue, cela donne un crustacé². »

Fleury montre de façon détaillée que les organismes sont des entités holistiques globales et non pas des ensembles d'organes qui s'ajouteraient les uns aux autres par des inductions successives. Il considère l'ADN comme fournissant les « briques de base » pour construire l'organisme. Mais pour l'essentiel, le plan d'ensemble se constitue tout seul grâce à des écoulements, des pliages, des collisions, des poussées des tissus qui constituent l'embryon.

Cette approche amène Fleury à parler d'« hypogénétique », c'est-à-dire de facteurs qui sont bien plus fondamentaux que la génétique et non plus d'« épigénétique », notion selon laquelle

1. Vincent Fleury, *De l'œuf à l'éternité, le sens de l'évolution*, op. cit., p. 240.

2. *Ibid.*, p. 33. Fleury explique que c'est en réfléchissant à la position du nombril et à la dynamique qui se développe autour dans les premiers stades de l'embryon, qu'il a été amené à sa découverte.

certaines caractéristiques des êtres vivants pourraient échapper à la dictature des gènes. Voici comment Fleury décrit cette nouvelle approche globale des êtres vivants : « L'ensemble du problème étant fondamentalement lié aux écoulements et plis de matière vivante, il est clair que chaque animal forme un tout [...] Il existe des liens subtils entre la forme des pattes avant et celle des pattes arrière, de la queue ou des oreilles [...] Ainsi, je pense que les mécanismes réels de morphogenèse procèdent à rebours de l'idée biochimique actuelle d'"induction". Les pièces ne sont pas indépendantes, induites à la queue leu leu. L'animal a une unité visible d'office et qui relie les parties d'une façon sous-jacente. Disons pour faire vite qu'il existe un *plan d'ensemble* (qui est le résultat de tous les plis produits par un écoulement d'ensemble assez fluide)¹. »

Fleury montre comment les plans d'ensemble aussi différents que ceux des vertébrés tétrapodes, des arthropodes (araignées) ou des cnidaires (méduses) peuvent se former de façon *très simple* grâce à de tels mécanismes... et sans que la génétique soit pour grand-chose dans la détermination de ces plans d'ensemble : « Comme je l'ai montré, la génétique joue un rôle minime dans le développement des organismes, dans leur forme (tous les arbres ont un tronc cylindrique indépendamment de la génétique). Les mutations modifient quelques molécules qui font tourner dans un sens ou un autre quelques rouages très simples [...] Les mini-évolutions² possibles à partir d'un animal donné sont déterminées par les lois de la physique au point qu'elles contraignent très fortement l'évolution. Nous verrons comment elles rendent l'apparition d'un animal allongé avec une grosse tête et des membres pratiquement inéluctable *malgré* tous les aléas de l'évolution sur cette pauvre Terre, qui en a pourtant connu³ ! »

Cette approche permet de répondre à de nombreuses questions comme celle-ci, posée par Marc Godinot : « L'important est de savoir si les trajectoires évolutives suivies avaient à chaque

1. *Ibid.*, p. 33-34.

2. Pour Fleury, les plans d'organisation se situent à un niveau beaucoup plus fondamental que pour la plupart des non-gradualistes. Ainsi, pour lui, l'évolution qui mène des prosimiens à l'*homo sapiens* est une mini-évolution (et non une micro) qui se déroule dans le même plan d'organisation, alors que cette évolution passe par 5 plans différents pour Jean Chaline et 6 pour Anne Dambricourt.

3. *Ibid.*, p. 206.

moment une seule, plusieurs, ou un grand nombre de directions possibles. Répondre à la question demanderait une connaissance des mécanismes mis en jeu¹. »

Or, en élucidant en partie ces mécanismes et en montrant que les trajectoires possibles sont en nombre réduit, Fleury laisse à penser que les grandes tendances que les paléontologues observent depuis longtemps dans l'évolution (augmentation de la taille, augmentation de la boîte crânienne chez les hominidés) ne sont pas dues à des effets de sélection (ce qu'on appelle l'orthosélection) mais bien à la dynamique induite par le développement des formes.

Ainsi, l'évolution serait bien comme le pense Michael Denton inscrite au cœur même des lois de la nature. Elle pourrait se répéter sur d'autres planètes de façon relativement similaire, malgré toutes les contingences dues aux modifications de l'environnement.

Cela amène Fleury à conclure : « L'évolution a donc un sens. D'abord, la nature a fait les plans d'ensemble avec les plis. Puis, elle a fait et continue de faire les finitions en utilisant le champ d'orientation créé par les forces dans les plis. *Le sens de l'évolution est celui qui est physiquement gravé dans le champ d'orientation des cellules* et quand on voit un petit préhominien au front fuyant et au museau pointu, on peut déjà prédire quelle sera la grosse tête ronde du *sapiens* en extrapolant les mouvements des feuillets embryonnaires, en particulier l'agrandissement en éventail de la boîte crânienne². »

Il est important de noter que Fleury n'est nullement finaliste et que sa démarche n'implique pas l'existence d'une finalité dans la nature. Ce n'est pas parce qu'un phénomène est déterminé que cela implique qu'une intelligence soit à l'origine de ce processus. Comme le dit Fleury lui-même, « il y a d'autres façons d'être déterminé que par le "Seigneur"³ ». Mais bien entendu, l'idée que l'évolution soit un processus devant de façon quasi inéluctable mener à un être bipède (qui, selon Fleury, aurait très bien pu apparaître dans une autre branche de l'arbre de la vie), pourvu d'un gros cerveau et de quatre membres est parfaitement compa-

1. Marc Godinot, « Hasard et direction en histoire évolutive », in *op. cit.*, p. 498.

2. *Ibid.*, p. 223.

3. *Ibid.*, p. 234.

tible (et bien plus que le darwinisme) avec l'hypothèse selon laquelle l'évolution posséderait bien un (ou des) but(s) prédéterminé(s).

Il est certainement trop tôt pour porter un jugement global sur l'approche de Fleury. Néanmoins, elle me paraît très importante pour au moins quatre raisons :

— Elle paraît constituer une véritable « pierre de Rosette » permettant de répondre à des questions très diverses et de synthétiser ou de renforcer toute une série d'approches décrites ici. En effet, grâce à Fleury, on peut mieux comprendre :

- Pourquoi Anne Dambricourt attribue à la rotation de l'embryon le développement de la bipédie.
- Pourquoi Jean Chaline, Anne Dambricourt et Michael Denton pensent que l'évolution est prédictible.
- Pourquoi Rosine Chandebois pense que le plan d'organisation des êtres vivants n'est pas inscrit dans l'ADN.
- Pourquoi D'Arcy Thompson et Michael Denton pensent que l'évolution « saute » d'un plan d'organisation à un autre.
- Pourquoi il existe dans l'évolution des convergences et pourquoi quelqu'un comme Simon Conway-Morris parle de déterminisme, d'attracteurs et de répétabilité de l'évolution.

Le fait que le travail de Fleury apporte un éclairage nouveau à des démarches souvent très différentes de la sienne, effectuées par des paléontologues, des généticiens ou des embryologistes dont il ne connaissait même pas les travaux lorsqu'il a mené les siens, me paraît être un signe de l'intérêt de ses conceptions.

— Elle montre que la situation est loin d'être figée dans les sciences de l'évolution et qu'à tout moment des conceptions radicalement nouvelles peuvent émerger.

— Elle montre (et c'est une surprise pour beaucoup, y compris pour moi) qu'une nouvelle théorie de l'évolution des êtres vivants peut reposer sur des concepts très simples et non sur des mécanismes hyper-sophistiqués.

— Elle constitue un exemple parfait de ce que peuvent être de « nouvelles lunettes » permettant de voir l'évolution autrement.

Recherchons micro-ondes et téléviseurs darwiniens

Quels que soient les ajouts théoriques et pratiques au néo-darwinisme fournis par le progrès de nos connaissances (et certains, comme les gènes de régulation, sont essentiels), l'essence même de cette théorie n'a pas varié depuis la publication de *L'origine des espèces* : il s'agit d'une théorie fondée sur le mécanisme dit « d'essais et d'erreurs ». On part d'un état X que l'on modifie de nombreuses fois au hasard. On regarde par rapport à un critère donné (par exemple la consommation minimale d'énergie) lesquels des mutants de l'état $X + 1$ sont les plus performants et on les recombine ensemble (chaque mutant est défini par un « génome », un certain nombre de bits d'information, duquel dépend ses performances). Et on recommence avec l'état $X + 2$, $X + 3$, etc.

L'algorithme que je viens de décrire s'appelle un « algorithme génétique » justement parce qu'il est supposé simuler la façon dont évolue un génome au cours d'un processus de sélection naturelle.

Mais quel est le réel potentiel de tels algorithmes ? Peuvent-ils faire évoluer un état X vers des formes qui ne soient pas seulement plus complexes que X mais également de *plusieurs ordres de grandeur* plus complexes que l'état X (la complexité d'un état ou d'un système peut se calculer par diverses méthodes) tout comme le mammifère ou l'oiseau sont plus complexes que la bactérie ?

Sur le papier, les théoriciens produisent avec des algorithmes de jolies structures dont la fonctionnalité n'est pas évidente. Mais supposons que cela marche, vous imaginez l'extraordinaire potentiel économique qu'il y a derrière ?

Prenons pour commencer des objets comme des fours à micro-ondes ou des téléviseurs, c'est-à-dire des objets bien moins complexes qu'un Airbus 380, lui-même bien moins complexe qu'un être humain.

Modélisons-les et faisons-les muter, puis mettons en place des procédures de sélection des mutants. L'effet sur notre société en serait incroyable. Des innovations efficaces seraient obtenues quasi automatiquement sans effort, sans recherche. Des milliers d'ingénieurs et de designers seraient mis au chômage. Plus

besoin d'eux ! Les processus de type darwinien répondraient à tous nos besoins d'innovation. Et quel argument de vente ! « Nos micro-ondes ont été conçus par la méthode même qui est à la base de toute la créativité et l'inventivité de la nature, une méthode infiniment plus performante que l'esprit humain, puisque celui-ci est incapable de bâtir une simple cellule vivante : la sélection agissant sur des mutations dues au hasard ! »

Mieux encore, en utilisant des systèmes de sélection multicritères, il devrait être possible, grâce au fameux « transfert de fonction », d'obtenir, toujours sans effort et sans intervention humaine, des fours à micro-ondes intégrant un téléviseur !

Il ne s'agit nullement ici de science-fiction mais d'une application modeste et très limitée de ce principe de « sélection des résultats d'un processus d'essais et d'erreurs », dont tant de scientifiques éminents pensent que lui, et lui seul, permet de passer en moins d'un milliard d'années d'un être unicellulaire à tous les êtres vivants existant sur terre.

Bon ! Regardons maintenant autour de nous : où sont-ils ces fours à micro-ondes et autres appareils « darwiniens » ? Serait-il possible que je sois le premier à avoir eu une idée aussi brillante ? Bien sûr que non ! Depuis plus d'un quart de siècle, de nombreuses tentatives ont été faites pour améliorer *via* ces procédés non seulement des fours mais même des avions. Les résultats ? Échec total ! Notons au passage que vous aurez du mal à trouver des articles sur ces résultats : dans notre société, on n'aime pas beaucoup communiquer sur les résultats négatifs, surtout quand ils sont gênants pour un paradigme aussi important que le paradigme darwinien.

Certes, on ne peut pas exclure que des ordinateurs plus puissants donnent, dans dix ou vingt ans, de meilleurs résultats. En fait, on peut même prédire que de légères améliorations de fours ou même d'avions seront certainement réalisées un jour grâce à ces procédés. Tout simplement parce que ce sont ces procédés qui ont permis en dix mille ans d'obtenir tous les chiens actuels à partir d'une seule espèce de chien, ou d'améliorer les chevaux et les vaches.

Mais nos ordinateurs sont déjà assez puissants pour produire en quelques jours des millions de générations d'un objet complexe. Cela nous montre bien certaines des limites du procédé. Si des améliorations ponctuelles des fours sont à attendre, il est plus que probable que l'on ne fabriquera jamais ainsi un four

téléviseur, de même que dans la nature, la sélection des éleveurs n'a jamais amené une vache ou un chien à devenir autre chose qu'une vache ou un chien (et pourtant, la sélection humaine, parce qu'elle est dirigée, va mille fois plus vite que la sélection naturelle).

Mais alors, si ces procédés ne sont pas capables de créer des fonctionnalités radicalement nouvelles, comment les nouveaux organes apparaissent-ils dans la nature ?

Le problème n'est pas nouveau. Dès 1967, un célèbre symposium au titre explicite s'est tenu au MIT : « Les défis mathématiques à l'interprétation néodarwinienne de l'évolution¹ ».

Le thème en était celui que nous venons de décrire : la théorie mathématique montre que les niveaux d'ordre que peut atteindre un tel processus sont limités. Oui, l'ordre peut surgir du chaos... mais il s'agit d'un ordre limité, très éloigné de celui qui existe chez les êtres vivants.

En 1967, avancer une telle affirmation était risqué. Après tout, il y a des gens qui se sont ridiculisés en affirmant qu'un objet plus lourd que l'air ne volerait jamais ! Quarante ans après, à une époque où l'on possède des ordinateurs capables de simuler des millions d'années d'évolution, les mathématiciens de l'époque (parmi lesquels Murray Eden, Moshe Flato, Marcel-Paul Schützenberger) apparaissent comme des visionnaires. Kurt Gödel était aussi allé dans cette direction en affirmant que le « mécanicisme en biologie », c'est-à-dire, pour lui, le darwinisme, serait réfuté un jour par un théorème de mathématiques montrant qu'il n'y a pas assez de temps depuis l'origine de la Terre pour aboutir à l'homme par une sélection des résultats d'un processus d'essais et d'erreurs².

L'idée générale en est la suivante. Si l'on se situe avant l'apparition de la vie, il n'y a pas encore de mécanismes de réplication, donc pas encore de sélection. On peut calculer la probabilité d'obtenir par hasard certaines protéines qui constituent les « briques » fondamentales de la vie. On peut également estimer le nombre maximal de collisions ayant eu lieu dans l'océan primordial où est apparue la vie. Et en déduire que la vie n'aurait pas dû apparaître car quel que soit le chemin pour produire une molécule

1. Paul Moorhead et Martin Kaplan (dir.), « Mathematical challenges to the neo-darwinian interpretation of evolution », *Wistar Institute Symposium Monograph*, 1967.

2. Hao Wang, Kurt Gödel, Armand Colin, 1990, p. 197.

donnée, l'exploration des diverses probabilités demande plus de temps que celui de l'âge de la Terre. Une fois la vie et donc l'ADN apparus, on peut faire un autre calcul estimant :

— Le nombre total de mutations ayant pu se produire dans les organismes vivants ;

— Le nombre de mutations favorables qui ont dû exister et être sélectionnées pour produire tous les êtres vivants connus ;

— La vitesse de diffusion des mutations favorables dans une population¹.

Bien entendu, il existe de grandes incertitudes concernant les valeurs qui entrent en jeu pour de tels calculs. Mais les ordres de grandeur qui interviennent dans ces calculs montrent que le processus n'a pas pu se dérouler dans le temps imparti. Par exemple, on n'a jamais pu trouver des probabilités qui soient plus grandes que 10^{-50} pour la formation des protéines fonctionnelles².

Cependant, les essais de simulation sur ordinateurs ne donnent pas seulement des résultats négatifs pour ce qui est de l'étendue des possibilités des algorithmes génétiques. Ils donnent aussi des résultats positifs pour d'autres algorithmes.

Ainsi Pierre Perrier, spécialiste de la modélisation, qui a eu accès aux grands ordinateurs d'un constructeur d'avions, et a pu vérifier de lui-même les difficultés existant pour permettre d'améliorer un système complexe de façon darwinienne, a des arguments de poids pour développer la ligne de pensée inaugurée en France par Marcel-Paul Schützenberger.

Dans un récent article³, il ne reprend pas seulement la démonstration selon laquelle la croissance de la complexité au cours de l'évolution dépasse de loin ce que peut faire un algorithme génétique. Il montre également que cette croissance correspond à un « algorithme de contrôle optimal ».

Dans un tel algorithme, le but recherché est intégré. Qu'est-ce que cela veut dire ?

Utilisons une analogie : un robot peut arriver au sommet d'une montagne avec un jeu d'instructions très simple l'amenant à

1. Pour ce dernier point, il existe depuis longtemps des modèles de génétique des populations montrant comment cette diffusion a lieu.

2. Pierre Perrier, communication personnelle.

3. « Que nous apprend l'analyse mathématique de la micro et de la macroévolution ? » in *L'evoluzione : crocevia di scienza, filosofia e teologia*, P. Rafael Pascual (dir.), Éditions Studium, Rome, 2005, p. 149-197.

grimper toujours plus haut, s'il peut gravir la montagne de façon régulière et en ligne droite. Mais s'il doit monter, redescendre, chercher son chemin, remonter, redescendre, etc., pour arriver au sommet, alors il faut :

— soit que le robot sache qu'il y a un but à atteindre,

— soit que, avant de commencer à redescendre, le robot explore à distance les chemins qui lui permettront de remonter.

Sinon, en effet, comment le robot pourra-t-il accepter de redescendre (même temporairement) ? Cela serait contraire à ses instructions. Il restera donc bloqué sur le premier « optimum local » qu'il rencontrera, c'est-à-dire sur la première crête, même si celle-ci est beaucoup moins haute que le sommet de la montagne. En remplaçant le système de commande du robot par la sélection naturelle, le problème apparaît immédiatement. Si l'évolution se fait graduellement sous l'influence de la sélection naturelle qui pousse les organismes vers toujours plus d'efficacité, elle ne devrait pas pouvoir « redescendre en arrière ». Or, nous avons montré qu'en cas d'évolution graduelle, cela devrait se produire, par exemple pour le passage du *Galeopithecus* à la chauve-souris. Le processus doit donc connaître soit la structure du « paysage » dans lequel il évolue, soit le but à atteindre (les coordonnées GPS du sommet, dans mon analogie avec le robot), ce qui implique bien sûr l'existence d'autre chose que les simples processus darwiniens.

L'un des exemples les plus célèbres d'un tel algorithme de « contrôle optimal » a été donné par Richard Dawkins. Nous avons déjà vu qu'il avait créé une simulation informatique permettant d'obtenir des formes complexes à partir d'un simple « Y ». Mais comme le système est trop simple pour intégrer la moindre fonctionnalité, ce n'est pas très convaincant : on va d'une forme d'abeille à une chauve-souris en passant par quelque chose qui ressemble à un crabe puis à un chat !

Dawkins a donc développé un autre programme afin de montrer la puissance des algorithmes darwiniens. Voilà ce que fait son programme¹ :

— Il génère par hasard une suite de vingt-six lettres.

— Il fait « muter » cette suite de lettres en changeant au hasard l'une d'entre elles.

1. Richard Dawkins, *L'horloge aveugle*, op. cit., p. 65-68.

— Il produit à chaque stade toute une série de mutants, chacun ayant une seule lettre de différence avec la « suite mère ».

— Il compare les mutants de la première génération avec une phrase anglaise de vingt-six lettres tirée d'une pièce de Shakespeare : « *Il me semble que cela ressemble à une belette.* »

— Il garde le mutant le plus proche de la phrase et recommence le processus.

Dawkins incite son lecteur à s'émerveiller parce que, en quelques dizaines de générations, le programme peut produire la phrase de Shakespeare : « Quelle puissance possède le couple "mutations-sélection" ! »

J'ai pu constater que cet exemple produisait un effet sur de nombreux lecteurs. Même le prix Nobel Francis Crick en a été impressionné.

Mais j'espère bien qu'il ne vous aura pas échappé à vous, lecteur attentif, que Dawkins a *intégré le but recherché* dans son programme ! C'est-à-dire qu'il a utilisé un « algorithme de contrôle optimal » – de la famille des algorithmes dont Pierre Perrier nous dit qu'ils sont les seuls à pouvoir simuler l'évolution.

Dawkins sait très bien ce qu'il a fait. Et s'il a « triché », c'est qu'il y était bien obligé. Si son programme s'était contenté de sélectionner les mutants qui contenaient un mot de la langue anglaise – c'est-à-dire s'il avait utilisé un algorithme génétique –, il lui aurait fallu des siècles pour obtenir une phrase anglaise correcte et sans doute des millions d'années pour obtenir la phrase de Shakespeare en question.

Quel extraordinaire aveu ! Quand Richard Dawkins, le « grand prêtre du hasard », l'« éliminateur » de toute trace de finalisme dans l'évolution, veut montrer la potentialité du couple « mutations au hasard/sélection », c'est-à-dire du cœur même du darwinisme, il est obligé de recourir à un programme qui connaît depuis le début le but recherché.

N'est-ce pas la meilleure indication possible permettant de penser que l'évolution s'est bien déroulée ainsi ?

Kipling a-t-il parodié le darwinisme ?

Trente ans après la publication de *L'origine des espèces*, Rudyard Kipling, qui sera mondialement célèbre grâce au *Livre*

de la jungle, publie une série de contes destinés, *a priori*, à sa fille, les *Histoires comme ça*¹ (*Just so stories*, en anglais).

On y apprend pourquoi l'éléphant a une trompe : un jeune éléphant voulait absolument avoir la réponse à la question : « Qu'est-ce que le crocodile mange pour dîner ? » Comme aucun de ses proches ne daigna lui répondre, il alla au bord du fleuve poser directement la question au crocodile. Celui-ci attrapa avec ses dents le tout petit nez qu'avaient alors les éléphants et répondit : « Ce soir, je crois que je vais manger de l'éléphanteau ! » Et il tira, tira, tira sur le nez. L'éléphanteau résista, résista, résista, comprenant que si le crocodile l'entraînait dans l'eau, il était perdu. Cela durant longtemps, longtemps, longtemps, et le nez du pauvre éléphanteau s'allongea, s'allongea, s'allongea. Puis le crocodile renonça et lâcha son nez, ce qui fit un « pop » sonore. L'éléphanteau était content d'avoir survécu mais bien triste de voir son joli nez transformé en une trompe. Il eut beau mettre des cataplasmes de boue dessus, son nez ne reprit jamais son aspect initial. Mais il se consola vite en découvrant toutes les choses extraordinaires qu'il pouvait faire avec son nouveau nez : cueillir des fruits dans les arbres, chasser les mouches de son dos, etc., et du coup, tous ses proches allèrent au bord du fleuve se faire tirer le nez par le crocodile. Et c'est pour cela qu'aujourd'hui, les éléphants ont des trompes.

Histoires comme ça est aussi un précurseur de la sociobiologie : on y apprend les causes du comportement animal. Dans le temps, le rhinocéros était capable d'enlever sa peau et il le faisait chaque fois qu'il allait se baigner. Mais le rhinocéros était voleur et la nuit, pour se nourrir, il pénétrait dans les cases des habitants pour manger les gâteaux qu'ils avaient préparés pour leur propre consommation. L'un d'eux voulut se venger et, pendant que le rhinocéros se baignait, tapissa l'intérieur de sa peau de miettes. Quand il eut remis sa peau, le rhinocéros fut pris de terribles démangeaisons, il se roula par terre et se frotta contre tout ce qui se trouvait près de lui, tant et si bien que sa peau se froissa et se bloqua : il ne pouvait plus la retirer ! Et voilà pourquoi aujourd'hui les rhinocéros ont un très mauvais caractère et se frottent contre tout ce qui passe à leur portée. : c'est parce qu'il y a des miettes sous leur peau...

1. Rudyard Kipling, *Histoires comme ça*, Gallimard Jeunesse, coll. « Folio Junior », 1979.

Si vous lisez ce charmant ouvrage, vous apprendrez aussi les raisons pour lesquelles le léopard a des taches ou le chameau, une bosse, ou bien encore pourquoi le crabe a une carapace.

Quel lien cela a-t-il avec notre sujet, me direz-vous ?

Vous pensez bien qu'il y en a un puisque le titre de ce chapitre est celui de l'ouvrage de Kipling. Depuis cent cinquante ans, notre connaissance du monde biologique a fait des progrès extraordinaires. Pensez qu'à l'époque de Darwin, on ne savait rien sur les mécanismes de l'hérédité ou le fonctionnement de la cellule ! Le darwinisme, puis le néodarwinisme (avec l'intégration de la génétique), ont puissamment contribué à ces progrès en expliquant des milliers de faits allant du développement de la résistance aux antibiotiques à certains comportements animaux en passant par des choses aussi incroyables que les cycles en « nombres premiers » (treize et dix-sept ans) chez certains insectes, ou l'imitation d'une forme de poisson par le coquillage *Lampsilis*. C'est quelque chose qui mérite le respect et qui est à la base de sa puissance actuelle.

Le problème, c'est que dès le début, le darwinisme (et aujourd'hui le néodarwinisme) s'est voulu hégémonique. Tant de choses pouvaient soudain être expliquées grâce au couple mutation-sélection, qu'il fallait absolument que cela puisse *tout* expliquer.

Or le darwinisme accepte bien que des phénomènes tels que la symbiose¹ ou l'auto-organisation jouent par-ci par-là un rôle mineur. Mais il ne peut tolérer de « partager la vedette » avec quiconque. Il ne doit pas exister d'« espace » pour d'autres mécanismes agissant dans la nature selon des principes totalement différents.

Pourtant, depuis cent cinquante ans, le darwinisme est confronté au même problème. Dans le monde où nous vivons, si la sélection naturelle peut faire énormément de choses, elle ne peut toutefois pas faire apparaître la forme exacte d'une espèce de champignon sur les ailes du *Kallima*, ni mettre au point un système de régénération du cristallin du triton, ni sélectionner les phacochères ayant par hasard des callosités sur les genoux, ni réaliser la

1. Développée par Lynn Margulis, c'est l'idée selon laquelle la cellule actuelle peut être née de la fusion de plusieurs entités auparavant indépendantes, un phénomène qui, *a priori*, ne serait pas lié à la sélection naturelle. Voir Lynn Margulis, *L'univers bactériel*, Seuil, 2002.

double mâchoire des reptiles thériodontes, ni des milliers d'autres choses...

Étant donné que les darwiniens ne veulent pas s'ouvrir à d'autres explications susceptibles de transformer notre vision de l'évolution, ils en sont réduits à côté, ou même au sein de travaux scientifiques très sérieux, à inventer de jolies histoires qui n'ont rien à envier à celles de Kipling.

Quelle belle histoire Kipling n'aurait pas manqué d'écrire à propos du petit insectivore qui courut si bien après les insectes qu'il finit par les poursuivre dans les airs et devenir un oiseau. Ou à propos du petit phacochère qui, pendant quelques mois, put s'agenouiller plus confortablement que ses frères grâce aux callosités apparues sur ses genoux et qui en tira un tel avantage qu'aujourd'hui tous les phacochères descendent de lui... En fait, certains commentateurs pensent que les histoires de Kipling, écrites en pleine période de développement du darwinisme, se voulaient aussi une critique de cette théorie qui, déjà, se devait de raconter de jolies histoires pour fournir une explication globale de l'évolution.

Une autre théorie de l'évolution est possible

Voilà donc la première raison de ne pas croire que le darwinisme fournisse une explication globale de l'évolution. Elle n'est fondée sur aucun *a priori* philosophique, religieux ou théologique. Elle est, en revanche, fondée sur l'amour et le respect de la méthode scientifique. Si un esprit universel tel que l'était Marcel-Paul Schützenberger (qui fut mon mentor dans ce domaine et avec qui j'ai eu la chance d'avoir des dizaines d'heures de discussion) n'a jamais accepté le néodarwinisme, c'est parce que c'était un homme d'une grande rigueur scientifique et qu'il avait trop de respect pour l'extraordinaire phénomène que constitue l'évolution pour accepter qu'on l'explique, ne serait-ce que partiellement, par le biais de contes de fées.

Mais il n'existe pas que des raisons négatives qui empêchent d'accepter le néodarwinisme comme une explication globale de l'évolution (la sélection naturelle n'a *pas* le pouvoir de... les pro-

cessus d'essais et d'erreurs ne peuvent *pas* atteindre les niveaux d'ordre les plus élevés...). Il y a également des faits qui nous donnent des raisons *positives* de chercher des explications non-darwiniennes.

— Des faits comme les callosités du phacochère ou le développement, chez les bacilles de la tuberculose, d'une résistance à quatre antibiotiques à la fois, parlent en faveur de l'existence d'un néolamarckisme, c'est-à-dire d'influences subtiles susceptibles d'affecter l'ADN à partir de l'environnement.

— La présence de l'image d'un champignon sur les ailes du *Kallima* ou de papillons comestibles imitant des papillons comestibles parlent en faveur de l'existence de formes archétypales dans la nature, ce que D'Arcy Thompson avait déjà contribué à montrer.

— L'existence d'une horloge moléculaire faisant évoluer certaines protéines en fonction du temps astronomique et non en fonction du nombre de générations, l'évolution des reptiles thériodontes comparée à celle des cafards, le fait que l'évolution ne revient jamais en arrière sont autant d'indices amenant à penser que des processus différents des processus darwiniens interviennent dans l'évolution.

Voici donc quelques-unes des raisons objectives (il y en a encore d'autres mais les citer toutes nécessiterait un livre entier) de ne pas accepter le néodarwinisme comme une explication globale de l'évolution. Maintenant que nous savons qu'il est scientifiquement légitime de renoncer à la généralisation des processus néodarwiniens, voyons vers quelle autre vision de l'évolution peuvent nous amener les indices récoltés ici.

Recherchons Einstein de l'évolution (urgent) !

« Un préjugé est plus difficile à briser qu'un atome. »

Albert Einstein

Newton > Darwin > Ptolémée

Tous les faits que nous venons d'analyser au cours du chapitre précédent sont comme autant de trous dans la « chambre à air » du néodarwinisme. Pour l'empêcher de se dégonfler, il faut en permanence coller des rustines (les *Histoires comme ça*). Tout comme la théorie de Ptolémée a dû multiplier les « épicycles » afin de sauver la cohérence du système.

Est-ce à dire que la théorie de Darwin est du même niveau que celle de Ptolémée ? La question est d'une grande importance car nous avons vu qu'il y a deux sortes de théories : celles qui sont appelées à disparaître un jour, étant fondamentalement fausses, telles celle de Ptolémée et celles, comme la théorie newtonienne, qui sont appelées à être intégrées dans une synthèse plus vaste, passant d'un statut de « théorie absolue » à celui de « théorie expliquant des cas particuliers ».

Alors Darwin connaîtra-t-il le sort de Ptolémée ou celui, plus enviable, de Newton ? Mon pronostic est que la théorie néodarwinienne est un cas intéressant qui se situe entre les deux. Darwin ne disparaîtra pas comme Ptolémée parce qu'il explique – et continuera à expliquer – de très nombreux faits. Sa théorie est et restera un outil très important pour comprendre le monde du vivant.

Mais elle sera remise en cause plus profondément que la théorie de Newton, car cette dernière permet tout de même d'expliquer de façon relativement correcte le mouvement des corps célestes, alors que les faits que nous venons de décrire montrent que la théorie néodarwinienne est loin, dans son domaine, de donner une explication aussi globale des mécanismes de l'évolution.

Ainsi, une nouvelle théorie de l'évolution est nécessaire (que nous appellerons par la suite NTE). Nous ne pouvons pas savoir sur quoi elle reposera, mais, comme à l'époque de Copernic, nous pouvons montrer la *nécessité* qu'il y a à la rechercher. Pour aller plus loin, nous aurions besoin d'un « Einstein de la biologie » qui nous ferait accomplir une avancée fondamentale grâce à des concepts radicalement nouveaux.

Je dis bien un Einstein et non un Newton car les éléments que nous avons déjà en notre possession nous montrent que la NTE sera aussi étrange et éloignée de nos concepts familiers que le sont la relativité générale et la mécanique quantique.

Pour comprendre la situation actuelle, laissez-moi vous raconter une histoire. Peut-être penserez-vous, en la lisant, que moi aussi, je fais comme les darwiniens et raconte des *histoires comme ça*. La grande différence, c'est que mon histoire est une métaphore : elle ne prétend pas décrire la réalité mais aider à la comprendre. Et les réactions qu'a suscitées sa première publication¹ ont montré qu'elle est très importante pour comprendre les positions actuelles concernant l'évolution et la *nécessité* d'une NTE.

Supposons que la planète Pluton soit couverte à 100 % par des nuages, comme c'est le cas de Vénus. Que la vie existe sur Pluton et que l'évolution ait conduit (par un remarquable phénomène de convergences, cf. les idées de Simon Conway-Morris) à des êtres proches de nous mais adaptés (de façon darwinienne !) aux grands froids qui règnent là-bas. Étant donné le problème que représentent les basses températures pour la survie des « plutoniens », les changements climatiques ont, pour eux, une extrême importance. Ainsi, toutes les religions existant sur Pluton tournent autour du climat : on prie les dieux depuis des milliers d'années pour que le climat se réchauffe.

Mais un jour, il y a cent cinquante ans, un jeune scientifique plutonien, Dharles Carwin, fait le tour de Pluton en bateau et mesure la pression atmosphérique tout autour du globe. Il découvre l'existence des fronts froids et des fronts chauds. À son

1. En anglais, www.metanexus.net/conference2005/pdf/staune.pdf

retour, il élabore une théorie totalement révolutionnaire : selon lui, l'alternance des périodes froides et des périodes chaudes est un phénomène totalement chaotique lié aux affrontements entre des masses d'air froid et chaud. Le froid n'a donc rien à voir avec une punition divine, de même que la chaleur n'est pas davantage une récompense. Il fonde ainsi une nouvelle science : la météorologie. Un siècle après sa mort, ses disciples, les météorologues carwinistes, sont capables de prédire le temps et surtout la température trois à quatre jours à l'avance ! Ces résultats extraordinaires provoquent à la fois une diffusion croissante de la météorologie au sein de l'enseignement de toutes les écoles sur Pluton et l'effondrement des systèmes de croyance traditionnels.

Reste que les météorologues se trompent assez souvent. Les fondamentalistes, adeptes d'une interprétation littérale de la religion de Pluton selon laquelle ce sont les dieux qui régissent le climat, en profitent pour développer une école de pensée antimétéorologique. Pour eux, si le climat évolue de façon autonome dans la majeure partie des cas, les dieux n'en interviennent pas moins régulièrement pour l'orienter vers plus de froid ou de chaleur. Et chaque fois que les prévisions des météorologues sont erronées, c'est qu'une intervention des dieux a modifié le climat !

Les météorologues rétorquent qu'il s'agit de conceptions absurdes et arriérées. Au fil des années, en effet, leurs prédictions ne cessent de s'améliorer, ce qui tend à prouver que c'est davantage l'imperfection de leurs techniques de récolte et d'analyse des données qui expliquent les échecs de leurs prévisions que des interventions divines. Le débat fait rage sur Pluton, les anti-météorologues ont de puissants soutiens hors du monde scientifique et veulent enseigner leurs conceptions à l'école. Les scientifiques s'y opposent de toutes leurs forces, alléguant que cela serait une terrible régression scientifique.

Un jour, un météorologue un peu excentrique, Dichaël Menton, remarque que le climat sur Pluton était en moyenne plus froid il y a deux cents ans (il s'agit bien sûr d'une durée équivalente à deux cents années sur terre !) qu'à présent. Il publie un livre dans lequel il affirme que des forces inconnues coordonnent le climat dans le long terme et que les météorologues carwiniens ne peuvent en rien expliquer cela puisqu'ils font appel à des processus dus au déplacement aléatoire de masses d'air.

Pour lui, les carwiniens ne peuvent expliquer l'évolution du temps que dans le court terme – et non dans le long terme. Aussi-

tôt, il est dénoncé comme hérétique par les carwinistes. Postuler des forces inconnues (que Menton est bien incapable d'expliquer) est un retour à l'âge préscientifique. Cela renforce donc les antimétéorologues dans leurs positions et les aide à défendre leurs absurdes doctrines. Les idées de Menton font leur chemin sur Pluton auprès d'une petite minorité de météorologues qui devient non carwinienne. Elles attirent aussi l'attention des antimétéorologues. Un certain nombre d'antimétéorologues vont s'allier avec une minorité de la minorité des météorologues non carwiniens. N'ont-ils pas un ennemi commun et tout puissant : les météorologues carwiniens ? Or, l'union faisant la force... ils créent ensemble un nouveau mouvement, le IC (*Intelligent Climate* !). Puisque le climat sur Pluton est coordonné par quelque chose, il faut donc bien qu'un coordinateur intelligent existe. Aucun phénomène naturel crédible n'est à même d'expliquer cette coordination.

L'IC a peu de soutien scientifique, mais son poids médiatique est très important. Dans les médias aussi bien qu'au sein de nombreux mouvements religieux, il prend la place qui était auparavant occupée par les antimétéorologues purs et durs.

Comme l'IC regroupe une majorité d'(ex- ?) antimétéorologues, ceux-ci tentent de pousser le bouchon un peu plus loin en essayant de remettre en cause quelques-uns des acquis des carwiniens concernant l'évolution à court terme – et non seulement à long terme – du climat. Cela contribue bien sûr à décrédibiliser le mouvement et à renforcer le carwinisme.

Menton, lui, après avoir un moment flirté avec les supporters de l'IC s'en est éloigné d'un pas décidé. Menton ne nie pas qu'il y ait une finalité, mais il pense que les tenants de l'IC vont trop vite en besogne en affirmant qu'un agent intelligent contrôle le climat dans le long terme. Pour lui, ce contrôle serait dû à une loi naturelle (une « horloge interne » à Pluton par exemple, avec un cycle de deux cent cinquante ans qui agirait sur le champ magnétique de Pluton qui, à son tour, agirait sur le climat). S'il y a un agent intelligent, c'est celui qui a conçu les lois naturelles. Mais sa voix est inaudible au milieu du débat bruyant opposant carwinistes et ICistes.

D'ailleurs, il passe la plus grande partie de sa vie à réaliser des mesures dans des pays inaccessibles... loin des plateaux de télévision. Comme il n'existe, sur Pluton (comme chez nous), de relevés météorologiques que depuis l'équivalent de deux cents années terrestres (puisque les variations du climat relevaient de la volonté divine, il ne servait à rien d'en faire des relevés), il faudra attendre très longtemps (près de cinq cents années terrestres) pour que la

notion de « cycles mentoniens » commence à être prise au sérieux. Il existe bien, sur Pluton, des périodes plus chaudes au terme d'une période équivalant à deux cent cinquante années terrestres.

Pendant ce temps, des écoles de météorologues non carwiniens se développent, chacune ayant son idée de ce qui peut occasionner de tels cycles. Mais les carwiniens tiennent encore le haut du pavé. Ils affirment qu'aucune école non carwinienne n'a fourni la moindre idée crédible à propos de l'origine des cycles, et que les cycles observés peuvent être dus au seul hasard. Afin de crédibiliser cette théorie, ils développent un énorme arsenal de simulations sur ordinateur (car ils ont mille fois plus de moyens pour effectuer leurs recherches que les non-carwiniens), qui donnent des résultats partiels que les carwiniens présentent comme suffisants pour prouver que le climat de Pluton peut être expliqué uniquement par des mécanismes carwiniens.

Et ils s'opposent toujours avec succès à l'enseignement des conceptions de la météorologie non carwinienne qui affirment que des « forces internes » à Pluton contrôlent le climat dans le long terme tout comme ils s'opposent (à juste titre !) à l'enseignement des conceptions antimétéorologiques selon lesquelles le climat serait sous le contrôle quasi quotidien des dieux !

Nous, de notre côté, connaissons bien sûr la clé de l'énigme : Pluton met deux cent quarante-huit ans pour tourner autour du Soleil. Ce que les plutoniens essaient de découvrir n'est rien d'autre que le concept de « saison ». Mais comment voulez-vous qu'ils y parviennent alors qu'ils n'ont pas la moindre idée que tout un univers existe à l'extérieur de leur planète, qu'ils n'ont jamais vu le Soleil ou la moindre étoile, que les différences de température moyennes entre été et hiver sont faibles et séparées par une durée largement supérieure à celle d'une vie humaine ?

Il faudra attendre que les plutoniens construisent une machine pour explorer les nuages. En les traversant, ils auront un choc aussi gigantesque que l'humanité lorsqu'elle est passée d'une conception d'un monde de petite taille, centré sur la Terre, à un monde contenant des milliards de galaxies, chacune d'entre elles dotée de milliards d'étoiles.

Sur Pluton, les conceptions des matérialistes autant que celles des croyants seront alors bouleversées et devront être renouvelées. Cela ne se fera pas forcément au détriment de la religion. Par exemple, la découverte de l'Univers entraînera les scientifiques de Pluton à découvrir la théorie du big bang et le principe

anthropique, et donc à se poser de nouveau la question de l'existence de Dieu et de son action dans le monde, mais de façon infiniment plus subtile que les « non-météorologistes ».

Cependant, une chose est sûre : sur Pluton, les météorologues carwiniens apparaîtront comme des obscurantistes, eux qui voulaient justement lutter contre l'obscurantisme en évitant à leur société de revenir à des conceptions précarwiniennes ; ils ont en effet retardé de plusieurs siècles certains progrès dans les connaissances scientifiques des plutoniens. Quel paradoxe pour ceux qui, avec l'invention de la météorologie, avaient été à l'origine d'un progrès essentiel dans la vie des plutoniens !

En fait, leur erreur est similaire à celle faite sur terre par ceux qui ridiculisèrent l'idée de Wegener sur la dérive des continents (mais également, ô ironie, à celle des créationnistes qui rejettent la notion d'évolution sous prétexte que les darwiniens ne fournissent pas un mécanisme suffisamment convaincant pour l'expliquer !). Ce n'est pas parce que l'on est dépourvu de mécanismes pour expliquer un fait qu'il faut pour autant nier la probabilité de son existence.

Les « carwinistes » de Pluton étaient jusqu'à un certain point de bons scientifiques, cependant ils n'ont pas regardé les faits de façon assez globale. Ils sont restés enfermés dans une attitude réductionniste professant que les causes des changements qu'ils observaient dans le court terme étaient les mêmes que celles se produisant sur un temps beaucoup plus long.

Bien entendu, mon histoire ne concerne pas Pluton !

— Les antimétéorologistes sont les créationnistes qui nient les évidences. Oui, il existe des intermédiaires entre les singes et l'homme, oui, la Terre (et la vie sur terre) existe depuis des milliards d'années, oui, notre plus ancien ancêtre est bien un être unicellulaire.

— Les carwiniens correspondent aux darwiniens qui affirment que les mutations dues au hasard et la sélection naturelle sont les principales forces qui dirigent l'évolution.

— Les météorologues non carwiniens correspondent aux biologistes évolutionnistes non darwiniens. Parmi eux, les « mentoniens » correspondent à ceux qui, comme Michael Denton, Rémy Chauvin, Pierre-Paul Grassé, Christian de Duvé, Simon Conway-Morris, Anne Dambricourt ou Jean Chaline, affirment, de façon différente et à des degrés divers, que l'évolution est orientée ou est, d'une façon ou d'une autre, prévisible quand on la regarde sur une échelle de temps suffisamment grande.

— Le mouvement du IC correspond, comme vous l'avez déjà deviné, à l'*Intelligent Design* (ID). Les tenants de l'ID déduisent du fait que l'évolution est canalisée, voire orientée, qu'elle est dirigée par un agent intelligent.

Michael Behe considère clairement comme improbable qu'une loi naturelle soit à l'origine de cette coordination¹. Puisque les darwiniens se trompent et puisque l'évolution est bel et bien régulée par quelque chose, il faut donc postuler qu'un concepteur intelligent a permis l'apparition des structures complexes sur la Terre. Comme les « ICistes » sur Pluton, c'est aller un peu trop vite ! La coordination du climat sur Pluton s'explique « simplement » par l'existence de tout un univers dont les plutoniens n'ont pas la moindre idée. La canalisation ou l'orientation de l'évolution sur terre s'expliquera « simplement » par la découverte de tout un niveau insoupçonné du réel et par son interaction avec le monde des êtres vivants. Dans les deux cas, sur Pluton comme sur la Terre, ces découvertes ne fourniront *aucune* preuve de l'existence de Dieu. Mais dans les deux cas, elles donneront une vision du monde qui rendra les conceptions non matérialistes plus crédibles qu'elles ne l'étaient auparavant.

Le premier point pour élaborer la NTE est : qu'est-ce qui constitue sur terre et en biologie l'équivalent de la mystérieuse coordination du climat en météorologie sur Pluton ?

Il s'agit de trois types de phénomènes décrits au chapitre précédent :

— Ceux qui montrent que l'évolution est canalisée ou régulée par quelque chose, comme l'horloge moléculaire qui suit le temps astronomique ou le passage des reptiles aux mammifères.

— Ceux qui montrent que des formes, voire des organes, peuvent s'« incarner » ou se développer sans que la sélection naturelle y soit pour quoi que ce soit, comme le cristallin du triton, les papillons comestibles qui imitent des papillons comestibles ou la présence d'une imitation d'une espèce particulière de champignon sur les ailes du *Kallima*.

— Ceux qui plaident en faveur du néolamarckisme, comme les mutations adaptatives des bactéries, les callosités sur les genoux du phacochère ou la transmission des idiotypes dans le système immunitaire des souris.

1. Michael Behe, *Darwin's black box*, op. cit., 1996.

À terme, il semble que trois sortes de théorie seront nécessaires pour expliquer ensemble l'évolution de la vie :

— Le *néodarwinisme*, qui restera la théorie de référence pour expliquer la plupart des microévolutions et des adaptations que nous constatons dans notre vie quotidienne (comme les météorologistes carwiniens sont irremplaçables sur Pluton pour prédire le temps qu'il fera demain).

— Le *néolamarckisme*, qui expliquera la raison pour laquelle, dans une situation donnée, des animaux survivent grâce à de nouvelles adaptations à un rythme beaucoup plus rapide que celui des schémas darwiniens. Mais ce néolamarckisme sera lui-même tout aussi incapable que le néodarwinisme d'expliquer les grandes transitions ou les grandes tendances évolutives.

— La NTE, dont le rôle sera justement d'expliquer la macroévolution, qu'elle soit non graduelle (la naissance des « monstres prometteurs ») ou qu'elle soit graduelle mais canalisée (le passage des reptiles aux mammifères) ou qu'elle regroupe ces deux types de processus (le passage des prosimiens à l'homme).

De quels concepts disposons-nous déjà pouvant servir à ébaucher une NTE ?

— Les conceptions de Christian de Duve et Simon Conway-Morris selon lesquelles l'évolution de la vie serait d'une façon ou d'une autre canalisée vers des formes de plus en plus complexes amenant à l'existence d'êtres conscients. Les deux théories ont en commun le fait que le nombre des formes possibles dans la nature est bien plus réduit que ne le pensent les darwiniens. Pour Christian de Duve, le processus est un simple processus d'« exploration des possibles » par des voies tout à fait darwiniennes. Mais comme le nombre des possibles est assez limité, on est sûr de tomber dessus par hasard (si vous lancez cent fois un dé, vous êtes sûr de faire au moins un six).

Certes, l'évolution aurait pu être comme cela¹, mais l'existence de tendances qui se prolongent sur des millions d'années comme celles des reptiles thériodontes montre qu'il y a quelque chose de plus.

1. Michael Denton l'a d'ailleurs envisagé, voir *L'évolution a-t-elle un sens ?*, op. cit., p. 356.

Conway-Morris, lui, va plus loin. Il parle de « navigation de l'évolution d'une solution fonctionnelle à une autre ». Ici ce ne sont pas les possibilités dues au hasard qui sont limitées, c'est le « paysage évolutif » qui préexiste sous forme virtuelle et qui canalise les trajectoires évolutives vers des formes cohérentes et viables (ce que Conway-Morris appelle des « nœuds stables de fonctionnalité »). Il ne s'agit donc plus ici d'un processus aveugle d'exploration d'un nombre limité de possibles. Pour visualiser ce que Conway-Morris veut dire, il faut imaginer une montagne aux flancs couverts de ravins, au sommet de laquelle on lance des billes (cf. figure 12.1). On connaît à l'avance, en fonction de la structure du paysage, l'ensemble des routes que pourront parcourir les billes et les zones où elles n'iront jamais. Ce concept a été appliqué à la biologie dès les années 1950 par Waddington sous le nom de « chréodes ».

Bien entendu, les conceptions de Conway-Morris s'appuient également, comme le montre son ouvrage *Life's solution*, sur l'existence de très nombreuses convergences survenues au cours de l'évolution.

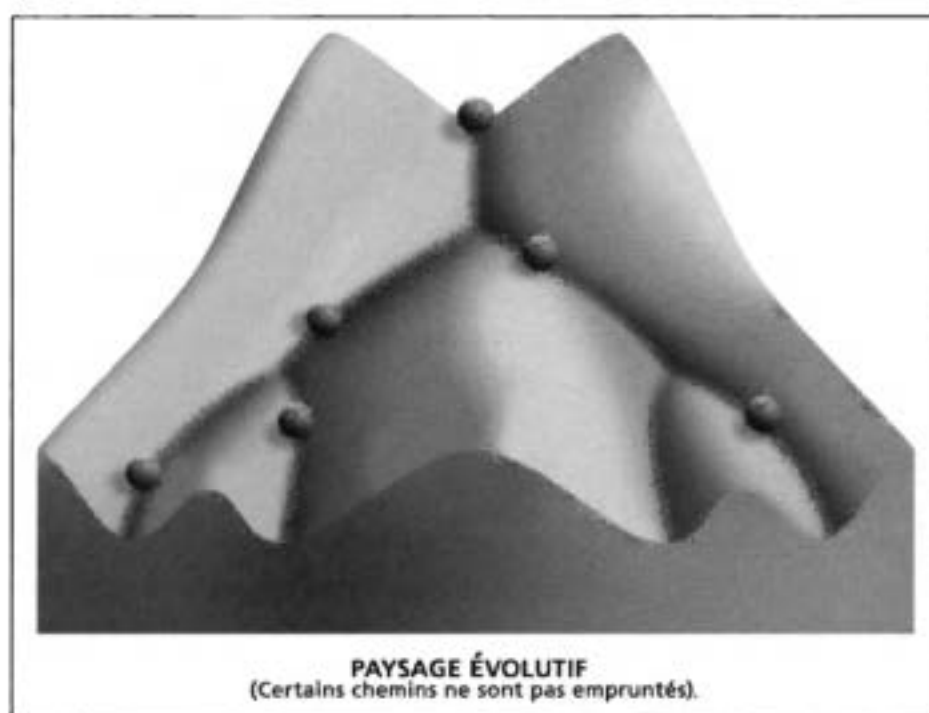


Figure 12.1.

Paysage évolutif avec indication des différentes trajectoires possibles pour l'évolution.

— Les conceptions de Michael Denton et de D'Arcy Thompson selon lesquelles il existe des formes platoniciennes ou des

archétypes dans la nature et des lois mathématiques influant sur les formes des êtres vivants.

Ici, on fait un pas de plus par rapport à Conway-Morris. Ces « nœuds stables » sont contenus dans les lois de la nature (ils sont « *built in* », dira-t-on en anglais) de la même façon que les lois de la nature impliquent que tous les cristaux de neige auront six branches quelles que soient la diversité et la complexité de leurs formes.

L'argument repose ici sur la démonstration de Michael Denton selon laquelle ce serait déjà le cas pour ce qui est des protéines et peut-être pour ce qui est de structures plus complexes telles que les microtubules, voire les cellules, et sur la démonstration de D'Arcy Thompson selon laquelle toute une série de structures dans la nature obéit à des lois mathématiques (les pommes de pin, les feuilles de tournesol, les coquilles de certains mollusques suivent une suite de Fibonacci¹ ; les coquilles d'escargot et les cornes de bélier suivent une spirale logarithmique) et possède donc une logique sous-jacente.

— Les conceptions de Richard Goldschmidt, Stephen Jay Gould et Denis Duboule sur la nécessité de sauts dans l'évolution pour effectuer certains passages d'un type à un autre.

Pour Conway-Morris ou Chistian de Duvé, il n'existe pas de différences entre micro et macroévolution. Mais cela semble incompatible à la fois avec des constations pratiques (la structure des fossiles déjà trouvés s'écarte fortement du gradualisme) et théoriques d'ordre paléontologique (la nécessité d'un saut pour l'apparition de la chauve-souris ou du bassin permettant la bipédie chez les australopithèques), génétique (plus un génome est complexe et plus ses gènes interagissent en grand nombre, moins une transformation graduelle est possible — c'est un des apports récents de Duboule) et mathématique (on ne passe pas graduellement d'une structure basée sur une formule mathématique à une autre structure, basée sur une autre formule, or nous avons vu avec D'Arcy Thompson que nombre de choses relatives aux êtres vivants sont basées sur des formules mathématiques).

— Le modèle de Vincent Fleury concernant l'origine des formes des êtres vivants.

1. La suite de Fibonacci est une suite au sein de laquelle chaque nombre est la somme des deux précédents : 1, 1, 2, 3, 5, 8, 13, 21, etc. La structure de nombreux organismes est calquée sur ces nombres : par exemple, la pomme de pin a 13 spirales à gauche puis 21 à droite.

— Les constatations de mathématiciens et de modélisateurs comme Marcel-Paul Schützenberger ou Pierre Perrier selon lesquels, dans sa croissance vers plus de complexité, l'évolution suit un algorithme de contrôle optimal, c'est-à-dire un algorithme allant vers un but qui est intégré au processus ou un algorithme qui « connaît » le paysage dans lequel il évolue.

Nous avons assez d'éléments pour décrire quelques aspects d'une autre vision de l'évolution. À la place des canaux de la figure 12.1, imaginez des escaliers avec de nombreux embranchements. On largue au sommet de la montagne un grand nombre de billes. Elles vont dévaler les escaliers. Tant qu'elles roulent sur une marche, cela représente l'évolution darwinienne se produisant à l'intérieur d'un type. Puis, elles tombent sur la marche suivante, et cela représente une macromutation. Mais la montagne est loin d'être parfaitement aménagée. À certains endroits, il n'y a plus d'escaliers mais un chemin en pente reliant deux escaliers (on a tous vu ce genre de structure en gravissant certains chemins partiellement aménagés pour les touristes), cela correspond à des évolutions canalisées mais graduelles, telles celles allant des reptiles jusqu'aux mammifères.

Enfin, il existe des bifurcations permettant aux billes de choisir entre plusieurs chemins possibles (mais en nombre limité) et des murs qui stoppent les billes à la fin de chacun des chemins, correspondant à des animaux panchroniques qui n'ont plus de capacité à évoluer.

Mais comment passe-t-on d'un être A à un être B ?

Il y a ici deux grandes catégories d'hypothèses. Mon intuition est qu'on aura besoin des deux à la fois. Il s'agit soit :

— d'un mécanisme très simple comme celui postulé par Vincent Fleury (voir pages 305-309) et qui échappe en partie à la génétique. Il n'a pas été détecté pour l'instant car on ne regardait pas dans la bonne direction ;

— d'un mécanisme très complexe qui, comme pour les pluto-niens avec la question des saisons, va nous faire découvrir une dimension radicalement nouvelle du vivant. Si les formes des êtres vivants se trouvent bien codées dans le génome (contrairement à l'hypothèse de Fleury) alors, si A et B sont des formes préexistantes dans la nature (comme le carré, le cercle, le triangle mais en beaucoup, beaucoup plus complexe bien sûr), il faut imaginer qu'il y a un lien entre ces formes archétypales et leurs

génomés pour que, lorsque le génome de A connaît une macro-mutation, celle-ci soit canalisée pour aboutir au génome de B.

En développant la voie ouverte par Lothar Schäfer (cf. page 263), on pourrait ici supposer qu'il y ait un mécanisme permettant de faire passer une molécule d'ADN de son état actuel à un nouvel état qui préexistait sous une forme virtuelle et qui correspond à un nouveau genre ou à une nouvelle famille.

Nous sommes ici en pleine spéculation, comme les « météorologues non darwiniens » en ce qui concerne la cause des saisons sur Pluton dans notre analogie.

Mais la nécessité de faire appel à un moment donné à une telle spéculation ne doit surtout pas nous arrêter... car Darwin nous en a montré l'exemple ! À l'époque de Darwin, on ne savait rien des mécanismes de l'hérédité. Les lois de Mendel elles-mêmes n'étaient pas encore connues. L'univers de la génétique, la molécule d'ADN, sa réplication, tout ça ne pouvait même pas être imaginé par les meilleurs savants de l'époque. Pourtant, cela n'a pas arrêté Darwin. Parce qu'il avait assemblé suffisamment de « pièces du puzzle » pour voir qu'il y avait une cohérence entre toutes les autres pièces et que donc, même s'il manquait une pièce essentielle, il en savait assez pour en déduire que les choses devraient se passer ainsi.

Et il avait raison ; sa théorie a permis d'expliquer des milliers de choses même si elle n'a trouvé sa cohérence véritable qu'un siècle plus tard avec la découverte des mécanismes de l'hérédité. Et bien que les mécanismes de l'hérédité envisagés par Darwin fussent totalement faux. Sauf que sa théorie n'a pas le caractère absolutiste d'explication globale de l'évolution que Darwin avait espéré pour elle.

Nous sommes ici exactement dans la même situation. Nous avons de nombreuses pièces du puzzle qui reposent sur des faits ou sur des théories. Il s'en détache une image d'ensemble montrant qu'un mécanisme fondamental reste à trouver pour expliquer l'origine des êtres vivants. Comme Darwin avec l'hérédité, nous en savons assez pour être sûrs qu'un tel mécanisme doit exister sans savoir exactement à quoi il peut ressembler.

Une autre question se pose dans le cadre d'une conception non darwinienne de l'évolution : l'apparition des nouveaux plans d'organisation est-elle aléatoire ou est-elle en partie réglée par un mécanisme quelconque ?

Plusieurs réponses sont possibles. Tout d'abord, l'existence de l'« horloge moléculaire » nous montre que certaines mutations du génome sont bien sous l'influence d'une horloge réglée sur le temps cosmologique et donc extérieure au temps propre de l'organisme. Ensuite, certaines évolutions sont si clairement structurées qu'il est possible de montrer qu'elles obéissent à des lois mathématiques ! Comme nous l'avons déjà évoqué, Jean Chaline, sur la base de travaux comme ceux d'Anne Dambri-court, a pu calculer avec Laurent Nottale que l'arrivée de l'*homo futur* – la prochaine mutation dans la branche dont nous sommes pour l'instant le rameau le plus avancé – pourrait se produire dans huit cent mille ans.

Certes, ses détracteurs n'ont pas manqué de faire remarquer que nous ne serons plus là pour le vérifier et qu'il ne prenait que fort peu de risques en avançant cette hypothèse. Mais le simple fait qu'un tel calcul soit possible et qu'un article le contenant ait été accepté par l'Académie des sciences montre que l'existence dans notre « rameau » d'une structuration dans la chronologie d'apparition des mutations est suffisamment nette.

Il y a beaucoup de phénomènes pouvant servir à mesurer le temps dans la nature (par exemple la vibration des atomes). Certains pourraient être impliqués dans ce processus.

Je ne suis pas en train de dire que la date d'apparition des nouvelles espèces est programmée depuis le big bang. Je dis que les apparitions de certaines espèces semblent obéir à des lois sous-jacentes.

Par ailleurs, l'un des enseignements fondamentaux d'une étude de l'évolution libérée des préjugés darwiniens, c'est la multiplicité de ses mécanismes, nous pouvons donc postuler que cohabitent des apparitions d'espèces :

— qui sont dues au pur hasard, et sont totalement imprédictibles à l'image du moment de la désintégration d'un atome ;

— qui sont dues à des déclencheurs provenant de l'environnement ;

— qui sont dues à un compteur interne qui se déclenche après un certain nombre de générations ;

— qui sont dues à un compteur externe réglé sur le temps astronomique (la simple logique montre que, pour que toutes les protéines de cytochrome C évoluent à la même vitesse dans tous les organismes, il faut que le compteur soit unique, donc extérieur aux organismes).

Bien entendu, même dans le cas où l'apparition de certaines espèces serait vraiment programmée, toute une série de facteurs peuvent interférer.

Même si le calcul de Jean Chaline est exact, il est fort possible que l'*homo futurus* ne voit jamais le jour parce que l'humanité s'exterminera dans une guerre thermonucléaire dans mille ans, que l'on sera tué par un supervirus dans dix mille ans ou détruit par la collision d'un astéroïde avec la Terre dans cinq cent mille ans.

Il y a certainement des déterminations dans l'évolution, mais l'évolution n'est pas un phénomène dans lequel tout est déterminé ! Elle en est même très loin.

La future NTE sera sans doute très différente de l'ébauche esquissée grâce aux quelques éléments rassemblés ici car elle intégrera des phénomènes aussi impensables pour nous que l'étaient la génétique, la double hélice d'ADN, etc., à l'époque de Darwin.

Mais une chose est sûre, c'est que la NTE devra intégrer la plupart des faits que nous avons analysés et que le darwinisme n'explique pas ou dont il ne tient pas compte. Certes, la NTE donnera peut-être à ces faits un éclairage différent, mais la plupart de ces faits plaident en faveur d'une évolution canalisée, voire en partie prédictible, dans laquelle le hasard joue un rôle moins important que dans le darwinisme, il est logique de penser que ce sera aussi le cas de la NTE.

La synthèse très partielle présentée ici n'a pas d'autre prétention que d'inciter de jeunes biologistes à chercher dans des directions nouvelles, néanmoins elle peut être considérée avec attention car :

— Il s'agit d'une synthèse dans laquelle tous les concepts que j'ai utilisés ont été émis par des chercheurs confirmés, dont les travaux et les compétences sont reconnus par la communauté scientifique : Denton, D'Arcy Thompson, Chauvin, Grassé, Conway-Morris, Schützenberger, de Duve, Fleury, Goldschmidt, Chaline, Schäfer (cités par l'ordre d'importance qu'ont représenté leurs conceptions pour l'élaboration de cette synthèse¹).

1. Bien entendu, la plupart de ces savants seraient en net désaccord avec la synthèse présentée. Mais cela ne peut être en aucun cas un argument contre cette synthèse dont le principe même est d'être bâtie sur le rassemblement de concepts émis par des chercheurs ayant des conceptions différentes de l'évolution !

— Il s'agit d'une théorie strictement scientifique. Elle ne repose sur aucun miracle, bien au contraire, puisque cette position suit en partie celle de Michael Denton, intitulée « évolution par lois naturelles » au lieu de « évolution par hasard et sélection naturelle ».

Elle peut susciter toute une série de nouvelles directions de recherche.

— Une tâche fondamentale de la NTE sera d'établir où se situent les fameux plans d'organisation ou archétypes dont nous avons parlé. Sont-ils au niveau des embranchements (dans ce cas, tous les vertébrés font partie d'un même plan d'organisation et aucun plan nouveau n'est apparu depuis le Cambrien, il y a cinq cent quarante millions d'années) ou sont-ils situés à un niveau bien moins global (auquel cas *homo sapiens* est un plan d'organisation, la chauve-souris aussi) ?

— Un autre domaine essentiel au XXI^e siècle sera l'étude des causes des mutations. Y a-t-il vraiment des mutations coordonnées par quelque chose, comme l'horloge moléculaire semble le montrer ? Y a-t-il des mutations adaptatives qui constitueraient des réponses directes aux modifications de l'environnement ?

— L'origine des formes et des régénérations d'organes est une autre voie de recherche passionnante avec la possibilité de voir des théories comme celles de Fleury se révéler exactes.

— Il faudra élaborer une méthode capable d'identifier les situations dans lesquelles l'évolution est due au hasard, les cas où elle est graduellement dirigée (comme pour la transition entre reptiles et mammifères) et les cas où elle est non graduelle.

— Il faudra également concevoir des outils capables de déterminer si une imitation d'un organisme par un autre est issue d'un processus darwinien (comme pour le coquillage *Lampsilis*) ou s'il y a « réalisation » d'une forme par des voies qui n'ont rien à voir avec la sélection.

— Une modélisation des processus darwiniens devrait pouvoir démontrer clairement leurs limites. Lorsqu'on aura une compréhension suffisamment précise des êtres vivants et de leurs génomes, l'approche développée par Marcel-Paul Schützenberger et Pierre Perrier devrait montrer de la façon la plus claire que les algorithmes darwiniens, postulés par Daniel Dennett et Richard Dawkins, sont totalement incapables d'expliquer l'évolution. Et que les algorithmes susceptibles de le faire doivent intégrer un « non-hasard ».

— Le lien entre la biologie et la physique quantique (tout particulièrement en ce qui concerne les mutations de l'ADN) constituera un autre sujet d'étude.

— Mais le plus grand défi qui attend la NTE, c'est :

1. Déterminer les espèces ayant une capacité à évoluer et celles qui l'ont perdue.
2. Déterminer, pour celles ayant encore cette capacité, quel pourrait en être le stade futur.
3. Et enfin, trouver le moyen, s'il existe, de déclencher le mécanisme permettant l'évolution de l'espèce vers l'état prédit.

Cela peut sembler être de la science-fiction et pourtant nous avons un excellent candidat pour une telle démarche. Il s'agit du « gobie marcheur », un poisson périophtalme. Rémy Chauvin raconte¹ qu'il n'a pas pu en attraper un car *ce dernier courait trop vite* sur le sable sec !

Ce poisson qui court sur le sol en se servant de la pointe de ses nageoires pectorales *grimpe aussi aux arbres* pour se nourrir d'insectes. Il possède une sorte de poumon rudimentaire. Il semble que le gobie marcheur ait conservé la potentialité à évoluer qui était celle de ses lointains cousins. Toute une série d'expériences peut être imaginée (de la manipulation génétique à la modification de son environnement en passant par des irradiations) pour voir s'il est possible qu'un gobie engendre un jour quelque chose pouvant sortir définitivement de l'eau – ce qui serait une façon de « prendre l'évolution sur le fait ». Cela fait des années que Rémy Chauvin² réclame à cor et à cri la réalisation d'expériences sur le gobie. À ma connaissance, aucune n'a encore été faite alors que, afin de tenter de déterminer les mécanismes de l'évolution, des milliers de chercheurs travaillent à l'heure actuelle sur les mutations des mouches drosophiles ou des bactéries, dont on a vu qu'elles n'ont connu aucune évolution notable depuis des dizaines de millions d'années. Voilà une cruelle illustration de l'histoire de la personne qui cherche dans la nuit ses clés sous un lampadaire, non parce qu'elle les a perdues à cet endroit, mais parce que c'est le seul endroit où il y ait de la lumière...

1. Rémy Chauvin, *Le darwinisme ou la fin d'un mythe*, op. cit., p. 299.

2. Rémy Chauvin, *Biologie de l'esprit*, op. cit., p. 58-60.

Les faits que nous venons de décrire montrent que toute une série de pistes intéressantes s'ouvre à nous dès qu'on regarde l'évolution sans utiliser les « lunettes » du néodarwinisme. C'est pour cela qu'il est légitime d'explorer des horizons nouveaux.

Mais il existe une autre raison, plus profonde encore, et dont les darwiniens ne sont, en général, pas conscients. C'est l'existence du décalage décrit pages 44-46 entre l'évolution des sciences de la matière et celle des sciences de la vie ; décalage qui peut nous amener à penser que les théories des sciences de la vie sont dans un état comparable à celui de la physique et de l'astronomie au début du XX^e siècle.

Si l'on obtenait demain des preuves expérimentales montrant que le darwinisme peut expliquer l'évolution, je m'inclinerais immédiatement. Par exemple, si un programme informatique darwinien pouvait produire un téléviseur à partir d'un four à micro-ondes (tous deux utilisant des ondes, cela ne paraît pas absurde), cela ne répondrait certes pas à tous les problèmes (l'horloge moléculaire, l'évolution dirigée des reptiles) mais montrerait cependant que les mécanismes darwiniens sont bien plus puissants que prévu. Cela m'amènerait alors à supprimer la moitié de cette partie de l'ouvrage consacrée à l'évolution. En attendant, nous pouvons continuer à postuler que certains des bouleversements conceptuels qui se sont produits au sein des sciences de la matière se produiront également au sein des sciences de la vie.

Parmi ces bouleversements, il en est un qui risque d'être difficile à accepter pour les scientifiques des sciences de la vie : c'est la notion d'incomplétude (voir chapitre 16). En physique, on sait très bien pourquoi on ne connaîtra jamais la position et la vitesse d'une particule au même moment, en météorologie, on sait très bien pourquoi on ne prévoira jamais le temps qu'il fera dans trois semaines (à cause de l'effet papillon), etc. Il est donc possible et même, selon moi, probable, que l'on ait toutes les preuves que des formes archétypales existent, qu'elles influencent l'évolution, que l'on sache même déclencher le passage d'une espèce à l'étape suivante de son évolution qui préexistait à l'état virtuel... et que l'on ne sache rien sur la nature de ces archétypes. Ce serait exactement la même situation que celle existant actuellement en physique quantique où l'on peut parfaitement faire des expériences sur la non-localité alors qu'elle ne correspond à rien de physique

(rappelons-nous que la physique quantique nous amène à postuler un réalisme *non physique* en ce qui concerne la nature même des choses).

Cette allusion à la non-localité m'amène à faire une prédiction. Les darwiniens affirment souvent que le darwinisme est universel et que si la vie existait ailleurs dans l'Univers, elle aurait également évolué grâce à des processus darwiniens.

J'affirme pour ma part exactement le contraire. On peut concevoir d'autres modèles d'univers dans lesquels des processus darwiniens pourraient créer à eux seuls des formes complexes. Mais selon moi, partout où la vie aura évolué dans notre Univers, elle ne l'aura pas fait uniquement grâce aux principes du darwinisme. En effet, si les grands types d'organisation existant dans la nature correspondent à des formes archétypales qui sont, comme la structure des cristaux de neige, insérées dans les lois mêmes de la nature, alors leur influence sur l'évolution est forcément non locale et universelle. Nous savons déjà grâce à Conway-Morris et Denton que la NTE prédira (à l'inverse du darwinisme), quand elle existera, que certains êtres vivants (pas tous) ont le même plan d'organisation sur des planètes différentes.

Avec un peu de chance, cela peut être vérifié dès demain. Il suffit que le projet Seti de recherche de signaux en provenance d'une autre planète reçoive un message contenant une photo sur laquelle un extraterrestre tentaculaire nous ferait un signe d'amitié, tout en tenant dans ses bras... un chat ou un chien, pour obtenir une preuve décisive en faveur de la répétabilité de l'évolution et contre le darwinisme.

Comment le darwinisme conserve-t-il une position hégémonique ?

Bien entendu, le darwinisme explique beaucoup de choses, une NTE est loin d'être prête, les changements de paradigme sont toujours difficiles, etc. Néanmoins, lorsqu'on regarde l'évolution dans son ensemble, on voit que le pouvoir explicatif du darwinisme est limité, que ses failles sont connues depuis des dizaines d'années et que le progrès de nos connaissances ne les a pas comblées, loin de là.

Alors comment se fait-il que le darwinisme soit omniprésent dans les médias (du moins en Europe), dans les médias de vulgarisation scientifique et les pages consacrées aux sciences des grands quotidiens et que le remettre publiquement en cause soit presque aussi dangereux que de boire un verre de vin chez les talibans ?

C'est qu'au fil des années, les darwiniens ont mis en place toute une série de stratégies qu'il convient d'analyser pour comprendre que le succès du darwinisme ne repose pas uniquement sur ses seuls mérites scientifiques.

1. *La stratégie de l'inclusion*

Tant que vous n'allez pas jusqu'à dire que Dieu a créé les êtres vivants, vous pouvez faire un bon darwinien, même si ce que vous dites contredit l'essence du darwinisme. Le néodarwinisme est, entre autres, basé sur l'existence d'une barrière (la barrière de Weismann) érigée entre les cellules reproductives (les cellules germinales) et toutes les autres appelées cellules « somatiques ». Tout ce qui se produit dans nos cellules somatiques ne saurait se transmettre aux cellules germinales et donc à nos descendants.

Mais nous avons vu page 261 que Steele a pourtant démontré l'existence d'une telle transmission pour les lymphocytes. Qu'à cela ne tienne, pour Richard Dawkins, il suffit de dire que les lymphocytes (cellules du système immunitaire) font maintenant partie des cellules germinales¹ !

Steele est resté pantois devant ce qu'il appelle « une des plus grandes acrobaties de tous les temps comme seul un darwinien dogmatique peut en faire² ».

Richard Dawkins aurait également, depuis, avancé que la reproductibilité de l'évolution telle que la postule Simon Conway-Morris était parfaitement intégrable dans le darwinisme.

2. *La stratégie de l'exclusion*

Si les darwiniens pensent qu'on ne peut vraiment pas inclure l'approche d'un scientifique dans leur théorie alors ils l'en excluront

1. Richard Dawkins *The extended phenotype*, Oxford University Press, 1982, p. 169.

2. Edmond Steele, Lindley Robyn et Robert Blanden, *Lamarck's signature : how retrogenes are changing Darwin's natural selection paradigm*, Perseus Publishing, 1998, p. 212.

radicalement. Ils argueront que « ses travaux ne sont pas sérieux », « qu'il vise à prouver un plan divin » (même si l'auteur de ces travaux est agnostique), « que l'auteur est un complice des créationnistes ou des néocréationnistes » (même si ses travaux prouvent l'évolution mieux que ceux des darwiniens).

La pratique des deux stratégies permet de supprimer toute forme intermédiaire entre le néodarwinisme « étendu » et le créationnisme et de conclure : « Tous les biologistes sont darwiniens. »

Là où cela devient franchement comique, c'est que les darwiniens usent souvent de ces deux stratégies mutuellement exclusives au sujet du *même* phénomène.

Ainsi, quand les travaux de Cairns sur les mutations adaptatives parurent dans *Nature*, des darwiniens ont crié au scandale et ont exigé, face à cette « remise en cause des bases de la biologie moderne¹ », la réalisation d'une enquête (c'était l'époque où *Nature* avait envoyé un magicien « vérifier » les travaux de Bennevis sur la mémoire de l'eau qui, eux aussi, remettaient beaucoup de choses en question). Aujourd'hui, les darwiniens considèrent toutes ces expériences comme étant darwiniennes (bien que nous ayons vu que l'explication avancée ne peut en expliquer que 10 %, voir page 283)...

Certains considèrent les travaux d'Anne Dambricourt non seulement comme antidarwiniens mais également comme anti-évolutionnistes². D'autres darwiniens m'ont confié qu'ils ne voyaient rien de contraire au darwinisme dans ses travaux et que « Dawkins expliquait très bien des choses comme ça » (ce qui ne me surprend pas, la vraie question étant plutôt : « Y a-t-il quelque chose que Dawkins n'explique pas ? »).

3. La stratégie de la peur

« Tout ce que vous direz contre le darwinisme renforcera le créationnisme et constituera donc un crime contre la science. » J'ai pu constater que cette stratégie, très largement utilisée, était assez efficace, amenant des chercheurs, soit à ne pas émettre publiquement leurs critiques contre le darwinisme, soit à ne pas

1. Voir Rémy Chauvin, *Le darwinisme ou la fin d'un mythe*, op. cit., p. 253.

2. Cf. les propos de Tim White dans le film de Thomas Johnson, *Homo sapiens, une nouvelle histoire de l'homme*, Arte, octobre 2005.

les présenter comme des critiques contre le darwinisme alors qu'objectivement elles le sont.

4. La stratégie du déplacement du problème

Lorsqu'on demande des preuves que les mécanismes darwiniens puissent vraiment faire apparaître des fonctions nouvelles, des organes nouveaux, créer un « pont » pour permettre le passages entre deux grands types d'organisation, on vous présente, en général, des résultats remarquables montrant la puissance du darwinisme... mais portant sur tout autre chose.

Dans *Emergence*, Steven Johnson nous montre que le comportement des fourmis peut aider à résoudre le problème du voyageur de commerce (comment relier par un trajet minimal un certain nombre de villes ?). Chaque voyageur emporte avec lui – comme les fourmis – un stock (égal pour tous) de phéromones. Toujours comme les fourmis, les voyageurs vont les déposer sur la route. La prochaine génération de voyageurs ne voyagera plus au hasard mais sur les routes où le plus grand nombre de phéromones aura été déposé. En répétant le phénomène, on arrive à identifier l'un des trajets le plus court possible¹. Remarquable et intéressante illustration des pouvoirs des mécanismes darwiniens. Mais cela n'a rien à voir avec la construction d'un « pont » permettant de passer, par le biais de procédés darwiniens, d'un *Galeopithecus* à une chauve-souris. Or, ce genre de résultat est couramment présenté comme preuve de la puissance du darwinisme.

5. La stratégie du « si c'est possible, c'est que ça existe »

Paul Kammerer, biologiste lamarckien des années 1920, obligeait des crapauds terrestres à se reproduire dans l'eau. Ces crapauds provenaient d'ancêtres aquatiques. Les mâles ancestraux avaient des coussinets sur les pattes pour ne pas glisser pendant leur accouplement. Les mâles actuels les ont perdus. Au bout de quelques générations de crapauds se reproduisant dans l'eau, des ébauches de coussinets ont réapparu. Hélas, pour rendre ces

1. Steven Johnson, *Emergence*, Scribner, 2001, p. 227-229.

ébauches plus convaincantes, quelqu'un (Kammerer lui-même ou l'un de ses collaborateurs ? on ne l'a jamais su) injecta de l'encre dans les pattes du crapaud et Kammerer se suicida lorsque la fraude fut découverte¹.

Stephen Jay Gould ajoute une pelletée de terre sur la tombe de Kammerer en disant qu'il a fait une expérience darwinienne (stratégie 1 : l'inclusion). Puis il nous explique que Kammerer a exercé une forte pression de sélection sur les crapauds, encourageant ainsi la sélection des mutations pouvant permettre l'adaptation à la vie aquatique. Les coussinets faisant partie de ces adaptations (même s'il s'agit d'une adaptation très secondaire), ils ont été sélectionnés une fois que les gènes « assurant le succès dans l'eau » ont été sélectionnés².

Cela veut dire qu'un très petit nombre de mutations permet au crapaud de retrouver ses caractéristiques aquatiques (donc les coussinets) et qu'en temps normal elles sont fréquentes puisqu'elles sont apparues en quelques générations.

C'est plausible mais on n'en a aucune preuve.

À ma connaissance, personne, depuis quatre-vingts ans, n'a refait les expériences de Kammerer, ni n'a cherché à vérifier l'étendue et la fréquence des mutations aquatiques chez le crapaud. Il n'empêche que, pour Gould, la cause est entendue et on peut passer à autre chose ! C'est là une stratégie très fréquente des darwiniens : s'il y a une explication darwinienne plausible, le problème est résolu : il s'agit forcément de la solution, et il est inutile d'en faire l'expérience.

6. La stratégie de la belle histoire

Nous avons déjà longuement commenté cette pratique qui représente une étape de plus par rapport à la stratégie 5 : s'il existe une explication de type darwinien *non crédible*, il s'agira quand même de la solution. Encore une fois, inutile de réaliser une expérience sur le sujet.

Confronté, chez l'autruche, au même phénomène qu'à celui des phacochères (les autruches s'agenouillent également et ont des callosités sur les genoux dès la naissance), Gould nous dit :

1. Cette histoire est racontée en détail par Arthur Koestler dans *L'étreinte du crapaud*, Calmann-Lévy, 1972.

2. Stephen Jay Gould, *Le pouce du panda*, op. cit., p. 78.

« L'autruche a pu d'abord présenter ces callosités comme une adaptation non génétique. Mais l'habitude de s'agenouiller, renforcée par ces callosités, exerce de nouvelles pressions sélectives concourant à préserver la variation génétique fortuite qui peut également générer ces caractères¹. »

Là, Gould nous ressort l'histoire selon laquelle une autruche naissant avec des callosités sur les genoux en tirerait un avantage sélectif tel que la mutation, apparue par hasard au début, se répandrait parmi toute la population, alors qu'il reconnaît que cette autruche va être « en compétition » avec des « collègues » dont les genoux possèdent des callosités qui se forment parce qu'ils s'agenouillent continuellement.

C'est totalement improbable² mais ça n'empêche pas Gould de conclure : « Les callosités elles-mêmes ne sont pas transmises mystérieusement par l'hérédité des caractères acquis de l'adulte au jeune³. » Il n'en sait rien, n'en a aucune preuve, mais il en est sûr car il *faut* que ce soit comme ça⁴.

7. La stratégie du « il suffit d'attendre »

Daniel Dennett nous dit⁵ que si le darwinisme a tort... il a tout de même raison car il ne saurait y avoir d'autre explication de

1. Stephen Jay Gould, *op. cit.*, p. 78.

2. Pour visualiser à quel point il est peu crédible de penser que la présence de callosités durant quelques mois peut donner un avantage sélectif, un ami m'a proposé l'histoire suivante : les couples qui font l'amour sur des matelas Dunlopillo ont plus de chances d'avoir des enfants car ils sont dans une position plus confortable. Cet avantage, pourtant minime, assure à ces couples un succès reproductif qui fait que, après quelques siècles, tous les enfants d'un pays seront nés de parents ayant des matelas Dunlopillo. À ce moment, une mutation aléatoire d'un gène de comportement provoquera l'achat, par les enfants, de matelas Dunlopillo. Ce n'est donc nullement par imitation de leurs parents (héritage des caractères acquis) que tout le monde se mettra, dans ce pays, à acheter des matelas Dunlopillo. Ce raisonnement comique est proche de celui de Gould.

3. Stephen Jay Gould, *op. cit.*, p. 78.

4. Une autre piste que donnent les propos de Gould est que les gènes qui provoquent l'apparition des callosités provoquent également l'apparition d'autres caractéristiques (lesquelles ?) utiles pour des autruches qui s'agenouillent. Ce seraient ces dernières caractéristiques (inconnues) qui seraient choisies par la sélection naturelle et les callosités « suivraient le mouvement » sans avoir été sélectionnées. Bien sûr, on n'en a aucune preuve.

5. Daniel Dennett, *Darwin est-il dangereux ?*, *op. cit.*, p. 54.

l'évolution. Donc, si des faits donnent tort au darwinisme, il suffit d'attendre le jour où l'on trouvera une explication darwinienne de ces faits.

8. *La stratégie du « vous manquez d'imagination »*

Une critique essentielle du darwinisme étant de montrer que la sélection naturelle n'a pas les pouvoirs que lui attribuent les darwiniens, ces derniers y répondent en disant qu'avec plus d'imagination on peut concevoir la façon dont la sélection a bien ce pouvoir (ce qui nous ramène au point 6).

9. *La stratégie du « vous faites appel au mysticisme »*

Dès que l'on fait appel à des concepts qui ne sont pas purement matériels, tels que les archétypes par exemple, les darwiniens crient au mysticisme, négligeant que, comme nous l'avons vu, une position réaliste se doit aujourd'hui d'intégrer une dimension non physique.

Pour ridiculiser ces concepts, Daniel Dennett les appelle, comme nous l'avons vu, des crochets célestes (*skyhook*), objets impossibles, accrochés dans le ciel, qu'il oppose aux grues, objets bien réels qui permettent de passer d'un point à un autre¹.

10. *La stratégie du « vous vous répétez »*

Selon Patrick Tort, les non-darwiniens ne font rien d'autre que répéter des critiques émises depuis plus d'un siècle, telles que celles synthétisées par George Mivart en 1871. Chauvin lui a déjà répondu : « Si on se répète, c'est que les darwiniens n'ont jamais répondu de façon convaincante à nos critiques ! »

C'est en partie vrai. Ainsi Mivart nous dit que le but de son ouvrage est de « soutenir la position que la sélection naturelle agit, et doit vraiment agir, mais qu'elle doit encore, en vue de

1. En plaisantant, on pourrait dire que Dennett manque de connaissances techniques. Ce crochet céleste est déjà techniquement possible. Il suffit de descendre un câble depuis un satellite situé en orbite géostationnaire pour y accrocher un objet qui flottera dans le ciel sans l'aide d'aucune grue.

rendre compte de la production des sortes connues d'animaux et de plantes, être suppléée par l'action de quelque autre loi (ou d'autres lois) que l'on n'a pas jusqu'ici découvertes¹ ».

L'intuition de Mivart, qui par ailleurs était déjà totalement évolutionniste, semble parfaitement exacte comme nous l'avons vu.

Ainsi, lorsque, dans la préface de *Pour Darwin*, Tort note, pour s'en offusquer, que, à travers leurs réponses aux non darwiniens, les « scientifiques de 1996 ont dû de nouveau répondre à Mivart² », on peut pronostiquer que les darwiniens de 2006, 2016 et 2026 devront également répondre à certaines objections de Mivart, car c'est lui qui avait raison sur un certain nombre de points et il faudra bien le réhabiliter un jour.

Notons au passage que Tort dit les « scientifiques » et non les « darwiniens », alors que les gens auxquels il répond dans son ouvrage (Denton, Schützenberger...) sont des scientifiques de haut niveau quoi que l'on puisse penser de leurs idées. Ce qui montre bien que, pour Tort, la science s'arrête là où le darwinisme s'arrête.

Mais en fait, l'argument de la répétition justifiée par l'absence de réponse convaincante des darwiniens n'est pas tout à fait exact. L'analyse du débat Mivart-Darwin (ce dernier ajoutera un chapitre à la sixième édition de *L'origine des espèces* en 1872 pour répondre aux objections de Mivart) montre que le débat a beaucoup progressé sur certains points du côté des non darwiniens. Prenons la fameuse question du mimétisme. Mivart pense que les variations aléatoires s'annulent l'une l'autre et que, donc, la sélection n'a pas de matière suffisante pour agir. C'est tout à fait faux. Puis il prend comme exemple un insecte qui ressemble à une brindille recouverte de mousse et déclare que la ressemblance est trop parfaite pour être due à la sélection naturelle. Darwin n'a pas de mal à lui répondre qu'il sous-estime l'acuité visuelle des oiseaux.

Mais si Mivart avait connu l'exemple du *Kallima*, Darwin aurait été obligé de lui répondre que les oiseaux sont des mycologues et qu'ils connaissent la forme de toutes les espèces de champignons pouvant se développer sur une feuille morte (c'est nécessaire pour passer de l'étape 5 à l'étape 6 de mon raisonnement page 275). Et là, il aurait été beaucoup moins crédible. Et qu'aurait-il répondu si Mivart avait su que des papillons comestibles imitaient des papillons comestibles ?

1. George Mivart, *La genèse des espèces*, 1871, p. 3.

2. Patrick Tort, *Pour Darwin*, PUF, 1997, p. 6.

Si Mivart avait raison au niveau global en postulant la nécessité d'autres lois dans la nature que la sélection naturelle, les cent trente dernières années ont permis un développement très important des argumentaires non darwiniens.

11. La stratégie du « darwinisme insaisissable »

Face à une critique du darwinisme, un darwinien répond souvent : « Vous critiquez le darwinisme d'hier et non celui d'aujourd'hui. Il y a désormais nombre de nouveaux concepts, l'émergence, les gènes hox qui permettent d'expliquer ce que vous dites que nous n'expliquons pas » (voir stratégie 4, le déplacement du problème). Une variante consiste à dire : « Vous critiquez votre conception du darwinisme et non pas ce que le darwinisme est réellement. » Ainsi le darwinisme devient insaisissable et toute critique récusée d'avance. Ci-après, vous trouverez une variante amusante de cette stratégie.

12. Y a-t-il une forme de néodarwinisme qui soit scientifiquement crédible ?

Un grand nombre de tendances existe à l'intérieur du néodarwinisme actuel. Mais elles peuvent toutes, de près ou de loin, être rapprochées des deux grandes écoles que nous avons décrites : d'une part celle incarnée par Dawkins, Wilson, Dennett et, de l'autre, celle incarnée par Gould, Lewontin, Eldredge. Si toutes deux s'accordent qu'il n'y a pas d'autres forces qui agissent sur l'évolution que les mutations au hasard et la sélection naturelle, elles sont en désaccord sur presque tout le reste. Entre autres, sur le pouvoir de la sélection naturelle, sur le niveau auquel elle agit (sur les gènes, les individus ou sur des populations d'individus), s'il existe ou non de vrais « sauts » dans l'évolution, sur le pourcentage de structures complexes d'un organisme qui soient des adaptations, etc. L'affrontement entre ces deux écoles a dominé tout le débat sur l'évolution depuis un quart de siècle et a donné lieu à de nombreux ouvrages¹.

1. Voir par exemple Kim Sterelny, *Dawkins vs. Gould, survival of the fittest*, Totem Books, 2001.

Le problème pour le néodarwinisme, c'est que, d'un côté, Gould et Lewontin ont parfaitement démontré le caractère naïf, voire absurde, du « tout-sélectionnisme » de Dennett et Dawkins et que de l'autre, Dawkins et Dennett ont bien montré que l'idée d'évolution non graduelle fondée sur des monstres prometteurs défendue par Gould était incohérente si l'on ne sortait pas du cadre conceptuel dans lequel toutes les mutations sont dues au hasard¹.

Ainsi Lewontin écrit-il concernant Dawkins et Wilson : « Chacun d'eux a introduit dans les livres qu'ils mettent sur le marché des affirmations non prouvées et des contrevérités. *Sociobiology* et *On human nature* de Wilson reposent sur une construction branlante d'assertions non étayées concernant une détermination génétique générale, allant de l'altruisme à la xénophobie. La vulgarisation que fait Dawkins du darwinisme ne parle en rien de l'évolution mais d'une inexorable ascendance de gènes sélectivement supérieurs alors que ces cinquante dernières années, les avancées techniques en matière de génétique de l'évolution (théorique ou expérimentale) mettaient l'accent sur les forces non sélectives en jeu dans l'évolution. Ce qui m'inquiète, c'est que le public puisse croire ce que Dawkins et Wilson racontent sur l'évolution². »

Alors que John Maynard Smith, l'un des chefs de file du néodarwinisme non seulement en Angleterre mais aussi au niveau mondial, a pu écrire dans la même revue : « Les biologistes de l'évolution avec lesquels j'ai discuté des travaux de Gould tendent à le considérer comme un homme dont les idées sont si confuses qu'elles ne valent pas la peine qu'on s'y attarde, mais pensent cependant que l'on ne devrait pas le critiquer publiquement en ce sens qu'il a au moins l'avantage d'être de notre côté face aux créationnistes. Tout cela resterait sans importance s'il ne donnait pas aux non-biologistes une fausse image de ce qu'est la théorie de l'évolution³. »

Donc, selon Lewontin, Dawkins et Wilson donnent au public une vision tout à fait fausse de ce qu'est l'évolution et, selon

1. Voir par exemple Richard Dawkins, *L'horloger aveugle*, op. cit.

2. Richard Lewontin, *New York Review of Books*, 9 janvier 1997.

3. John Maynard Smith, *New York Review of Books*, 1994.

Maynard Smith, Gould donne au public une vision tout à fait fausse de ce qu'est l'évolution.

Il est intéressant de noter que la violence de ces affrontements dépasse parfois celle pouvant exister entre darwiniens et anti-darwiniens. Ainsi Gould a-t-il pu écrire à propos de l'ouvrage de Dennett que nous avons analysé pages 221-224 : « Si, comme on le dit souvent, l'histoire remplace des événements grandioses par des farces, et si T.H. Huxley a vraiment agi comme le bulldog de Darwin, il est difficile de ne pas penser à Dennett, dans cet ouvrage, comme au caniche de Dawkins¹ ! »

On peut être en désaccord avec leurs idées mais on ne peut nier que Maynard Smith et Lewontin sont des sommités internationales dans le domaine de l'évolution de la vie. Dans ce cas, pourquoi ne pas les croire *tous les deux à la fois* quand ils nous disent cela ? Si on le fait, et étant donné qu'il n'existe pas de véritable troisième alternative² à l'intérieur du néodarwinisme, on pourrait se demander quelle forme du néodarwinisme est donc scientifiquement crédible.

Cela devrait aider à dépasser le darwinisme. Mais l'une des conséquences de cette situation dans laquelle les deux grandes écoles du néodarwinisme s'accusent mutuellement d'être pseudo-scientifiques, c'est que si vous critiquez la conception du darwinisme de Gould, il se trouvera un partisan de Dawkins pour vous dire que vous n'avez en rien critiqué le vrai darwinisme et que si vous critiquez la conception de Dawkins du darwinisme, un partisan de Gould vous dira la même chose (on retrouve ici la stratégie 11).

Darwinisme et religion

1. Misère et nocivité du créationnisme

Bien que nous analysions ici les choses sous l'angle scientifique, il est néanmoins nécessaire de dire quelques mots sur ce

1. Stephen Jay Gould, *Darwinian fundamentalism*, New York Review of Books, 12 juin 1997.

2. Il y a certes des conceptions darwiniennes moins extrêmes que celles de Dawkins et Dennett parmi les darwiniens forts, telles celles d'Ernst Mayr, mais on n'y trouve pas de différences fondamentales concernant les mécanismes de l'évolution.

thème étant donné les polémiques qu'il provoque. Commençons par le créationnisme puisque aucun scientifique authentique des sciences de la vie n'étant créationniste, nous ne l'avons pas abordé au chapitre 10.

On dit parfois qu'être chrétien, c'est devoir croire à sept choses impossibles avant le petit déjeuner. Je n'en suis pas convaincu comme nous le verrons au chapitre 17. Mais être créationniste, c'est certainement cela. Devant la nécessité de refuser l'existence d'êtres intermédiaires entre le singe et nous, certains créationnistes sont amenés à considérer un crâne d'*homo erectus* comme étant pleinement humain, alors que pour un autre créationniste, au vu de la petite taille de ce crâne, ce sera celui d'un singe !

Les créationnistes diront tous en chœur que les australopithèques sont clairement des singes quadrupèdes et qu'ils ne pouvaient être bipèdes... alors que la structure de leur bassin leur interdit la quadrupédie et montre une position bipède proche de la nôtre. Et les absurdités se multiplient lorsque l'on a affaire aux créationnistes de la Terre jeune (largement majoritaires chez les créationnistes). Ils mettent en doute toutes les datations en insistant sur les aberrations (tout à fait réelles) qui apparaissent parfois tout en oubliant des cas comme celui des hommes de Qafzeh pour lesquels cinq méthodes de datation ont donné la même date : 95 000 ans (à quelque pour cent près).

Ils nous expliquent que les couches géologiques n'ont pas été formées lentement, l'une après l'autre, mais toutes ensemble lors d'un déluge universel (c'est théoriquement possible pour un territoire limité, mais absurde au plan global). Et pour expliquer que des fossiles différents se trouvent dans des couches différentes, ils vous racontent que les dinosaures ont été les premiers surpris par la montée des eaux et que, plus agiles, les mammifères ont été noyés en dernier ! Bien sûr, on ne nous expliquera pas pourquoi les mammoths n'ont pas été trouvés avec les dinosaures ni les ptérodactyles avec les oiseaux ou les chauve-souris !

Enfin, ils vous donneront toute une série d'arguments nés d'une incompréhension des données scientifiques, comme le fait que la Terre n'ait pas plus de 10 000 ans parce que le champ magnétique terrestre décroissant régulièrement, si l'on extrapole cette tendance vers le passé, il aurait été trop fort, il y a plus de dix mille ans, pour que la vie puisse exister sur terre. Sauf que le champ magnétique terrestre croît et décroît de façon cyclique et

qu'il arrive même régulièrement aux pôles magnétiques de basculer (vous pouvez être certain qu'un jour, toutes les boussoles indiqueront le pôle Sud !). Les dépôts de particules de fer s'orientent en fonction du champ magnétique terrestre et cela permet de suivre sur des *millions d'années* les inversions de ce champ dans les dépôts géologiques, ce qui constitue une des plus belles réfutations de toute « géologie créationniste ».

J'ai évoqué au chapitre 5 la colère que l'on pouvait ressentir face aux propos tranquillement désinformateurs d'un Yves Quiniou sur la scientificité du matérialisme. Eh bien, ma colère est encore plus grande devant les écrits créationnistes. Non seulement ces gens nous désinforment et répandent des inexactitudes, des absurdités, voire des mensonges, dans des proportions jamais atteintes même par les darwiniens les plus délirants, mais, de surcroît, ils le font au nom de la défense d'une foi qui est également la mienne !

Voilà pourquoi la dénonciation des erreurs des créationnistes doit d'abord être une tâche dévolue aux croyants plus encore qu'aux matérialistes : parce que ces gens-là nous déshonorent¹.

Un dernier point : le créationnisme est l'une des meilleures assurances vie du darwinisme ! En effet, l'existence des créationnistes empêche à l'évidence certains chercheurs (tout particulièrement aux États-Unis, pays le plus influent sur le plan scientifique) de développer des idées évolutionnistes, mais non darwiniennes. Tout particulièrement des idées du type de celles que nous venons d'évoquer. La confusion sciemment entretenue entre l'évolution et la théorie tentant de l'expliquer qu'est le darwinisme, profite à la fois aux créationnistes (dès que l'on attaque le darwinisme, ils disent que l'évolution est attaquée même si l'attaque vient d'un évolutionniste) et aux darwiniens (qui n'hésitent pas à écrire que « des remarques comme "le darwinisme est une théorie qui a été mise à l'épreuve et qui s'est révélée fausse", venant de biologistes confirmés attachés à une institution nationale prestigieuse, apporteront de l'eau au moulin des créationnistes² »).

Cette malhonnêteté est comparable à celle des créationnistes qui disent que l'évolution est affaiblie quand on attaque le darwinisme, et vise à introduire une police de la pensée pour éviter que d'autres biologistes confirmés critiquent le darwinisme.

1. Vous trouverez sur mon site web www.staune.fr les démolitions en règle des textes de certains créationnistes français.

2. Richard Dawkins, *L'horloger aveugle*, op. cit., p. 330.

Il ne fait donc aucun doute pour moi que ce que les créationnistes pourraient faire de plus utile pour lutter contre le darwinisme serait de... disparaître ! Il est clair que, pour les raisons que nous venons d'évoquer, leur disparition collective serait l'événement le plus à même de susciter le développement d'alternatives crédibles (et évolutionnistes bien sûr) au darwinisme.

2. *Darwiniens et chrétiens*

De très nombreux scientifiques, philosophes et théologiens sont darwiniens et chrétiens. En général leur position est proche du schéma suivant :

— Il faut séparer la science de l'idéologie.

Sur le plan scientifique, le darwinisme fournit bien une explication globale de l'évolution mais des gens comme Dawkins ou Dennett y rajoutent de l'idéologie et essaient de faire avaler au public tout à la fois les résultats scientifiques du darwinisme et leur interprétation matérialiste.

— Il faut différencier la notion de « hasard intrinsèque à la nature » d'un hasard qui ne serait que la conséquence de notre ignorance.

— Rien ne prouve que l'évolution soit due à un hasard intrinsèque. Cela permet de continuer à penser que le processus n'est pas livré à la seule contingence.

— Les plus audacieux, tels Ken Miller ou Robert Russell, vont jusqu'à introduire la mécanique quantique en faisant remarquer, comme nous l'avons vu, qu'en dernière analyse toute mutation est un phénomène quantique, que la physique quantique est la grande source d'indéterminisme dans l'Univers et que l'on peut très bien imaginer que Dieu agit à ce niveau-là pour orienter l'évolution sans violer aucune des lois de la nature et nous laisser la liberté de ne pas croire en lui.

Fort bien, mais je pense qu'il y a un problème. Si on se limite uniquement aux faits scientifiques utilisés par Dawkins ou Gould, je pense que c'est Dawkins et Dennett qui sont plus crédibles que les darwiniens chrétiens. Oui, Dieu peut agir par l'intermédiaire de l'indéterminisme quantique. Mais si tout se passe comme si l'évolution était due à des événements contingents, pourquoi faire appel à ce concept ? Dans un tel cas, il est plus probable que nous soyons bien ici par hasard.

Pour être crédible, la position des darwiniens chrétiens devrait, au minimum, intégrer une canalisation du hasard, comme le fait Christian de Duve, ou une analyse des phénomènes de convergence ou du passage des reptiles aux mammifères.

La position du paléontologue Marc Godinot est particulièrement encourageante. S'il reste totalement orthodoxe en ce qui concerne les mécanismes de l'évolution, il n'en écrit pas moins : « L'histoire des mammifères montre des évolutions répétées dans de multiples lignées de caractères nouveaux, qui suggèrent des contraintes de développement. Les progrès récents en biologie du développement expliquent comment les variations phénotypiques sont délimitées, réduisant fortement le nombre des chemins évolutifs possibles. Cette diminution de la part du hasard rend l'évolution plus compréhensible¹. » Propos qui rapprochent sa position de celle de Christian de Duve, voire de Simon Conway-Morris.

Ma position personnelle, comme vous l'avez sans doute déjà compris, n'est pas que Dieu intervient sur les mutations quantiques pour orienter l'évolution. Car je crois que Dieu... a d'autres choses à faire que cela ! Je crois que Dieu a créé les lois de la nature, que ces lois génèrent en elles-mêmes des choses telles que la table des éléments qui permet de classer les atomes, la structure des cristaux de neige, ou les archétypes des diverses formes d'êtres vivants, et que ce sont ces lois et ces archétypes qui guident l'évolution. Il faut autant que possible se garder de toute vision trop anthropomorphique de Dieu et de son action.

3. *Le pape et Darwin*

Le pape n'étant pas un biologiste, je mentionne ici la position du magistère de l'Église catholique, uniquement parce qu'on oppose souvent aux non-darwiniens (même s'ils ne parlent que de science) que « même le pape accepte le darwinisme ».

La réalité est, elle, nettement plus nuancée. Le texte de référence en la matière est la lettre de Jean-Paul II à l'Académie pontificale des sciences le 22 octobre 1996².

1. Marc Godinot, *Hasard et direction en histoire évolutive*, op. cit., p. 497.

2. Pour la petite histoire, j'ai eu l'honneur de faire partie des premières personnes à en prendre connaissance puisque j'étais l'un des invités de cette session plénière de l'Académie pontificale des sciences.

Le point essentiel de ce texte est que le pape reconnaît que l'évolution est un fait alors qu'en 1950 Pie XII y voyait « une hypothèse parmi d'autres ». « De nouvelles connaissances conduisent à reconnaître dans la théorie de l'évolution plus qu'une hypothèse. »

Il est très significatif que les darwiniens, chrétiens ou non, citent abondamment cette phrase alors qu'ils n'évoquent jamais les deux passages suivants : « Plus que de la théorie de l'évolution, il convient de parler *des* théories de l'évolution. Cette pluralité tient, d'une part, à la diversité des explications qui ont été proposées du *mécanisme* [c'est moi qui souligne] de l'évolution et, d'autre part, aux diverses philosophies auxquelles on se réfère. »

Ce passage montre de la façon la plus nette qu'il ne s'agit pas seulement de séparer la science de son interprétation idéologique et philosophique. Certes, il faut aussi le faire. Jean-Paul II écrit juste après : « Il existe ainsi des lectures matérialistes et réductionnistes, et des lectures spiritualistes. » Mais la première partie affirme bien qu'il existe *des* théories et non une théorie de l'évolution, et qu'elles diffèrent par les mécanismes qu'elles proposent pour expliquer l'évolution.

Étant donné le style diplomatique et précautionneux de ce genre de message, il n'est pas possible d'imaginer un démenti plus cinglant à une affirmation clé des darwiniens, pour qui il ne saurait y avoir qu'une théorie susceptible d'expliquer l'évolution, le néodarwinisme, et une seule sorte de mécanisme, le hasard et la sélection naturelle, tout le reste étant secondaire. Notons que Jean-Paul II était mieux informé que bien des scientifiques parce que pour parler ainsi de la « diversité des mécanismes », il fallait qu'il soit au courant d'une partie, au moins, des faits mentionnés au chapitre 11, ce qui est loin d'être le cas de tout le monde.

Plus loin, il dit : « En conséquence, les théories de l'évolution qui, en fonction des philosophies qui les inspirent, considèrent l'esprit comme émergeant des forces de la matière vivante ou comme un simple épiphénomène de cette matière, sont incompatibles avec la vérité de l'homme. Elles sont d'ailleurs incapables de fonder la dignité de la personne¹. »

Ce deuxième passage semble dire que le darwinisme est incompatible avec la foi chrétienne puisque le darwinisme

1. Message délivré à l'assemblée plénière de l'Académie pontificale des sciences, le 22 octobre 1996, repris par le Jubilé du monde de la recherche et de la science, Conseil pontifical de la culture, 2000.

affirme justement que les seules forces de la matière vivante permettent l'émergence de toutes les formes vivantes et de leurs caractéristiques, l'une d'entre elles étant justement l'esprit qui est associé à la forme *homo sapiens*.

J'ai demandé au cardinal Georges Cottier, théologien de la maison pontificale, de m'expliquer ce passage. Il m'a répondu qu'il ne s'agissait pas d'une condamnation du néodarwinisme *stricto sensu*, qui est l'une des possibilités existant parmi d'autres pour expliquer l'évolution, mais de l'extension du néodarwinisme aux théories sur l'origine de l'esprit.

Bref, si ce texte soutient l'évolution, il est très, très loin de constituer un soutien inconditionnel au darwinisme !

Récemment, le cardinal Schönborn, archevêque de Vienne, a publié dans le *New York Times* un article qui a fait grand bruit et suscité tant de critiques qu'il a dû *a posteriori* faire publier des précisions, pour ne pas dire un démenti. Pour moi, l'erreur impardonnable de Schönborn est d'avoir écrit que le texte de Jean-Paul II de 1996 sur l'évolution était « vague et pas important » alors que nous avons vu qu'il était très précis, très subtil et tout à fait essentiel. En fait, ce que Schönborn cherche à dire, c'est que l'évolution est vraie et que le néodarwinisme est faux. Mais, comme il s'embrouille dans le vocabulaire (qui en anglais fusionne les notions d'évolution et de néodarwinisme dans un néologisme « *Darwinian evolution* » qui rend tout confus) il le dit de manière « vague et pas importante » (« L'évolution, en tant qu'existence d'un ancêtre commun, peut être vraie, mais l'évolution au sens du néodarwinisme, un processus de mutations au hasard et de sélection naturelle, non planifié et non guidé, ne l'est pas¹ »), ce qui ne l'empêche pas d'avoir en partie raison sur le fond.

Alors finalement, on est là par hasard oui ou non ?

Voici donc ce qu'il paraît important de retenir après ce vaste tour d'horizon des questions relatives à l'évolution :

— La pluralité des solutions : nous ne sommes pas contraints d'accepter une théorie unique qui serait le néodarwinisme.

— De grands chercheurs – dont certains se considérant encore comme néodarwiniens – soutiennent des concepts poussant à crédibiliser, sans le prouver, le finalisme.

1. Cardinal Schönborn, « Finding design in nature », *New York Times*, 7 juillet 2005.

— Une nouvelle théorie de la biologie est nécessaire parce que nous sommes dans la situation des « mentoniens » sur Pluton : nous pouvons déduire des faits que d'autres forces s'exercent sur l'évolution que les processus darwiniens, mais nous ne savons pas lesquels.

— Une conception de l'évolution se déroulant sous l'influence de formes préexistantes pourrait faire partie de cette nouvelle théorie.

— Que toutes ces approches se situent au sein de la science et de la biologie, ce qui n'est pas le cas de la majorité des positions des tenants de l'*Intelligent Design* qui sont créationnistes ou néocréationnistes (catégorie qui désigne les « agnostiques vis-à-vis de l'évolution »).

En ce qui concerne notre question, si on accepte la théorie darwinienne courante, la réponse, malgré toutes les subtilités développées par les darwiniens chrétiens, est : il est très probable que nous soyons là par hasard.

Si l'on adopte la position de Christian de Duve, la réponse est : un être pourvu de conscience devait apparaître ; nous avons eu la chance qu'il s'agisse de nous.

Si l'on adopte la position de Denton ou de Conway-Morris (elles sont différentes mais amènent à la même conclusion) la réponse est : nous ne sommes pas là par hasard, un hominidé pourvu de conscience devait apparaître un jour ou l'autre, d'une façon ou d'une autre.

Si, enfin, l'on adopte la position de Chauvin ou de Chandebois, qui postulent l'existence d'un programme interne, la réponse est : non seulement nous ne sommes pas là par hasard, mais le moment de notre apparition dans le grand calendrier cosmique était aussi plus ou moins déterminé.

Les faits analysés dans ce chapitre semblant parler en faveur des solutions soutenues par Conway-Morris ou Denton, cela nous incite à penser que la nouvelle théorie de l'évolution, quelle qu'elle soit, répondra de façon moins positive que le darwinisme à la question « Sommes-nous ici par hasard ? ».

Nous pouvons donc conclure, prudemment mais fermement, qu'il est très probable que notre existence ne soit pas due au hasard même si nous sommes encore loin de comprendre ce phénomène mystérieux, magnifique et passionnant qu'est l'évolution de la vie.

Sommes-nous ici par hasard ?

Que les espèces dérivent les unes des autres est confirmé par de multiples corrélations entre des observations expérimentales portant sur les fossiles ou la structure des gènes. Sur cet arbre, qui se complète et se précise de mieux en mieux, nous avons bien des singes, des batraciens, des poissons, des invertébrés parmi nos ancêtres. Toute remise en cause du concept d'évolution est donc à rejeter de la façon la plus forte possible. Une telle remise en cause est totalement antiscientifique.

Aujourd'hui, la majorité des biologistes adhèrent à la théorie darwinienne selon laquelle l'action de la sélection naturelle sur les produits de mutations dues au hasard suffit pour expliquer l'évolution au cours des temps géologiques.

Mais toute une série de faits semble montrer que si l'action de la sélection naturelle est incontestable, elle n'a pas la puissance nécessaire pour que des mécanismes darwiniens puissent expliquer l'évolution de façon globale.

Le caractère aléatoire de la plupart des mutations est incontestable, mais il ne semble pas que ce soit le cas de toutes les mutations.

Toute une série de faits provenant aussi bien de l'embryologie que de la paléontologie indique que l'évolution est canalisée vers certaines directions et que le rôle du hasard est moins important que celui prévu par la théorie darwinienne.

Des raisons pratiques (la structure des archives fossiles) et des raisons théoriques amènent à penser que l'évolution n'est pas un long fleuve tranquille, que des sauts se produisent, que l'évolution passe parfois d'un type à un autre sans intermédiaire.

Il semble que certains de ces sauts soient extrêmement peu probables si l'on ne fait pas appel à l'existence de plans d'organisation fondamentaux, à des formes archétypales qui, comme la structure des cristaux de neige, seraient inscrites dans les lois de la nature. Les formes des êtres vivants ne seraient donc pas contingentes.

Les progrès des démarches de simulation et de modélisation semblent montrer (même si l'on n'a pas encore de preuves décisives dans ce domaine), que les processus darwiniens, s'ils expliquent parfaitement la microévolution (l'évolution à l'intérieur d'un type) ne sont pas de nature à expliquer la macroévolution (le passage d'un type à un autre).

RECHERCHONS EINSTEIN DE L'ÉVOLUTION (URGENT) !

Pour les raisons que nous venons d'indiquer, mais aussi pour des raisons liées à l'histoire des sciences (les sciences de la vie sont en général en retard par rapport aux sciences de la matière), il semble qu'un nouveau paradigme soit nécessaire pour comprendre l'évolution. Les éléments que nous possédons déjà conduisent à penser que ce nouveau paradigme laissera moins de place que le darwinisme à la contingence, et que donc nous ne sommes pas apparus complètement par hasard.

V

Qui sommes-nous?

Dur, dur le problème...

« La raison pour laquelle la conscience nous apparaît comme un mystère est que nous n'avons pas une idée claire de la manière dont quoi que ce soit dans le cerveau pourrait causer les états conscients. »

John Searle

De toutes les grandes questions que nous abordons ici, celle-ci est peut-être la plus importante puisqu'elle nous concerne directement. Mais c'est aussi celle pour laquelle nous avons pour l'instant le moins d'éléments de réponse.

Nous vivons tous l'expérience d'être une entité *unique* avec une mémoire, des pensées, des sentiments. Nous faisons aussi l'expérience de sensations subjectives de douleur, de joie, de contentement et de perceptions (nous percevons le rouge, le froid, etc.).

Depuis des milliers d'années, la plupart des civilisations ont expliqué cela (même s'il y a eu de grandes différences entre elles) par l'existence de deux entités : un esprit comme unique siège de notre moi et de nos émotions, un corps contrôlé par cet esprit. Descartes est celui qui a théorisé cela en séparant la « chose pensante » (*res cogitans*) du corps (qui est une « étendue », la *res extensa*). Il a même émis une hypothèse sur la façon dont les deux interagissaient *via* la glande pinéale ou l'épiphyse (cette structure étant unique dans le cerveau tandis que les autres sont doubles, puisqu'elles existent dans les deux hémisphères).

Depuis cent cinquante ans, avec l'observation des malades atteints de lésions cérébrales, puis depuis trente ans, grâce aux énormes progrès des procédés de l'imagerie cérébrale, la recherche a pris une tout autre direction.

Voici, en résumé, les faits qui me semblent importants pour aborder la question de la nature humaine.

QUI SOMMES-NOUS?

L'observation de patients atteints de différentes lésions a été et reste toujours une source essentielle d'information. Ainsi, certaines personnes ne peuvent plus voir même si leurs yeux sont en parfait état, car leur aire visuelle est détruite. Certains ne peuvent plus bouger une partie de leur corps, d'autres le peuvent mais ne peuvent plus la sentir.

Tout cela a permis d'établir une carte du cerveau (figure 13.1)

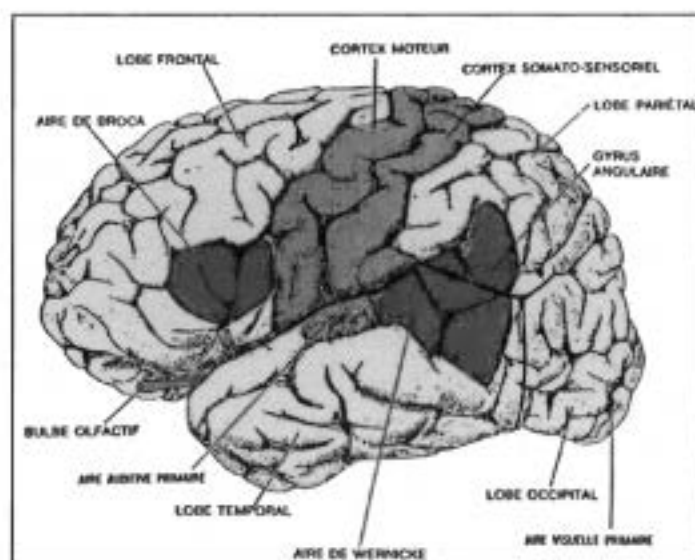


Figure 13.1.

Carte des principales zones du cerveau.

Il faut noter qu'il existe une spécialisation des deux hémisphères. Ainsi, chez 95 % des droitiers et chez 70 à 80 % des gauchers, les aires du langage se trouvent dans l'hémisphère gauche.

L'un des points essentiels est que les lésions interviennent aussi sur les caractères les plus évolués des êtres humains : leur sens moral, leur capacité à se projeter dans l'avenir, à se comporter en société.

Le cas de Phineas Gage nous le montre. En 1848, ce jeune homme de 25 ans était chef d'équipe de travaux de construction de voies ferrées sur la côte Est des États-Unis. Très compétent, apprécié de ses hommes, très sociable, il est victime d'un dramatique accident.

L'explosion d'une charge destinée à éliminer un rocher projeta la barre de fer de 3 centimètres de diamètre et de 1 mètre de long, que Gage tenait à la main, à travers sa tête. Elle entre en position verticale par la joue gauche et ressort par le haut du

crâne. Gage est transporté dans un hôtel. Le médecin qui arrive une heure après l'accident découvre avec stupéfaction que Gage peut parler tout à fait normalement et raconter l'accident alors que l'on peut voir l'intérieur de son cerveau à cause du trou qu'il a dans la tête !

Grâce à des soins intensifs qui lui permettront de survivre à l'infection qui se déclenche après l'accident et qui durera deux mois, Gage est totalement rétabli. Il a perdu l'œil gauche, mais voit parfaitement avec le droit. Il a conservé toute son habileté manuelle, marche et parle sans problème. Cela semble relever du miracle. Seulement il y a un gros problème. Très vite, ses amis se rendent compte que « Gage n'est plus Gage ». Sa personnalité a complètement changé. Il manifestait peu de respect pour les autres, se comportait comme un enfant voulant assouvir ses désirs, laissait libre cours à ses pulsions au point qu'il ne fallait pas le laisser seul avec des femmes. Incapable de se projeter dans l'avenir, il avait perdu toutes ses capacités d'organisateur.

Il fut licencié de tous les postes qu'il essaya d'occuper, ne pouvant arriver à se comporter normalement. Il gagna sa vie en s'exhibant dans des foires, muni de la barre de fer qu'il avait conservée. Il mourut de convulsions en 1860 à l'âge de 37 ans.

Cent trente ans après, Hanna Damasio¹ a pu, à partir du crâne de Gage et de la barre de fer (ils se trouvent à la faculté de médecine de l'université Harvard), reconstituer exactement les dommages subis par le cerveau de Gage. Ceux-ci sont situés dans la région ventro-médiane des lobes frontaux. Les patients actuels ayant des lésions dans cette zone présentent les mêmes déficits pour décider, pour contrôler leurs émotions, et pour se comporter en société.

D'autres exemples récents montrent que des comportements totalement anormaux peuvent être imposés à une personne, *contre sa volonté*, par le biais de modifications de son cerveau. Ainsi, un père de famille attentionné n'ayant jamais eu de troubles du comportement se mit à collectionner des images pédophiles puis à commettre des actes pédophiles. Mis en prison, il affirmait ne pas comprendre ce qui se passait. Alors qu'il n'avait jamais eu de pulsions de cette sorte, ils se sentait « obligé », depuis quelque temps, de se comporter ainsi. Un scanner du cerveau révéla

1. Toute l'histoire de Gage est très bien décrite par Antonio Damasio, le mari d'Hanna Damasio, dans *L'erreur de Descartes*, Odile Jacob, 1995, p. 19-55.

l'existence d'une tumeur qui comprimait certaines zones du cerveau. Une fois opéré, il put reprendre une vie normale.

Une autre grande source d'information provient non pas des malades mais d'images de sujets sains, obtenues grâce à la résonance magnétique nucléaire.

Cette technique permet de voir en direct l'activité du cerveau non seulement lorsque vous bougez un bras, mais également lorsque vous goûtez un bon vin ou que vous pensez à une expérience traumatisante. On peut ainsi cartographier les zones du cerveau impliquées dans différents types d'activité. Une fois que l'on aura bien calibré ces zones, certains auteurs vont jusqu'à penser que l'on pourra un jour savoir si une personne regarde une femme habillée en rouge en train de courir ou un cheval noir immobile ! En effet, il y a des groupes de neurones qui détectent le mouvement, d'autres qui réagissent en fonction des couleurs et d'autres à la forme des objets que nous regardons.

Tous ces progrès, ces localisations des aires spécialisées dans le cerveau, ces évidences de la dépendance extrême dans laquelle nous sommes (y compris en ce qui concerne nos comportements les plus intimes et les plus « évolués ») vis-à-vis de l'état de notre cerveau ont très logiquement généré un paradigme dans lequel il est indiscutable que la conscience soit, d'une façon ou d'une autre, produite par le cerveau.

Mais il reste deux gros problèmes : pour qui le monde existe-t-il ? Certes, nous voyons une femme habillée en rouge courir. Mais où cette unité de vision se réalise-t-elle alors que nous savons que des groupes de neurones différents traitent les couleurs, la forme, le mouvement ?

Et, problème encore plus fondamental, comment les phénomènes faisant partie de notre expérience subjective à quasiment tous les instants de notre vie (être un « moi » unique, éprouver la beauté d'un coucher du soleil, être heureux en écoutant une belle musique...) peuvent-ils être produits à partir de l'activité physique des neurones de notre cerveau ? D'où provient la conscience, c'est-à-dire le fait d'*éprouver* quelque chose ?

C'est ce que le philosophe David Chalmers a appelé le « *hard problem*¹ », le problème difficile (on pourrait aussi le traduire par le « dur problème », d'où le titre de ce chapitre...).

1. David Chalmers, *The conscious mind*, Oxford University Press, 1996.

Quasiment tous les spécialistes s'accordent pour dire qu'il n'y a, dans le cerveau, aucun « lieu de la conscience », qu'il n'y a pas un endroit unique où seraient projetées toutes les sensations et où un « soi » en prendrait conscience (on appelle parfois cet endroit hypothétique un « théâtre cartésien »).

La majorité des neurologues et des philosophes qui travaillent sur la conscience se regroupent en deux grandes catégories : les *identitaires* et les *émergentistes*.

Les identitaires : rien d'autre que les neurones

Pour eux, le mental est identique au cérébral. « L'esprit humain est un objet physique¹. » La conscience est entièrement réductible à la physique. Il en découle que le « problème difficile » est un faux problème. En fait, il n'y a *rien* à expliquer, juste des processus physiques.

Il y a des identitaires « forts » et « faibles ». De même que pour les darwiniens forts et faibles, ces adjectifs ne concernent en rien la *valeur* des théories énoncées.

Les *identitaires forts* sont aussi parfois appelés « éliminationnistes » en ce qu'ils éliminent totalement le problème de la conscience.

Les *identitaires faibles*, parfois appelés « fonctionnalistes », admettent que les rapports entre les états neuronaux et les états mentaux peuvent être moins stricts que pour les identitaires forts. Un état mental est un état physique mais il se définit comme mental en raison de sa position dans une configuration complexe de relations causales. Néanmoins, il se réduit totalement au fait d'avoir de telles relations avec les « entrées » du système (perceptions, sensations apportées au cerveau par les nerfs)².

1. Douglas Hofstadter et Daniel Dennett, *Vues de l'esprit*, InterÉditions, 1987, p. 286.

2. John Searle, *Le mystère de la conscience*, Odile Jacob, 1999, p. 145-149, pour une explication détaillée.

Les émergentistes : le tout est plus que la somme des parties

Pour eux, nos sensations conscientes subjectives ne peuvent pas être réduites à des états physiques, même si elle sont produites par des états physiques. C'est pour cela qu'ils vont soutenir l'idée d'émergence. L'eau, par exemple, a de très nombreuses propriétés que l'on ne peut nullement deviner si l'on ne connaît que les atomes d'oxygène « O » et les molécules d'hydrogène « H₂ ». L'eau n'est rien d'autre que H₂O mais c'est un « tout » qui est plus que la somme de ses parties puisqu'il manifeste des propriétés qui ont « émergé » et qui n'existaient pas dans ces composants.

Pour les émergentistes faibles, il en sera exactement ainsi de la conscience et des sensations subjectives qui l'accompagnent.

Les émergentistes forts, eux, franchissent un palier supplémentaire. L'émergence peut, selon eux, produire des niveaux ontologiquement distincts des niveaux de départ. Ces nouveaux niveaux contiendront des forces ou des entités capables d'exercer une influence causale sur les niveaux inférieurs qui les ont créées (on appelle cela la « causalité descendante »), ce que nient les émergentistes faibles¹.

Nous allons maintenant analyser plus en détail les positions de quelques personnalités, mais auparavant, un petit rappel élémentaire sur le fonctionnement du cerveau est nécessaire.

Les neurones

Un neurone est une cellule très particulière. Il possède toute une série de ramifications appelées « dendrites », un corps central, le « soma », et une longue « tige », l'axone (cf. figure 13.2).

1. Voir Philip Clayton, *Mind and emergence*, Oxford University Press, 2004, p. 1 à 62 pour une très complète analyse des formes d'émergence.

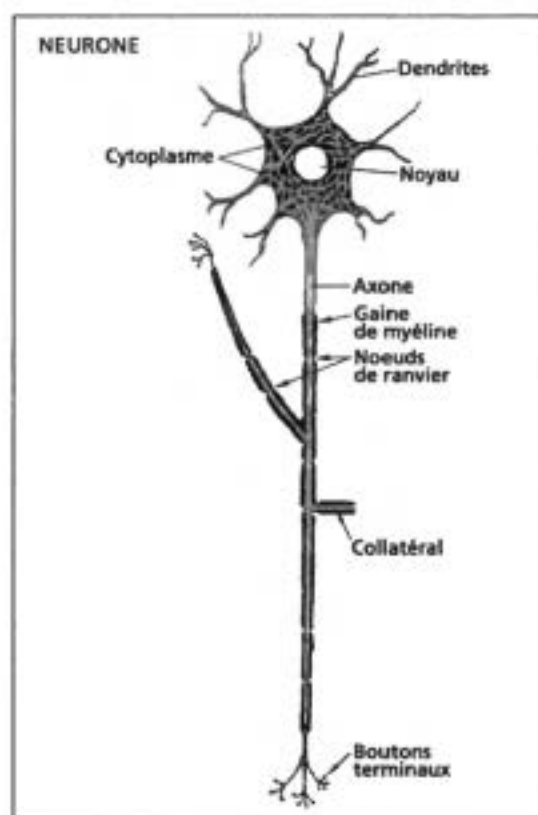


Figure 13.2.
Structure d'un neurone.

Un neurone reçoit, *via* des dendrites, des signaux émis par les axones des autres neurones. Les signaux sont traités dans le corps central. Un neurone reçoit des signaux qui vont soit le pousser à se déclencher, soit inhiber son déclenchement. Il fait la « somme » de tous les signaux reçus, ce qui l'amènera à se déclencher ou non. S'il se déclenche, il envoie une impulsion électrique qui se propage dans l'axone. En général, les neurones produisent, *via* leur axone, toujours le même type d'effets sur leurs voisins. En se déclenchant, certains neurones vont contribuer à exciter d'autres neurones, alors que d'autres auront toujours une action inhibitrice.

L'axone se termine par un bouton qui va permettre au signal de passer d'un neurone à un autre, (ou d'un neurone à une cellule musculaire, dans le cas des neurones qui contrôlent les muscles) *via* une synapse. Une synapse, c'est un espace très fin (200 à 300 angstroms) qui sépare le bouton terminant un axone de la surface d'une dendrite. L'influx électrique va, en arrivant dans le bouton, exciter des vésicules qui vont s'ouvrir, relâchant des molécules appelées « neurotransmetteurs » qui vont influencer la

dendrite située de l'autre côté de la synapse, en y créant un courant électrique. Ainsi l'espace séparant les deux neurones est franchi par un médiateur chimique qui sert de relais pour des impulsions électriques (cf. figure 13.3)

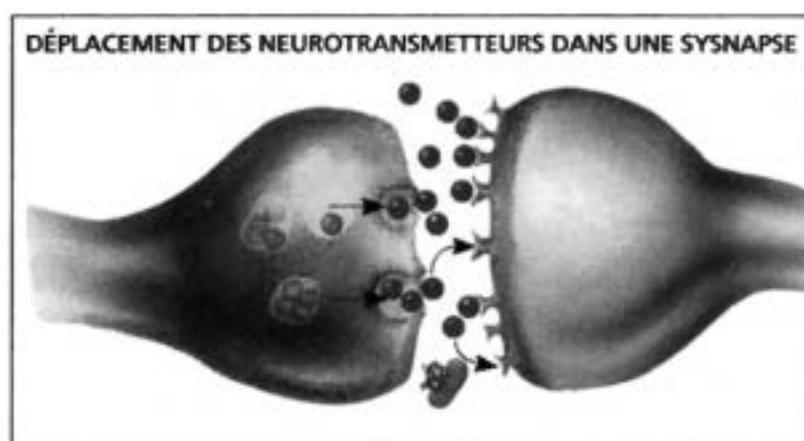


Figure 13.3.

Passage de l'influx nerveux d'un neurone à un autre *via* une synapse.

Certes, il y a de nombreuses autres choses qui se produisent dans les neurones et il existe d'autres sous-structures auxquelles certains ont voulu faire jouer un rôle, mais l'essentiel se résume à ce que je viens de décrire. Tout ce que nous sommes se réduit donc à l'activité de l'immense réseau que forment les 100 milliards de neurones de notre cerveau, chacun étant connecté en moyenne à 10 000 autres neurones.

C'est ce que FRANCIS CRICK, prix Nobel de médecine pour la découverte de la structure hélicoidale de l'ADN, appelle l'« hypothèse stupéfiante » : « Nous ne sommes rien d'autre qu'un paquet de neurones » (voir la citation de Crick page 26). Crick se concentre sur la vision parce qu'il pense qu'il s'agit d'un domaine dans lequel les progrès sont plus faciles. Il est prudent car il dit seulement chercher les « corrélats » de la conscience visuelle.

Or, une corrélation n'est pas une cause. Son ouvrage ainsi que d'autres travaux effectués avec Christopher Koch fournissent de nombreuses informations intéressantes sur la vision. Reste que concernant *le* problème, celui de l'unité de la perception, on reste sur sa faim. Crick suppose fort justement qu'une « agrégation » des informations éparses obtenues à propos d'un objet doit être faite mais que le processus reste inconnu : « L'informa-

tion relative à un seul objet est répartie dans l'ensemble de l'encéphale. Il existe donc certainement un moyen d'imposer une unité temporaire aux activités de tous les neurones appropriée à ce moment précis (soit dit en passant, nous ne voyons vraiment pas pourquoi cette unité globale requiert des effets spéciaux quantiques – c'est l'opinion de Crick et il n'est pas sûr qu'il ait raison). Il est possible que cette unité soit obtenue avec le concours du mécanisme rapide de l'attention, dont la nature exacte reste méconnue¹. »

Comme il faut bien élaborer l'« hypothèse stupéfiante », Crick suppose que c'est grâce à une fréquence commune qui pourrait être de 40 hertz que s'établit une unité entre les différents neurones. Puis, que le thalamus joue un rôle central ainsi que les cellules pyramidales de la couche cinq. Selon lui, « on pourrait avancer que ce qu'un de ces neurones devrait envoyer aux autres parties du cerveau, ce sont les résultats des traitements de l'information par les neurones. J'ai émis l'idée qu'il était possible que la conscience corresponde à un sous-ensemble de ces résultats² ».

Ainsi, la conscience serait, en quelque sorte, un sous-ensemble accessoire de l'activité neuronale. Il s'agit d'une position quelque peu « localisationniste », selon laquelle la conscience serait causée par un petit groupe de neurones particuliers. Position assez rare et testable, puisqu'une anesthésie de ces seuls neurones devrait priver de conscience une personne.

Crick n'a pas l'air d'y croire beaucoup lui-même puisqu'il a l'honnêteté d'écrire : « Si qui que ce soit me soumettait cette théorie, je la condamnerais à l'instant et la traiterais de château de cartes. Touchez-la, elle s'écroule³. »

Crick représente la tendance « éliminationniste », comme l'indique le réductionnisme de l'énoncé de son hypothèse ainsi que sa définition de l'émergence. Il considère comme « mystique » une définition correspondant non pas à l'émergence forte mais à l'émergence *faible* : « Le comportement émergent ne peut absolument pas être compris comme une combinaison du fonctionnement de ses différentes parties. » Sa propre définition, qu'il considère comme la seule scientifique, est si « faible » que

1. Francis Crick et Christopher Koch, « Towards a neurobiological theory of consciousness », *Seminars in the neurosciences* 2, 1990, p. 263-275, voir p. 274.

2. Francis Crick, *L'hypothèse stupéfiante*, Plon, 1995, p. 318.

3. *Ibid.*, p. 341.

je pense que peu d'émergentistes l'accepteront : « Si le tout peut ne pas être que la simple somme de ses parties, son fonctionnement peut, en principe, être compris à partir de la nature et au comportement de ses parties et de leur interaction¹. »

GÉRALD EDELMAN est également un prix Nobel de médecine passionné par le problème de la conscience. Son idée clé est la « théorie de la sélection des groupes neuronaux ». La structure du cerveau n'est pas, comme nous l'avons mentionné, totalement déterminée à la naissance. Pour Edelman, des groupes de neurones sont en compétition pour accomplir les mêmes tâches. Ceux qui y arrivent mieux que d'autres vont se trouver renforcés tandis que les autres vont dépérir. Cela ressemble considérablement au processus de sélection naturelle et c'est pour cela que la théorie d'Edelman est appelée le « darwinisme neuronal ». Cela paraît crédible pour le développement du cerveau mais comment passe-t-on de cela à la conscience ?

Edelman s'attache d'abord à la formation des catégories par le cerveau. Pour lui, le phénomène essentiel est celui de la réentrée ou de la rétroaction. Les groupes de neurones qui analysent certaines caractéristiques d'un objet, sont en interaction permanente, les données élaborées circulant de l'un à l'autre. Ainsi, une vision globale de l'objet émerge au niveau du cerveau sans être localisée où que ce soit. Une fois obtenues, ces catégories sont mémorisées.

La conscience primaire – celle qui permet par exemple à des mammifères de reconnaître leurs proies – va naître de boucles permanentes entre cette mémoire et les perceptions que reçoit le cerveau. La conscience supérieure, la nôtre, va naître à partir de la conscience primaire grâce à l'ajout du langage, qui sera à l'origine de nouvelles boucles dans le circuit allant de la mémoire aux perceptions. Ce qui précède est un résumé beaucoup trop court des conceptions d'Edelman qui forment un système très complexe (Edelman dit avec humour qu'une théorie simple de la conscience ne serait pas crédible). Le mieux est d'en prendre connaissance par soi-même, même si ce n'est pas toujours très clair².

1. Francis Crick, *op. cit.*, 1995, p. 28.

2. Gérald Edelman, *Biologie de la conscience*, Odile Jacob, 1992, voir p. 147-180, et Gérald Edelman, *Plus vaste que le ciel*, Odile Jacob, 2004, voir p. 67-136, pour une bonne introduction à ses théories des consciences primaire et supérieure.

Edelman est également prudent : « Dans l'état actuel de nos connaissances, cette vision ne peut être que spéculative [...] Il est bon de rappeler encore une fois que ce que j'ai exposé ici est une théorie, et qu'elle n'est pas encore établie¹. »

Mais le problème le plus grave est que, comme le souligne John Searle², Edelman ne nous dit pas comment tous ces mécanismes de réentrées causent des états conscients. On pourrait très bien imaginer des cerveaux ayant les mêmes mécanismes très complexes que ceux qu'il décrit... sans avoir de conscience.

Son raisonnement pourrait se résumer ainsi :

1. Nous savons que la conscience existe.
2. Il faut qu'elle émerge des processus cérébraux.
3. Il y a des tas de processus complexes qui interagissent entre eux.
4. La conscience doit donc émerger de ces interactions.

Certes, un résumé aussi lapidaire ne rend pas justice au travail très élaboré d'Edelman – dont certains aspects sont certainement testables. Il a, par ailleurs, élaboré un programme « Darwin III » permettant certaines formes de catégorisation (mais justement la catégorisation n'est pas la perception consciente). Ce résumé tend à montrer que le modèle d'Edelman ne constitue pas une explication de la conscience. Néanmoins l'approche d'Edelman est un exemple intéressant d'émergence faible. Il s'oppose au réductionnisme : « Malgré ses succès, le réductionnisme n'en est pas moins absurde lorsqu'on l'applique exclusivement à la matière de l'esprit³ », au fonctionnalisme, aux « identitaires » et à tous ceux qui assimilent l'esprit à un programme d'ordinateur⁴. Il pense qu'une machine possédant une conscience supérieure puisse un jour être construite ; néanmoins, elle sera très différente d'un ordinateur. Comme la plupart des émergentistes, il attache une très grande importance au corps et à la structure du cerveau pour l'apparition de la conscience. Il croit en l'existence d'une certaine forme de libre arbitre et rejette le déterminisme psychologique de Freud⁵. Enfin, il nous dit que sa théorie implique

1. Gérald Edelman, *Biologie de la conscience*, op. cit., p. 275.

2. John Searle, *Le mystère de la conscience*, op. cit., p. 58-61.

3. Gérald Edelman, *Biologie de la conscience*, op. cit., p. 223.

4. *Ibid.*, p. 288-314.

5. *Ibid.*, p. 223-224.

une certaine incomplétude de notre connaissance de l'esprit mais que cela ne doit pas décourager la recherche¹.

ROGER SPERRY, prix Nobel de médecine, un des grands neurologues du XX^e siècle, représente, lui, l'émergence forte. Il affirme être « mentaliste » tout en rejetant le dualisme : « Quand je me prétends mentaliste, je soutiens que les phénomènes mentaux subjectifs, tels qu'on en fait l'expérience subjective, représentent une réalité primordiale exerçant un effet causal et qu'ils sont distincts de leurs éléments physico-chimiques, auxquels ils ne peuvent être ramenés². »

Roger Sperry prétend (une conception que Crick qualifierait certainement de « supermystique ») que quelque chose de radicalement différent des processus neuronaux émerge de ces processus. Cet « esprit conscient », qui n'est pas physico-chimique, est replacé « dans une position de commandement suprême³ ».

Mais attention, cet esprit conscient impose son mouvement global aux molécules sans directement interagir avec elles, exactement, nous dit Sperry, comme la roue impose une direction de déplacement à toutes les molécules qui la composent sans interagir directement avec elles.

Sperry fait cette restriction pour ne pas se voir accuser de violer les lois de la physique. Mais ses conceptions l'amènent à une critique virulente du matérialisme et aussi de la science qui va avec : « Il me paraît indispensable de contester avec la dernière rigueur la conception matérialiste et réductionniste de la nature et de l'esprit humain, conception issue semble-t-il de l'attitude objective et analytique aujourd'hui prédominante dans les sciences du cerveau et du comportement [...] Je soupçonne que nous avons été dupés, qu'à la société et à elle-même la science n'a fourgué que de la camelote⁴. »

Le philosophe PHILIP CLAYTON a récemment développé des conceptions philosophiques qui aboutissent à une théorie de

1. *Ibid.*, p. 275.

2. Roger Sperry, *Science and moral priority*, Columbia University Press, 1982, p. 79.

3. Roger Sperry, « Forebrain commissurotomy and conscious awareness » in C. Trevarthen (dir.), *Brain circuits and functions of the mind*, Cambridge University Press, 1967, p. 382.

4. Roger Sperry, *Science and moral priority*, *op. cit.*, p. 28.

l'émergence forte à l'image de celle de Sperry. L'être humain est constitué de toute une série de niveaux et chaque niveau doit être expliqué par une science adaptée audit niveau.

« Je parie qu'aucune explication faisant l'économie d'un niveau psychologique irréductible ne pourra rendre compte de la personne humaine. Comme je l'ai dit, cela implique que la dimension consciente ou mentale de la personne humaine existe réellement et puisse exercer des effets causaux¹. »

Pour ANTONIO DAMASIO, les émotions sont essentielles. Il n'hésite pas à énoncer que « la passion fonde la raison² », ce qui paraît contre-intuitif. Il se fonde pour cela sur le cas de patients ayant subi des lésions dans la même zone que celle du pauvre Phineas Gage. Leur capacité de ressentir, de raisonner et de décider semblait altérée, ce qui amena Damasio à penser qu'elles étaient liées.

En ce qui concerne la conscience, il semble être « localiste ». Ce qu'il appelle le « moi » et qui génère la subjectivité nécessaire à la conscience est pour lui localisé dans les aires somato-sensorielles de l'hémisphère droit. Les patients ayant des lésions à cet endroit perdent la mobilité de la partie gauche de leur corps... et ne sont pas capables de s'en apercevoir ! Damasio rapporte le cas d'un juge de la Cour suprême des États-Unis qui, dans un fauteuil roulant, prétendait pouvoir marcher et courir sans problème. Après avoir été démis de ses fonctions, il continua à se rendre à son bureau affirmant que tout allait bien et que, donc, il n'avait pas pu être démis de ses fonctions³. Damasio en déduit que « les lésions dont ils sont atteints détruisent partiellement la base neurale de leur moi. Ils n'ont de ce dernier qu'une notion désormais très appauvrie, parce qu'il leur est très difficile de prendre en compte dans leurs processus mentaux, les états présents du corps ». Il semble pourtant que les patients souffrant de ce mal étrange n'aient aucun trouble d'identité et continuent parfaitement de savoir qui ils sont.

En France, JEAN-PIERRE CHANGEUX représente le courant « identitaire fort » ; pour lui, « l'identité entre les états mentaux et les états physico-chimiques du cerveau s'impose en toute

1. Philip Clayton, *Mind and emergence*, op. cit., p. 149.

2. Antonio Damasio, *L'erreur de Descartes*, op. cit., p. 307.

3. *Ibid.*, p. 91-100.

légitimité ». Il est réductionniste comme l'est Crick sans être « localiste », tout en utilisant l'idée de réentrée comme Edelman : « Les opérations sur les objets mentaux et surtout leurs résultats, seront "perçus" *par un système de surveillance*, composé de neurones très divergents et de leurs réentrées. Les enchaînements et emboîtements, ces "toiles d'araignée", ce système de régulations fonctionnera *comme un tout*. Doit-on dire que la conscience "émerge" de tout cela ? Oui, si l'on prend le mot émerger au pied de la lettre, comme lorsque l'on dit que l'iceberg émerge de l'eau. Mais il suffit de dire que la conscience *est* ce système de régulation en fonctionnement. L'homme n'a dès lors plus rien à faire de "l'esprit", il lui suffit d'être un homme neuronal¹. »

Il est important de noter que ce type de position repose sur cette équivalence neuronal-mental. Ainsi Changeux a pu dire à un auditeur, à l'occasion de l'inauguration de son cours au Collège de France : « Je ne sais pas ce que vous êtes en train de penser, mais lorsque nous connaissons toutes les interactions neuronales ayant lieu dans votre cerveau, je saurai non seulement ce que vous pensez mais aussi ce que vous allez penser dans deux minutes et que vous ne savez pas encore. » On retrouve là un déterminisme proche de celui de Laplace, fondé sur la même vision du monde.

Certains philosophes ont également consacré la majeure partie de leur œuvre à l'étude de la conscience. Nous résumerons les idées de trois d'entre eux.

L'œuvre majeure de DANIEL DENNETT s'intitule *La conscience expliquée*. En fait, quand on arrive au bout des 565 pages, on se rend compte qu'il y a une erreur sur la marchandise. En effet, Dennett élimine tout bonnement la conscience plutôt que de l'expliquer, comme le montre son dernier sous-titre « La conscience expliquée ou éliminée ? ». « Lorsque la physique vous dit que la seule différence qui existe entre l'or et l'argent est le nombre de protons et d'électrons de leurs atomes, les notions d'"argenté" ou de "doré" sont éliminées. »

C'est pareil pour la conscience, celle-ci *doit* être totalement réductible : « Seule une théorie qui expliquerait les événements conscients en termes d'événements inconscients pourrait expliquer la conscience. Si notre modèle de la façon dont la douleur

1. Jean-Pierre Changeux, *L'homme neuronal*, Fayard, 1983, p. 211.

est un produit de l'activité cérébrale contient toujours une boîte appelée "douleur", vous n'avez pas encore commencé à expliquer ce qu'est la douleur¹. »

La subjectivité de l'expérience – ce que les philosophes appellent les « *qualia* » – doit donc être éliminée pour « l'identifier avec la somme totale de toutes les dispositions réactives idiosyncrasiques inhérentes à mon système nerveux qui résultent de ma confrontation avec un certain schéma de stimulation² ». Il me plaît d'imaginer Dennett souffrant d'une rage de dents terrible répétant : « Allons, ce n'est rien que la somme totale de toutes... » (prière de répéter la suite de la phrase précédente à voix haute).

Même si le livre de Dennett fourmille de métaphores brillantes dont une partie a pour but de nous convaincre que notre conscience est assimilable à un programme d'ordinateur et que nos sentiments sont réductibles à de tels programmes, on n'a jamais résolu un problème en niant son existence.

Comment DAVID CHALMERS essaie-t-il de résoudre le « dur problème » de la conscience, lui qui l'a énoncé sous cette forme ? Par un curieux mélange de fonctionnalisme (la position identitaire faible) et de dualisme !

Pour reprendre l'exemple de la douleur, Chalmers dira qu'il y a en réalité deux significations à ce mot : une signification physique équivalente à celle de Dennett et une signification qui dépend de la conscience. Chalmers suppose qu'il y a un accord parfait ou une forme de parallélisme entre l'organisation fonctionnelle du cerveau et la conscience.

La conscience existe, elle accompagne le fonctionnement de notre corps mais ne sert à rien pour expliquer notre comportement : « Il semble relativement manifeste qu'il est possible de donner une explication physique du comportement qui n'invoque ni n'implique l'existence de la conscience³. » La conscience serait donc une sorte de « bonus », mais les conceptions de Chalmers impliquent qu'elle soit présente partout dans l'Univers où de l'information est présente. Il semble que Chalmers assimile l'expérience avec la perception d'une différence dans une situation quelconque, donc avec l'information.

1. Daniel Dennett, *La conscience expliquée*, op. cit., p. 564.

2. *Ibid.*, p. 479.

3. David Chalmers, *The conscious mind*, Oxford University Press, 1996, p. 177.

Cela l'amène à se demander très sérieusement : « Quel effet cela fait-il d'être un thermostat ? » Il reconnaît que « de toute évidence, ce ne sera pas très intéressant d'être un thermostat¹ », mais, bon, les thermostats sont conscients, les rochers aussi (ils s'étendent ou se contractent²), bref, il y a de la conscience partout.

Il est remarquable de voir un philosophe aussi respecté et connu adopter ainsi une conception « panpsychique » du monde.

Pour JOHN SEARLE, la thèse de Chalmers est « le symptôme d'un certain désespoir qui se manifeste aujourd'hui dans les sciences cognitives³ ». Searle, lui, est un « émergentiste faible », et un grand défenseur du caractère irréductible de la conscience : « Toutes ces tentatives réductionnistes pour éliminer la conscience sont aussi désespérées que le dualisme qu'elles étaient censées supplanter. En un sens, elles sont pires, parce qu'elles nient l'existence réelle des états conscients qu'elles étaient supposées expliquer⁴. » Searle veut rejeter le dualisme mais également le matérialisme au sens classique du terme : « Les matérialistes veulent aussi, en règle générale, nier que la conscience soit une partie réelle et irréductible du monde réel. Ils veulent soutenir que ce n'est "rien que..." , puis ils choisissent leur candidat favori pour remplir le blanc : le comportement, les états neurochimiques du cerveau, les programmes d'ordinateurs, etc. Pour ma part, je nie le matérialisme ainsi entendu⁵. »

Searle va jusqu'à dire qu'il considère « le déni » de l'existence de la conscience par Dennett, « non pas comme une découverte sérieuse ou même comme une possibilité sérieuse, mais plutôt comme une forme de pathologie intellectuelle⁶ ».

Mais comment expliquer cette émergence de la conscience ? Searle reconnaît qu'on n'en sait rien pour l'instant : « Il nous faut franchement avouer notre ignorance. Ni moi, ni qui que ce soit d'autre ne sait à ce jour à quoi ressemblerait une telle théorie⁷. »

1. *Ibid.*, p. 293.

2. *Ibid.*, p. 297.

3. Searle, *Le mystère de la conscience*, op. cit., 1999, p. 151.

4. *Ibid.*, p. 11.

5. *Ibid.*, p. 218.

6. *Ibid.*, p. 119.

7. *Ibid.*, p. 203.

Et il en rajoute en parlant du « vilain secret des neurosciences » : « Nous ne disposons pas, jusqu'ici, de principe théorique unificateur des neurosciences. Au sens où nous avons une théorie atomique de la matière, une théorie bactériologique de la maladie [...] nous n'avons pas une théorie du fonctionnement du cerveau¹. »

Ce tour d'horizon nous montre qu'ici la situation est très différente de celle du domaine de l'évolution. Pas de théorie hégémonique prétendant tout expliquer mais des hypothèses ne reposant sur aucun mécanisme précis. Cela n'empêche pas Searle de répéter (« comme un mantra » dit Chalmers) que le « cerveau cause la conscience ». Est-ce pour s'autopersuader ou pour montrer qu'il ne verse pas dans le spiritualisme malgré son insistance sur l'irréductibilité de la conscience ? En fait, il ne fait qu'exprimer l'opinion que partagent, malgré leurs nombreuses différences, Dennett, Crick, Edelman et même Sperry.

Et s'ils se trompaient tous ?

Pour comprendre, *malgré* l'histoire de Phineas Gage, *malgré* tous les exemples de patients atteints de lésions du cerveau et *malgré* tous les appareils montrant le cerveau « en train de penser », comment le cerveau pourrait ne pas être le producteur de la conscience, il nous faut également recourir à une métaphore.

Le cerveau est-il un ipod ou une radio ?

Imaginons que des extraterrestres observent nos faits et gestes depuis des années. Et que, très désireux de ne pas nous perturber, ils ne se fassent jamais remarquer. Ils profitent de nos vacances pour rentrer chez nous et étudier les objets qui s'y trouvent. Imaginons-les maintenant dans la chambre d'une adolescente. L'analyse des CD et de leurs lecteurs leur apprend rapidement que des sons y sont codés sous forme numérique et

1. *Ibid.*, p. 204.

que le lecteur effectue un décodage permettant de restituer les sons. L'analyse de l'ipod les mènera à la même conclusion. Si le système de stockage est technologiquement plus avancé et qu'il puisse stocker une plus grande quantité de sons, les techniques de stockage et de lecture n'en sont pas moins compréhensibles pour autant.

La radio les plongera, en revanche, dans un abîme de perplexité. Où exactement les sons sont-ils stockés dans la radio et comment sont-ils lus ? Pour essayer de le comprendre, ils se livreront à de multiples expériences, modifiant ou retirant des composants de la radio. Ils constateront que le son émis est modifié, voire supprimé, par de telles actions. Ils en concluront très logiquement que même si la radio est un objet technologiquement très avancé, son principe général n'est pas différent de celui de l'ipod ou du lecteur de CD : il émet des sons qui sont stockés en son sein. Ils seraient si persuadés de cette conclusion que, si un jour ils emportaient ces trois objets dans l'espace et s'ils constataient que la radio ne fonctionne plus, alors que l'ipod, lui, fonctionne encore, ils expliqueraient sans doute cela par la sensibilité de la radio – objet plus évolué, donc plus fragile – au champ magnétique de leur vaisseau ou de l'apesanteur...

Et bien sûr, ils traiteraient de « préscientifique », de « magique », ou de « mystique » toute théorie envisageant que les sons ne soient pas stockés dans la radio mais émis par quelque source mystérieuse.

Voilà donc un point clé : aucun des faits existant à ce jour ne prouve que le cerveau soit l'équivalent d'un ipod ou d'un CD, ni ne lui interdit d'être un poste de radio.

Certes, la conscience est modifiée lorsque certaines zones du cerveau le sont, mais cela ne prouve pas plus que le cerveau *produise* la conscience que le fait que la musique se modifie quand on modifie les composants de la radio ne prouve que la radio *produise* la musique. Une minorité de neurologues n'hésite donc pas à franchir le pas et à considérer le cerveau comme une *condition* et non comme la *cause* ultime de la conscience.

SIR JOHN ECCLES a été l'un des grands neurologues du XX^e siècle. Le philosophe Karl Popper et lui ont écrit un ouvrage¹ dans lequel ils développent un modèle où trois mondes sont en inter-

1. Karl Popper et John Eccles, *The self and its brain*, Springer, 1977.

action. Le monde 1 regroupe toutes les choses matérielles, le monde 2, tous les états de conscience, et le monde 3, le patrimoine culturel.

Cette conception est clairement dualiste et comme tous les dualistes, Eccles et Popper sont confrontés à la fameuse question : comment l'esprit, s'il existe, peut-il influencer le cerveau sans violer les lois physiques, au premier rang desquelles la loi de conservation de l'énergie ?

C'est grâce à Frederick Beck, physicien quantique et directeur du département de physique théorique de l'université de Darmstadt, que Eccles a trouvé la solution.

Eccles a reçu le prix Nobel pour l'élucidation du fonctionnement de la synapse. Comme nous l'avons vu, la synapse est l'élément essentiel pour le transfert de l'influx nerveux d'un neurone à l'autre. Or, ce transfert dépend de l'exocytose, c'est-à-dire de l'éclatement d'un petit nombre de vésicules contenant chacune 5 à 10 000 molécules de neurotransmetteurs (cf. figure 13.3). L'ouverture de chaque vésicule est du type « tout ou rien » et dépend du déplacement d'une partie infime de la membrane de la vésicule (d'un poids de 10^{-18} gramme). Lorsque l'influx nerveux arrive dans le bouton qui termine l'axone (cf. figure 13.2), l'exocytose permettant la transmission du « message » au neurone suivant n'a, en général, qu'entre un quart et un tiers de chances de se produire.

En réalisant un traitement quantique de l'exocytose, Beck a montré que la probabilité que celle-ci se produise pouvait être augmentée ou diminuée sans que cela *constitue en rien une violation* des lois de conservation d'énergie, car les masses mises en jeu dans le phénomène d'exocytose sont suffisamment petites pour rentrer dans les incertitudes existant sur le plan quantique.

Le travail de Beck et Eccles¹ publié par l'Académie américaine des sciences est une réalisation historique. Il ne prouve pas que l'esprit agisse sur le cerveau, il montre que c'est *théoriquement possible*. Ainsi, depuis 1992, l'obstacle principal à la prise en compte du dualisme (obstacle mentionné par presque tous les auteurs que nous avons cités) n'existe plus. Il faut le dire : le dualisme est redevenu, sur le plan scientifique, une possibilité.

1. Frederik Beck et John Eccles, « Quantum aspects of brain activity and the role of consciousness », *Compte rendu de la National Academy of Sciences des États-Unis*, 1992, n° 89, p. 11357-11361.

Pour Eccles, l'esprit est comme un scanner qui lit l'état d'activation des neurones et qui influence cette activation de façon analogue à un champ de probabilité quantique, champ qui n'a ni masse ni énergie, mais exerce pourtant une influence causale en modifiant la probabilité que certains événements se produisent. En physique quantique, tout le monde admet l'existence d'un tel champ déterminant les états de la matière et de l'énergie mais ne s'y réduisant pas. Alors pourquoi ne pas admettre cela en neuroscience, demande Eccles ? Le choix d'un tel modèle repose également, pour lui, sur l'existence d'expériences comme celle décrite figure 13.4, dans laquelle une simple intention d'agir peut actionner les neurones, et sur le peu de crédibilité ou de consistance des autres hypothèses que nous avons décrites. « Il a été amplement démontré par la science que la conscience, l'idéation pure, active effectivement certaines régions déterminées du cortex cérébral. La maîtrise mentale de l'activité cérébrale est si vaste que l'on peut présumer une totale domination du cerveau par la conscience. Et voilà que pour la première fois se trouve formulée une hypothèse sur la manière dont le mental influence l'activité cérébrale sans enfreindre les lois de conservation de l'énergie. La critique matérialiste du dualisme par Dennett, Changeux, Edelman perd donc tout son fondement scientifique... [...] Puisque les solutions matérialistes ne parviennent pas à expliquer l'unicité dont nous avons conscience, j'en suis réduit à conclure que l'unicité de la conscience ou de l'âme provient d'une entité située dans un autre niveau de réalité [...] rendue nécessaire par la certitude de l'existence d'un noyau de cette individualité. J'avance qu'aucune autre position n'est défendable¹. »

1. John Eccles, *Comment la conscience contrôle le cerveau*, Fayard, 1997, p. 201 et 215. Le chapitre 9 de cet ouvrage contient le texte intégral de l'article de Beck et Eccles sur la possibilité théorique du dualisme.

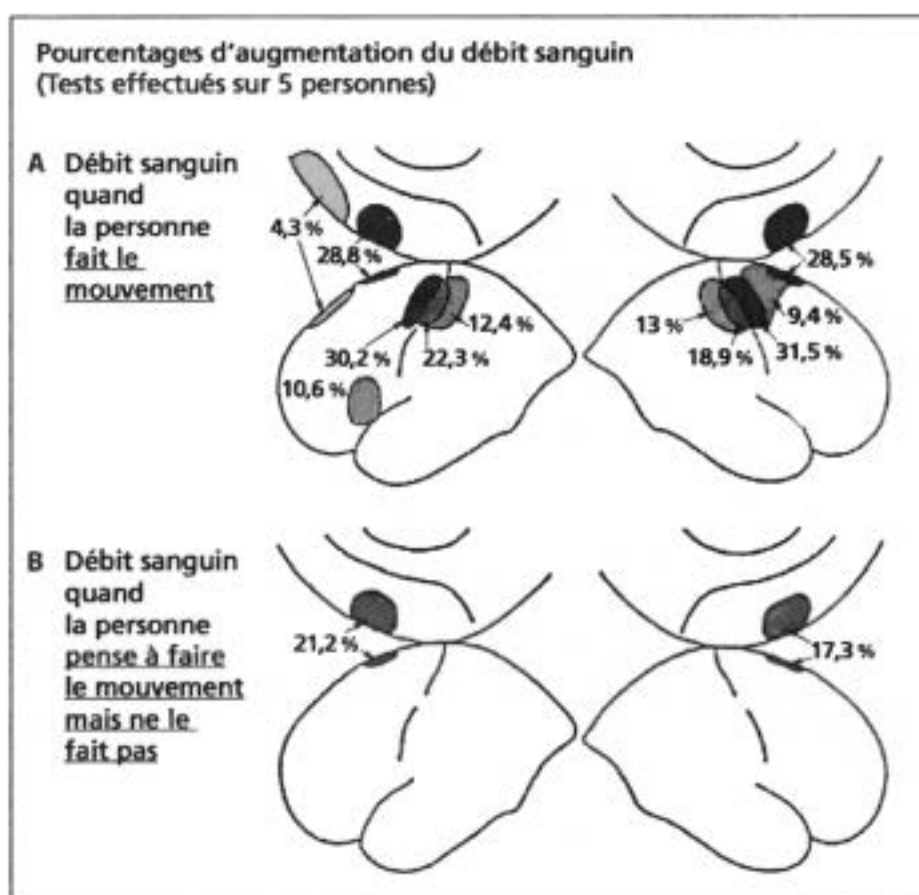


Figure 13.4.

La pensée agit sur le cerveau.

La figure 13.4 A nous montre les zones du cerveau impliquées dans la réalisation du mouvement de la main. La figure 13.4 B nous montre que lorsque le sujet pense à un mouvement de la main sans l'effectuer, une des zones concernées s'active quand même ! Ce résultat semble problématique pour les tenants de l'émergence, car cela veut dire que, soit la conscience est réductible à un pur processus physique comme le pensent les identitaires, soit elle peut vraiment agir sur les neurones, ce que même les émergentistes forts ne sont pas prêts à concéder.

DOMINIQUE LAPLANE, neurologue, professeur à la Pitié-Salpêtrière, où il a dirigé l'un des grands services de neurologie, a développé une solution particulièrement originale : la transformation. Il y aurait, selon lui, dans l'Univers, de la matière et de l'énergie d'un côté, de la pensée et de la conscience de l'autre. De la même façon que la matière se transforme en énergie, le couple matière-énergie peut-il se transformer en pensée et réciproquement.

Laplane est parfaitement conscient des objections qu'on peut lui faire (si une transformation existe, la pensée doit être quantifiable puisque l'énergie et la matière le sont ; si la pensée peut créer de l'énergie, cela ne viole-t-il pas le fameux principe de conservation de l'énergie ?, etc.), il les décrit et y répond¹.

Il insiste, entre autres, sur le fait que certains contemporains de Newton ont refusé la notion d'attraction universelle parce qu'elle violait les lois relatives à l'interaction des corps admises à l'époque. Mais elle a fini par triompher à cause de son pouvoir explicatif. Et sur le refus d'Einstein d'accepter l'idée de non-séparabilité tant celle-ci lui semblait incompatible avec la relativité, comme nous l'avons vu page 64. Selon Laplane, sa position n'est pas plus étrange, quant à l'état de nos connaissances, que ces deux concepts le furent en leur temps.

Laplane hésite sur la manière de qualifier cette proposition. Est-ce une simple constatation banale qu'il propose, le cerveau (énergie-matière) produit une pensée qui n'est pas de l'énergie-matière ou une axiomatique (il préfère finalement ce terme pour ne pas laisser entendre qu'il considère la modalité de la transformation comme un fait scientifiquement établi) ? Il pense que son hypothèse doit être prise en compte à cause de son caractère explicatif et du nombre important de problèmes qu'elle permet de surmonter, même s'il admet qu'elle n'est pas scientifiquement testable pour l'instant.

Pour lui, cette solution permet de concilier matérialisme et spiritualisme, et d'effacer la barrière que le dualisme introduit entre ces deux composants irréductibles. « Du matérialisme, nous retenons sans réticence l'idée que notre pensée provient effectivement de la matière et nous laissons le champ totalement libre à la connaissance objective qui peut se développer intégralement dans le cadre de l'axiomatique scientifique. Le dualisme est entièrement respecté : il y a bien, comme le constate le sens commun, d'une part la pensée, d'autre part la matière-énergie. La grande différence est que l'articulation entre ces deux ensembles qui constituent l'Univers est désormais compréhensible². »

Comme Eccles, Laplane pense qu'il n'est pas scientifique d'affirmer que notre conscience, c'est-à-dire le fait que nous *éprouvions* des sensations (pas l'unité de la perception, qui, selon

1. Dominique Laplane, *La mouche dans le bocal, essai sur la liberté de l'homme neuronal*, Plon, 1987, p. 113-117.

2. *Ibid.*, p. 174.

Laplane, pourrait parfaitement être obtenue par des mécanismes de type « physicaliste »), soit un mécanisme créé par les lois physiques que nous connaissons actuellement.

Pour lui, il y a donc une conscience universelle et le cerveau utilise cette conscience pour bâtir une conscience individuelle. Un peu comme des artisans distincts utilisent une plaque de fer pour produire des objets différents. C'est cela qui permet à Laplane de rejeter le panpsychisme et d'affirmer l'existence de consciences individuelles.

Il ne s'agit pas d'une simple spéculation. Laplane s'appuie sur des observations fascinantes qui montrent l'existence d'une conscience pure¹.

Certains patients sont atteints d'une maladie qui supprime toute réaction. Si on les laisse seuls dans leur bain, ils n'en sortiront jamais. Mais dès qu'on les stimule, qu'on interagit avec eux, ils se comportent de façon quasi normale et peuvent entrer en relation avec leur entourage. Si on leur demande s'ils étaient conscients pendant la durée de leurs « absences » ils répondent :

« Oui.

— Et à quoi pensiez-vous pendant ces moments-là ?

— À rien.

— C'est impossible, si on est conscient, on doit bien penser à quelque chose, avoir au moins des images qui nous traversent l'esprit...

— C'est impossible pour vous docteur, mais pas pour moi ! »

Laplane établit une distinction absolument fondamentale entre la conscience et les contenus de la conscience. L'existence d'une « conscience pure » ou d'un état de « conscience vide », pendant lequel le sujet reste conscient bien que *rien ne se passe* dans son esprit, prouve que l'on ne peut pas identifier la conscience avec l'ensemble de ses contenus. Il semble que cette découverte constitue un progrès important de nos connaissances car des spécialistes comme Dennett, Damasio ou Crick ne peuvent même pas *imaginer* qu'un tel état existe.

L'existence d'un état de « conscience pure » semble également recouper les témoignages de méditants orientaux qui parviennent, après de nombreux efforts, à cet état de « non-pensée ».

1. Voir Dominique Laplane, *Penser, c'est-à-dire ? Enquête philosophique*, Armand Colin, 2005, p. 123-129.

On pourrait ainsi dire qu'il existe deux « couples » : la matière-énergie et la pensée-conscience. L'énergie peut exister sans matière mais non l'inverse et la conscience peut exister sans la pensée mais non l'inverse. Et pour Laplane, ces deux constituants fondamentaux de l'Univers peuvent se transformer l'un en l'autre¹.

JEAN-FRANÇOIS LAMBERT, psychophysiologiste, enseignant à Paris-VIII, défend avec force l'idée selon laquelle le cerveau serait la condition de l'existence de la conscience et non sa cause, grâce à des métaphores telles que celle-ci : « Si en rentrant chez vous, vous découvrez que votre frigidaire est en panne et que les fusibles ont sauté, vous n'allez pas dire, après les avoir changés, "les fusibles sont la cause du froid". De la même façon, le cerveau n'est pas la cause de la conscience même si elle ne peut exister sans lui, de même que le froid n'existe pas dans les frigidaires si les fusibles ne sont pas en bon état. »

Lambert appuie sa position sur des expériences que nous détaillerons au cours du chapitre suivant, mais c'est l'originalité de sa position sur le plan épistémologique que nous allons ici analyser.

Bien qu'il rejette totalement l'idée que le cerveau puisse créer la conscience, Lambert ne se considère nullement comme dualiste. Tout d'abord parce qu'il ne conçoit pas que la conscience puisse exister sans le cerveau. Ensuite, parce que si ses conceptions impliquent l'existence d'une dimension autre que la dimension physico-chimique de l'activité neuronale, qui serait la cause de l'existence de la conscience (ce qui oblige logiquement au dualisme), tous les efforts de Lambert consistent à montrer que cette dimension est à la fois nécessaire et totalement ineffable sur le plan empirique. Ainsi, il reproche au dualisme d'Eccles de

1. Laplane a développé un autre concept révolutionnaire. Il a en effet été amené à soigner de nombreux aphasiques – malades qui se peuvent plus utiliser ni comprendre le langage, voire parfois les écrits. Il démontre que de tels patients continuent à pouvoir penser normalement même s'ils n'ont plus de mots pour le faire ! Le cas le plus exceptionnel rapporté par Laplane n'est pas celui d'un de ses patients mais celui du Pr Lordat, qui fut professeur de médecine à Montpellier au XIX^e siècle. Spécialiste de l'aphasie, il devient lui-même aphasique, puis guérit quinze ans plus tard. Son témoignage montre que l'on peut penser à des choses extrêmement complexes de façon tout à fait normale sans avoir aucun mot à l'intérieur de soi pour les exprimer. Il existe donc *une pensée sans langage*, c'est de la pensée consciente, ce n'est pas l'inconscient, mais elle ne peut être formulée. Voir Dominique Laplane, *La pensée d'outre-mots*, Les empêcheurs de penser en rond, 1997, p. 20-23.

vouloir objectiver ce qui, pour lui, n'est par définition pas objectivable. Et il reproche à tous les matérialistes leur certitude de pouvoir clore sur lui-même le monde physico-chimique quand on aborde la question de la conscience. Pour lui, cette clôture est impossible pour des raisons scientifiques et non philosophiques.

« L'autre alternative à la logique qui préside habituellement à la discussion des rapports cerveau-pensée est celle-ci : une logique de l'absence comme témoin d'une présence. La pensée, l'esprit, le sujet ne sauraient être objectivement circonscrits et donc leur présence n'est pas à rechercher dans, ou à côté, des processus, mais dans l'impossibilité pour les processus de s'auto-justifier. Loin de constituer un échec de la raison, l'incomplétude du sujet empirique désigne un espace offert, au cœur de la rationalité, à la révélation d'un sens¹. »

Développant une démarche équivalente à celle d'un Wittgenstein montrant l'incomplétude du langage ou d'un Gödel montrant l'incomplétude de la logique, Lambert essaie de montrer que l'homme ne se contient pas. Mais « cette incomplétude, cette radicale impossibilité d'exhiber la totalité que je suis, ne permet de conclure objectivement ni à la présence certaine, ni à l'absence certaine, d'un opérateur métaphysique. Les données objectives ne sauraient permettre sans contradiction évidente d'attester de manière irréfutable l'existence de ce qui, par nature, leur échappe² ».

MARIO BEAUREGARD est un chercheur en neurosciences à l'université de Montréal. Ses recherches montrent à quel point les facteurs psychologiques peuvent avoir un impact sur le plan physique³.

Ses résultats indiquent que les variables mentalistes (*e.g.*, volonté, croyances, attentes) et leur contenu intentionnel ne sont ni identiques ni réductibles aux processus cérébraux (*e.g.*, propagation d'un influx nerveux, libération vésiculaire d'un neuro-transmetteur).

1. Jean-François Lambert, « L'épreuve du sens : science et incomplétude », in *Les Cahiers Jean Scot Erigène* (3). *Connaissance traditionnelle, connaissance rationnelle*, Trédaniel, 1992, p. 135-222.

2. Jean-François Lambert, « L'incomplétude. Un nouveau paradigme », *III^e millénaire*, 1995, n° 37, p. 33-35 et p. 50-53.

3. Mario Beauregard, J. Levêque et P. Bourgouin, « Neural correlates of the conscious self regulation of emotion », *Journal of Neurosciences* 21, RC 165, p. 1-6.

Les processus et événements mentaux exercent une influence causale sur les divers niveaux de fonctionnement cérébral (moléculaire, cellulaire, systémique). La haute valeur prédictive et explicative de facteurs tels que les croyances, les buts, les aspirations, les désirs et les attentes soutient, selon lui, la vision dualiste interactionniste selon laquelle les contenus de l'expérience subjective consciente peuvent influencer causalement les processus électriques et chimiques du cerveau.

Afin d'interpréter ces résultats, il a proposé une hypothèse – l'hypothèse de la traduction psychoneurale (ou HTP) – visant à expliquer les relations entre activité mentale et activité cérébrale. Selon l'HTP, le monde psychologique (la perspective à la première personne) et le cerveau (qui fait partie du monde physique – la perspective à la troisième personne) représentent deux domaines distincts sur les plans ontologique et épistémologique qui peuvent interagir parce que constituant des aspects complémentaires d'une même réalité sous-jacente. Pour l'HTP, l'activité mentale (incluant la conscience) représente un aspect irréductible et fondamental dans l'Univers. De plus, l'HTP postule que les processus et événements conscients et inconscients sont traduits de manière sélective, par le biais d'un code spécifique, en processus et événements neuronaux dans les divers niveaux d'organisation du cerveau (biophysique, moléculaire, cellulaire, circuits)¹.

Il est également, avec le neuropsychiatre Jeffrey Schwartz et le physicien Henry Stapp, le coauteur d'un article important sur les liens existant entre physique quantique et neurosciences. Cet article affirme que l'espoir des matérialistes d'expliquer par l'une des différentes hypothèses – que nous avons mentionnées dans la première partie de ce chapitre – la connexion entre nos sentiments et nos émotions et l'activité cérébrale est condamné d'avance par la physique quantique.

« La conception classique suppose que les choix faits par les êtres humains à propos de comment ils vont agir soient déterminés par des variables microscopiques qui d'après la théorie quantique sont, par principe, indéterminées. La supposition réductionniste que le cours de l'expérience humaine est déter-

1. Mario Beauregard, Denyse O'Leary, *The spiritual brain*, Harper, San Francisco, 2007. Voir aussi Mario Beauregard, « Mind does really matter : Evidence from neuroimaging studies of emotional self-regulation, psychotherapy, and placebo effect », in *Progress in Neurobiology* (sous presse).

miné par des processus mécaniques locaux est la chose qui est la plus fortement réfutée par la structure des phénomènes naturels telle que la dévoile la physique contemporaine. Espérer que les connexions entre l'esprit et le cerveau seront comprises dans un cadre conceptuel si contraire aux principes de la physique n'est ni raisonnable ni crédible au plan scientifique¹. »

Nous venons de voir les positions de toute une série de scientifiques et de philosophes. Pour certains, le cerveau produit la conscience, alors que pour d'autres, ce n'est pas le cas. Quelle est la position la plus crédible ? Quelles sont les expériences qui peuvent nous aider à nous forger une opinion ?

C'est ce que nous examinerons en analysant des expériences qui portent non sur la vision, l'audition, ou sur telle ou telle maladie, mais sur la nature même de la conscience et sur des questions telles que l'existence du libre arbitre et la création du sens.

1. Jeffrey Schwartz, Henry P. Stapp, Mario Beauregard, « Quantum physics in neuroscience and psychology : a neurophysical model of mind-brain interaction », *Philosophical transactions of the Royal Society, London, Biological sciences*, 2005, vol. 360, n° 1458, p. 1309-1327.

L'homme non-neuronal

« Seul l'esprit, s'il souffle sur la glaise, peut créer l'Homme. »

Antoine de Saint-Exupéry,
dernière phrase de *Terre des Hommes*.

Les moines tibétains sont-ils des morts-vivants ?

Si vous recevez un flash dans les yeux, une réaction automatique se produira dans votre aire visuelle et un observateur pourra, s'il regarde l'activité de votre cerveau, en déduire que vous venez d'être exposé à un tel signal visuel. Sur le tracé d'un électroencéphalogramme (EEG), ce signal produit un pic inversé comme celui de la figure 14.1.A. On appelle cela un potentiel « évoqué ». C'est un résultat normal qui se produit chez tout le monde. Mais le sujet sur lequel a été obtenu ce tracé n'est pas comme tout le monde. Il s'agit en effet d'un moine tibétain qui a passé sa vie à méditer. Et justement, on va lui demander de se mettre à méditer. On obtient alors le tracé de la figure 14.1.B.

Au lieu d'un pic bien net, on distingue un petit quelque chose, mais qui n'est pas significatif, car noyé dans le bruit de fond de l'EEG. Bien entendu, on vérifie que le moine n'a pas fermé les yeux.

En regardant le tracé B, on pourrait en déduire que cette personne n'est pas consciente, qu'elle ne réagit pas aux stimulations du monde qui l'entoure. Alors que, selon son témoignage, le moine était parfaitement conscient à ce moment-là.

Peut-être expérimentait-il un état de « pure conscience » comme celui décrit par les patients de Laplane ? Que cela signifie-t-il ? Tout simplement que nous tenons notre première preuve

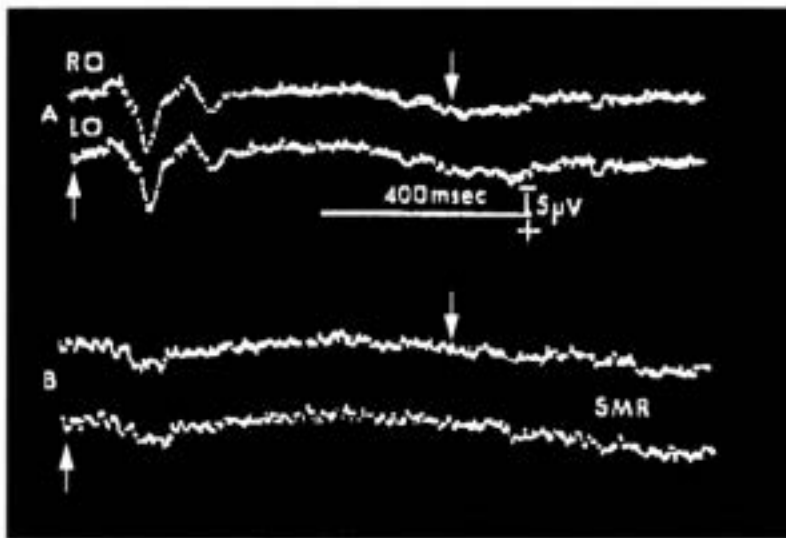


Figure 14.1.

L'impact de la méditation sur les processus neuronaux :
A : Potentiel évoqué visuel chez un moine tibétain.
B : Annulation du potentiel chez ce même moine
en état de méditation.

qu'il n'y a pas une identité complète entre les processus neuronaux et les états mentaux.

D'après les tracés, il ne réagissait plus aux *stimuli* extérieurs. Donc l'observation de son état neuronal ne permet pas de déduire son état mental, démenti clair et net de la théorie de l'identité entre ces deux états.

Certes, cette expérience réalisée par Jean-François Lambert sous la direction de Paul Laget à l'hôpital Trousseau est assez particulière. Peut-être me direz-vous qu'il faudrait démontrer cela chez tous les hommes et pas seulement chez les moines tibétains ? C'est ce que nous allons faire maintenant.

Nous pouvons tous remonter le temps !

Nous avons une représentation de notre corps dans notre cerveau (cf. figure 14.2). Toutes les perceptions et sensations provenant de notre main se projettent dans la zone correspondant à la main dans le cerveau.

Quand vous avez mal à la main, vous avez en fait mal à la représentation de votre main dans votre cerveau car c'est là, bien sûr, que s'élabore la sensation de douleur et pas dans votre main.

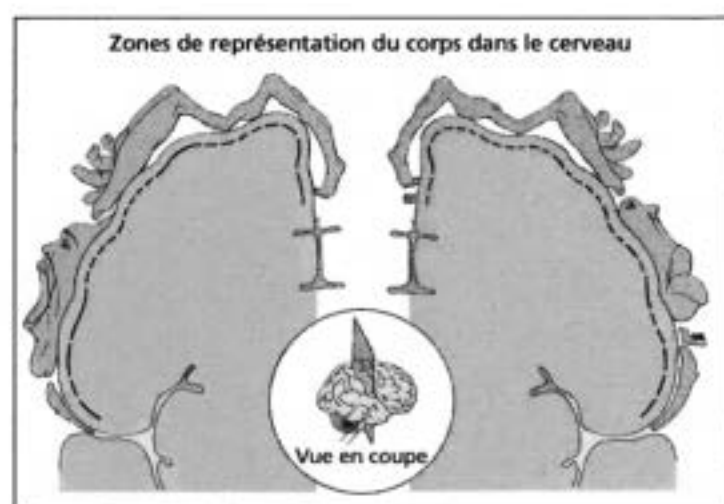


Figure 14.2.

Zone de perception des différents organes de notre corps dans notre cerveau.

Dans certaines opérations du cerveau, on peut réveiller le patient alors que son cerveau est à l'air libre, et stimuler directement le cerveau (grâce à un très léger choc électrique) pour lui demander quelle sensation il éprouve, sans que cela représente une torture pour le patient.

Une telle démarche – qui peut certes sembler assez repoussante – est parfois nécessaire lors d'opérations visant à retirer des tumeurs, et durant lesquelles le témoignage en direct du patient est nécessaire pour aider à l'identification de certaines zones.

Lors de certaines de ces opérations, l'équipe dirigée par Benjamin Libet de l'université d'État de Californie à San Francisco, a obtenu l'autorisation de certains patients de réaliser, en plus des manipulations nécessaires à l'opération, une expérience à ce moment crucial où le sujet est réveillé et où son cerveau est exposé à l'air libre – la boîte crânienne étant ouverte. Il s'agit sans doute de l'une des expériences les plus discutées et commentées depuis vingt ans dans le domaine des neurosciences.

On va stimuler le bout du doigt avec une petite décharge électrique. Un « potentiel évoqué » se propage le long des nerfs jusqu'à la zone du cerveau correspondant à la main. Le sujet ressent une piqûre à la main environ 25 millisecondes après (cf. figure 14.3), ce qui correspond bien à notre expérience de tous les jours ; quand on se pique on le sent tout de suite.

Maintenant, on stimule la zone correspondant, dans le cerveau, à la main. Le sujet va sentir une piqûre *à la main* et non au cerveau. C'est pour cela que des personnes ayant perdu un bras peuvent très bien avoir mal à leur « membre fantôme ».

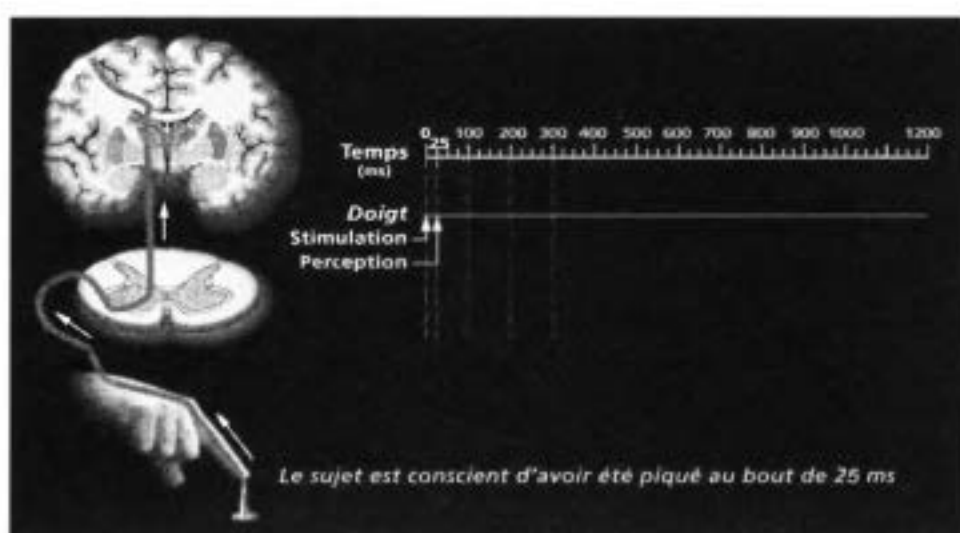


Figure 14.3.

Analyse de la sensation de conscience : situation normale
Stimulation au bout du doigt déclenchant un potentiel évoqué :
le sujet est conscient d'avoir été piqué au bout de 25 ms.

Mais il y a ici deux différences (cf. figure 14.4) :

— Pour que le sujet sente la piqûre, il faut envoyer un train de chocs pendant 500 millisecondes (une demi-seconde) et non pas un choc unique. C'est seulement après ce délai que le sujet sentira la piqûre.

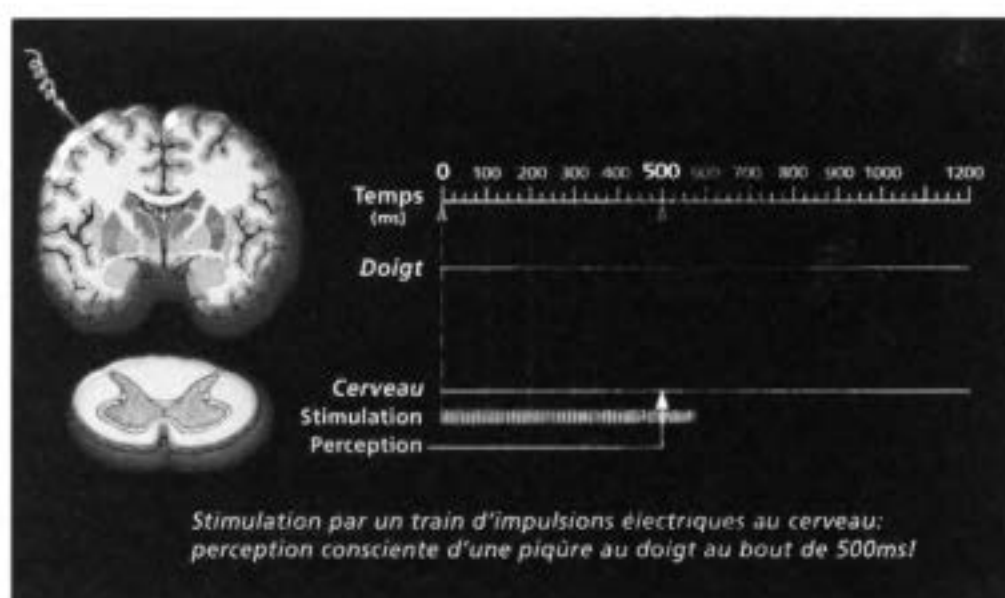
— Comme on stimule directement le cerveau, il n'y a pas de potentiel évoqué qui arrive au cerveau depuis l'endroit qui a été stimulé (nous verrons que cela est essentiel).

Comme il est totalement inhabituel que le cerveau soit ainsi piqué, ce résultat peut sembler normal : il faut faire toute une série de chocs pour que le cerveau ait, dans une telle situation, l'illusion d'une piqûre au doigt.

Mais voilà que maintenant, on va combiner les deux démarches.

À $t = 0$, on stimule le bout du doigt et à $t_1 = 200$ ms, on commence la série de stimulations au cerveau, toujours dans la zone correspondant au doigt. Le sujet sent une seule piqûre à $t_2 = 700$ ms, correspondant à la stimulation faite au cerveau. La stimulation faite au bout du doigt *n'a pas été ressentie* (cf. figure 14.5.A).

Comment sait-on que c'est la deuxième piqûre qui a été ressentie et non la première ? Rappelons que dans les deux cas, le sujet ne sent qu'une piqûre au doigt, même quand la stimulation est faite au cerveau. Mais il est possible de calibrer les stimula-

**Figure 14.4.**

Analyse de la sensation de conscience sur un cerveau
« à l'air libre » lors d'une opération ;

Stimulation du cerveau par une série de chocs électriques
provoquant au bout de 500 millisecondes la sensation d'une piqûre
au bout du doigt.

tions et d'y habituer le sujet avant l'expérience décisive. Ainsi, la stimulation du bout du doigt sera forte et celle du cerveau, faible (il ne faut quand même pas abîmer ce dernier !). Le sujet évoquera d'une seule et unique sensation faible de piqûre sur le doigt. On sait ainsi que c'est la stimulation du cerveau qui a été ressentie (encore une fois, sous la forme d'une piqûre au doigt), ce qui est totalement logique puisque de toute façon cette sensation arrive 500 ms après le début de la stimulation du cerveau comme dans le cas de la figure 14.4 et non 25 ms après la stimulation du doigt comme dans le cas de la figure 14.3.

On stimule le doigt et maintenant on attend 500 ms pour commencer les stimulations du cerveau (figure 14.5.B).

Toujours rien ! La stimulation du bout du doigt n'est pas ressentie alors que la stimulation du cerveau engendre, comme d'habitude, une sensation de piqûre au doigt après 500 ms (c'est-à-dire ici une seconde après le début du processus).

Dernière étape (figure 14.5.C), on attend plus de 500 ms après avoir stimulé le doigt pour commencer la stimulation du cerveau. Ici tout redevient « normal ». La stimulation du bout du doigt est ressentie « tout de suite », c'est-à-dire après 25 ms, le temps que

l'influx nerveux arrive au cerveau, et la deuxième piqûre est ressentie 500 ms après le début de la série de chocs au cerveau¹.

Ces résultats sont proprement stupéfiants. Ils semblent montrer que dans tous les cas, il nous faut 500 ms pour être conscients de quelque chose, puisque, si pendant cette période de temps on intervient sur la zone correspondante du cerveau, nous ne sommes pas conscients de cette sensation.

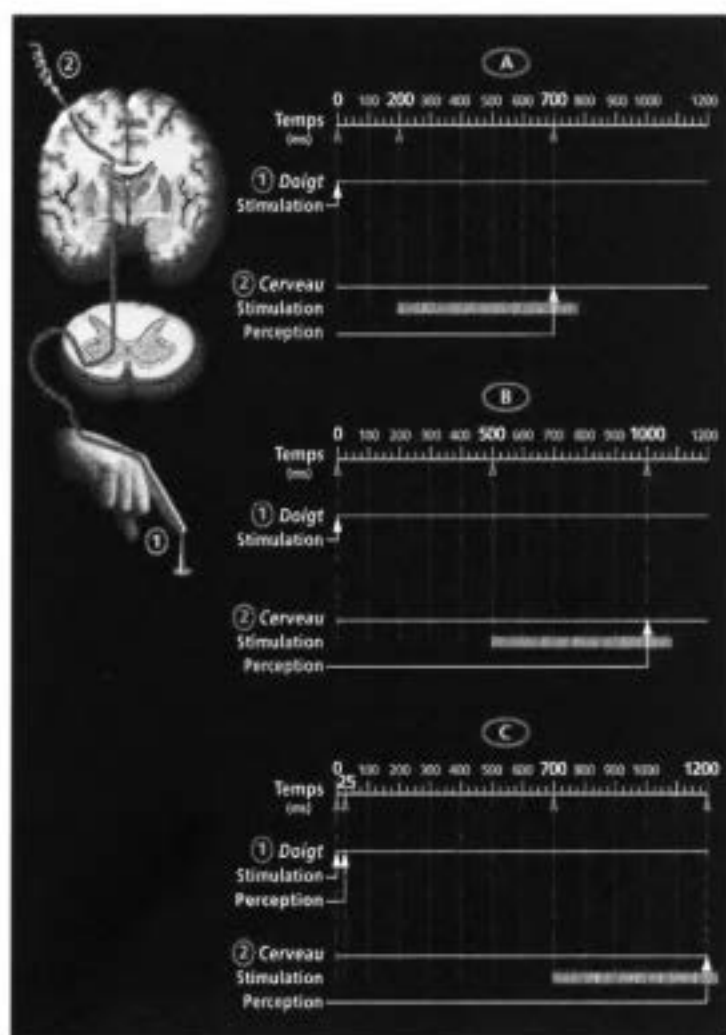


Figure 14.5 A, B et C.

Quand le futur semble agir sur le passé. Masquage rétroactif de la perception.

1. Voir Benjamin Libet, *Mind time*, Harvard University Press, 2004, p. 33-89, pour une description complète et les références des nombreuses publications scientifiques sur ce thème.

Mais il se trouve qu'en temps normal, nous sommes conscients de cette sensation au début du processus, après 25 ms, et non à la fin ! Et qu'une démarche qui a lieu 200, 300, voire 500 millisecondes après la stimulation peut nous empêcher d'être conscients d'une piqure *dont nous serions normalement conscients* au bout de 25 millisecondes !

Comment une telle chose est-elle possible ? La solution que propose Libet paraît incroyable. Le temps d'élaboration d'une sensation consciente est bien de 500 ms (475 ms en fait, car il faut 25 ms pour que le signal arrive au cerveau, comme nous l'avons vu) mais quand cette élaboration est faite, la conscience *antidate* cette sensation en *retournant en arrière dans le temps* de 475 ms !

On peut effectuer une comparaison avec le cachet de la poste. Ce dernier atteste que vous avez bien posté votre déclaration d'impôt à temps, même si le contrôleur la lit un mois plus tard. En revanche, s'il n'y a pas de cachet de la poste, le contrôleur ne peut pas savoir quel jour la lettre est arrivée (on suppose ici que la lettre arrive toujours vingt-quatre heures après avoir été posée !). Tout ce qu'il peut dire, c'est que la lettre est arrivée au plus tard le matin du jour où il l'a ouverte.

Ici, le potentiel évoqué qui arrive au cerveau 25 ms après la stimulation « normale » au doigt sert de cachet de la poste. Le cerveau « mouline » pour élaborer la sensation consciente. Quand celle-ci est « prête », la conscience repart en arrière dans le temps pour faire coïncider la sensation subjective d'être piqué avec l'arrivée du potentiel évoqué. C'est uniquement grâce à ce mécanisme que la sensation d'être piqué se produit dans la vie de tous les jours au moment même de la piqure et non pas une demi-seconde après (cf. figure 14.6) !

Et quand on stimule directement le cerveau, il n'y a pas, comme nous l'avons vu, de potentiel évoqué, donc pas de cachet de la poste, donc pas de retour en arrière possible¹.

Cela ne devrait pas nous choquer, nous dit Libet, car lorsque vous regardez un livre posé devant vous, ce que vous voyez réellement, ce sont des signaux représentant des couleurs et des formes *dans* votre cerveau. Depuis l'enfance, vous avez appris à effectuer une projection dans l'espace. Vous savez que ces signaux *dans* votre cerveau impliquent qu'il y a un livre sur la

1. Benjamin Libet, *Mind time*, op. cit., 2004, p. 72-79.

table se trouvant à l'extérieur de vous (Libet suppose que les bébés mettent un à deux mois à « calibrer » le système et qu'au début, tout est assez flou pour eux, mais qu'à force de toucher tout ce qui passe à leur portée, ils arrivent à « projeter » de façon correcte). Donc pourquoi être choqué par le fait que nous puissions également nous projeter dans le temps ?

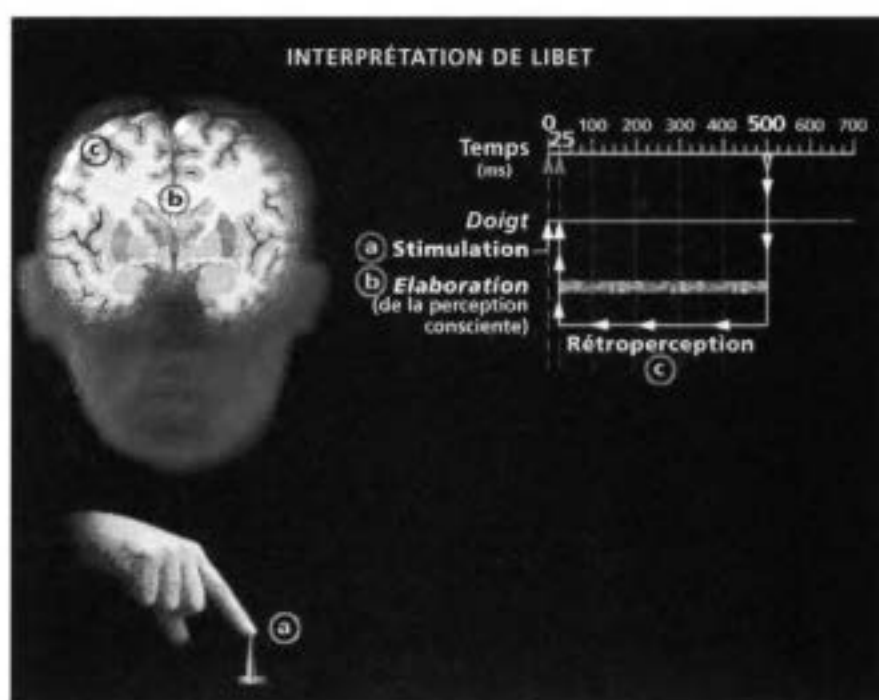


Figure 14.6.

Notre conscience remonte-t-elle le temps ?
Antidatage de la perception selon Libet.

Vous imaginez le retentissement d'un tel résultat, obtenu au cœur d'un domaine de prédilection du réductionnisme, les neurosciences ?

Daniel Dennett, quand il en a pris connaissance, y a vu la possibilité d'un « jour sombre¹ » pour le matérialisme. Il a demandé à Patricia Churchland – philosophe et expérimentaliste tout aussi athée militante que Dennett – d'attaquer ces résultats. Churchland l'a fait d'autant plus volontiers qu'elle pensait que le matérialisme serait ruiné si les résultats de Libet étaient confirmés. Elle a monté une expérience toute simple dans laquelle un sujet, une fois qu'il a été piqué à un doigt, appuie sur un bouton avec

1. Daniel Dennett, *La conscience expliquée*, op. cit., p. 199.

l'autre main. Les sujets ont été capables de faire cela en 350 millisecondes en moyenne¹.

Dennett et Churchland en déduisent une interprétation « orwellienne » de l'expérience de Libet. Dans le roman de George Orwell, 1984, le gouvernement réécrit le passé en permanence de telle façon que plus personne ne puisse savoir ce qui s'est réellement passé.

Pour eux, la séquence des événements est la suivante :

— Le sujet qui a été stimulé en est conscient tout de suite après les 25 ms nécessaires à l'arrivée du potentiel évoqué dans le cerveau.

— Si, pendant le délai de 500 ms, le sujet avait pu signaler qu'il a senti la piqure, il l'aurait fait.

— Puis, la seconde piqure « réécrit » l'histoire en effaçant de la conscience le souvenir de la première piqure.

Même s'il n'existe pas de preuve directe en sa faveur, cette explication n'est-elle pas infiniment plus crédible que celle du saut dans le temps de la conscience, nous demandent-ils ?

Malheureusement pour Dennett et Churchland, ce n'est pas si simple.

D'abord, toute une série d'expériences montre qu'il existe une différence fondamentale entre *détecter* et *être conscient* d'avoir détecté.

Si l'on projette un point lumineux sur un écran pendant un temps trop court pour que le sujet puisse en être conscient et que l'on demande ensuite au sujet :

« Dites-nous si le point était à gauche ou à droite.

— Mais comment voulez-vous que je le sache ? Je n'ai rien vu, répond le sujet.

— Ce n'est pas grave, répondez au hasard ! »

Le sujet appuie au hasard sur l'un des deux boutons « gauche » ou « droite », et... dans 90 % des cas *répond juste* !

Cela prouve que le sujet a parfaitement détecté le signal... sans en être conscient².

L'expérience est encore plus extraordinaire lorsqu'elle est réalisée sur des gens ayant une lésion dans une partie des aires

1. *Ibid.*, p. 202-203.

2. Benjamin Libet *et al.*, « Control of the transition from sensory detection to sensory awareness in man by the duration of a thalamic stimulus », *Brain*, 1991, vol. 114, p. 1731-1757.

visuelles de leur cerveau. Cela implique que, même si leurs yeux fonctionnent bien, ils ne peuvent pas voir (du moins consciemment, tout est là) ce qui apparaît dans la partie correspondante de leur champ visuel. L'expérience montre qu'ils ont parfaitement détecté ce qui a été projeté dans cet endroit de leur champ visuel sans pouvoir en être conscients à cause de leurs lésions. Là aussi, ils donneront des réponses exactes tout en étant persuadés de répondre au hasard¹.

Ainsi la détection d'un phénomène n'est nullement une preuve du fait que nous soyons conscients de ce phénomène. Il s'agit d'un résultat d'une grande importance à la fois pour notre discussion (cela montre que la conscience est un phénomène très subtil qui se produit dans des conditions très précises) et pour celle sur l'intelligence artificielle : ce n'est pas parce qu'un robot pourra détecter des choses aussi bien que nous qu'il en sera pour autant conscient.

Dans l'expérience de Patricia Churchland, les sujets ont conscience d'avoir été piqués et d'avoir appuyé sur le bouton. Mais si une piqûre avait été effectuée dans leur cerveau, on pourrait très bien penser qu'ils auraient détecté la piqûre... sans jamais être conscients de l'avoir fait !

« D'accord, diraient Dennett et Churchland, mais vous n'en avez pas la preuve. Nous pouvons toujours prétendre que dans l'expérience de Libet, les sujets ont été, durant quelques millisecondes, conscients d'avoir été piqués. C'est tellement important qu'il soit possible de penser cela afin d'éviter les "voyages dans le temps" de la conscience. »

Mais, impitoyable, Benjamin Libet a réalisé une autre expérience.

Cette fois-ci, il va exercer une stimulation sur le trajet qui relie le doigt au cerveau, le lemniscus médian. Comme pour la stimulation au doigt, le sujet sent la piqûre « tout de suite » (en 25 ms comme précédemment). Mais comme dans le cas de la stimulation au cerveau, il faut envoyer des chocs électriques pendant 500 millisecondes avec insistance pour que le sujet soit conscient de la piqûre... au début du processus² (cf. figure 14.7).

1. E. Poppel, R. Held, D. Frost, « Residual visual fonction after brain wounds involving the central visual pathways in man », *Nature*, n° 243, p. 295-296.

2. Benjamin Libet, *Mind time*, *op. cit.*, p. 75-76.

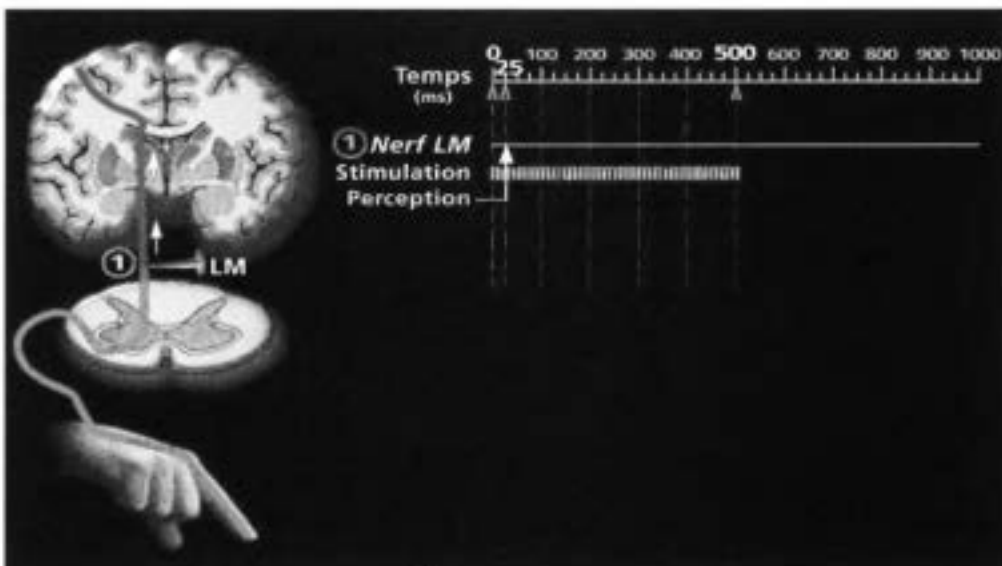


Figure 14.7.

Une preuve du « saut dans le temps » de la conscience ?

En raison du résultat représenté sur la figure 14.4, on s'attend à ce que le sujet sente la stimulation au bout de 500 millisecondes... alors qu'il la sent au bout de 25 millisecondes, comme sur la figure 14.3.

Cela paraît encore plus fou !

— Si on arrête d'envoyer des chocs électriques sur le nerf au bout de 400 ms, le sujet ne sent rien.

— Si l'on envoie les chocs sur le nerf pendant 500 ms, le sujet sent bien une piqûre au doigt au bout de 25 ms !

Immédiatement, une critique vient à l'esprit, on pourrait :

— Commencer à envoyer les chocs sur le nerf.

— Attendre que le sujet appuie sur le bouton pour signaler qu'il a senti la piqûre.

— Arrêter les chocs avant d'être arrivé à 500 ms.

Le sujet ne se souviendrait plus, après l'expérience, avoir été piqué. N'est-ce pas la preuve que sa conscience a bien été effacée ?

Eh bien, non, c'est le contraire ! Ici, on a *arrêté* d'agir au lieu d'agir.

Dans l'expérience précédente (figure 14.5), on pourrait logiquement penser que la seconde stimulation, faite au cerveau, a provoqué un effacement de la conscience. Mais ici, il n'y a rien de tel ; au contraire, on a *arrêté* la stimulation. Comment imaginer que le fait d'arrêter d'agir puisse effacer quelque chose – surtout que l'expérience montre que ce quelque chose *n'existe pas*

encore puisqu'il faut aller au bout des 500 ms de stimulation pour que la sensation consciente apparaisse au début du processus ?

Ici, il ne peut pas y avoir eu d'effacement puisqu'il n'y a rien à effacer et qu'en plus, aucune action susceptible de provoquer un effacement n'a eu lieu. Donc Libet a raison : la conscience joue à « sauter dans le temps ». Alors, est-ce un jour sombre pour le matérialisme ? Aux dernières nouvelles, Dennett s'accrochait toujours à l'hypothèse de l'effacement comme le noyé à sa planche. Nous savons qu'il n'y a pas de pire aveugle que celui qui ne veut pas voir.

Mais que dit Libet des implications de son expérience ? Et quelle est sa conception de la conscience, que je n'ai volontairement pas abordée au chapitre précédent ?

Tout d'abord Libet dit que cette expérience pose de « sérieuses difficultés¹ » (c'est un euphémisme) à la thèse selon laquelle il y aurait une identité entre les états mentaux et les états neuronaux. Il insiste à de nombreuses reprises sur le fait que la connaissance de l'état neuronal ne peut pas permettre de connaître l'état mental puisque le temps vécu par le sujet et le temps neuronal ne sont pas les mêmes. « Dans tous les cas, il est clair que les phénomènes mentaux ont des caractéristiques assez différentes des phénomènes observables dans le cerveau. » « La projection subjective (dans le passé) est une fonction purement mentale qui n'a pas de base neuronale correspondante dans le cerveau. »

« Une connaissance complète des événements neuronaux ne permet pas, en soi, de décrire ou de prédire l'expérience consciente². » Libet va même jusqu'à écrire dans *Nature* : « L'expérience subjective de la conscience et les processus neuronaux sont phénoménologiquement indépendants³. »

Mais Libet n'est pas dualiste pour autant (même si Dennett considère qu'il « argumente en faveur du dualisme⁴ »). Sa position est celle d'un « émergentiste fort » comme Sperry, auquel il se rattache⁵ ; pour lui « la conscience ne peut exister sans les processus du cerveau qui lui donnent naissance⁶ ». Mais c'est un émergen-

1. *Ibid.*, p. 87.

2. Benjamin Libet, « Consciousness : conscious subjective experience », in Gerald Edelman (dir.) *Encyclopedia of neuroscience*, vol. 1, 1987, p. 271-275.

3. Benjamin Libet, « Conscious vs neural time », *Nature*, vol. 352, 1991, p. 27.

4. Daniel Dennett, *La conscience expliquée*, *op. cit.*, p. 201.

5. Benjamin Libet, *Mind time*, *op. cit.*, p. 87.

6. *Ibid.*, p. 86.

tiste « superfort ». Car la théorie de Libet, c'est que la conscience est un champ et que ce champ ne correspond à « aucun des champs physiques connus, comme l'électromagnétisme, la gravitation, etc. Il n'est pas descriptible en terme d'aucun événement physique observable ou d'aucune théorie physique constituée¹ ».

Alors ce champ indétectable serait une hypothèse *ad hoc* ? Mais non ! Car Libet est avant tout un expérimentateur passionné. « Ce champ serait détectable seulement en terme d'expérience subjective, accessible uniquement à l'individu qui a cette expérience². » Et voici comment Libet pense pouvoir prouver l'existence de ce champ. Il donne un protocole très détaillé de la façon dont on pourrait, lors d'une opération d'une tumeur au cerveau, isoler la zone en question en détruisant toutes ses connexions neuronales sans détruire l'alimentation sanguine de cette partie du cerveau³. Si, lorsqu'on stimule cette partie encore vivante, mais séparée du reste du cerveau, cela provoque une expérience consciente quelconque du sujet, on aura prouvé que la conscience est un champ qui, pour se propager, n'utilise pas les neurones.

Même si Libet ne voit pas de raison d'envisager que ce champ (non physique, rappelons-le, puisque indétectable de façon directe) ne soit pas produit par le cerveau, on est très, très loin du matérialisme. Cette position paraît proche de celle de Laplane même si elle ne contient pas l'hypothèse d'une conscience universelle. Malgré les discussions personnelles que j'ai eues avec Libet, j'ai du mal à comprendre comment il peut éviter le dualisme.

La dernière Coupe du monde de football m'en aura finalement donné une idée. Certains téléspectateurs se sont plaints que les signaux des nouveaux opérateurs fournissant la télévision par les câbles téléphoniques avaient une demi-seconde de retard sur la télé normale, transmise par voie hertzienne. Ainsi, quand leurs voisins hurlaient déjà à cause du but, eux ne l'avaient pas encore vu. Cela doit être très frustrant !

La conception de Libet semble donc être que le saut dans le temps ne se produit pas dans le monde physique : il se produit dans le monde subjectif, celui de son fameux champ de conscience. Ainsi, tous les êtres humains sont comme les téléspectateurs recevant la télévision par câble : en permanence en retard d'une demi-seconde sur la réalité. Et comme il n'y a personne pour voir

1. *Ibid.*, p. 169.

2. *Ibid.*, p. 169.

3. *Ibid.*, p. 172-178.

les choses en direct comme les téléspectateurs ayant une télévision classique, nous n'avons aucun moyen de nous en rendre compte.

Mais cela me paraît difficile à concevoir. Car même si nous avons vu que l'on peut détecter une menace sans en être conscient (par exemple détecter un risque d'accident et freiner avant d'avoir eu conscience de le faire), il est logique de penser que de nombreux problèmes surgiraient dans notre vie si vraiment nous étions en retard sur les événements réels et que le saut dans le temps se produisait dans un monde subjectif et non dans le monde physique. À chaque fois que nous devrions accomplir rapidement un acte reposant sur une décision consciente, un problème devrait surgir¹. Pour des observateurs extraterrestres, nous donnerions l'impression – si l'on accepte l'idée que le saut dans le temps ne se produit pas dans le monde physique – d'être en permanence en retard sur la réalité !

La seule conclusion logique d'une telle situation – s'il est confirmé qu'il faut bien 500 ms à la conscience pour être consciente de quelque chose – est qu'un retour en arrière dans le temps permet de synchroniser nos sensations avec les événements, que ce saut dans le temps est *réel*, que la conscience peut l'accomplir facilement parce qu'elle n'est pas (totalement) immergée dans le monde physique et que, donc, elle n'est pas une production du cerveau et que, donc, le cerveau est davantage un poste de radio qu'un lecteur de disques.

Libre oui, mais de dire non !

La question de l'existence du libre arbitre est depuis des siècles une grande question philosophique. L'élimination de l'âme ou de toute entité transcendante à laquelle s'est livrée la science moderne avait semblé ainsi sonner le glas du libre arbitre. Si, en dernière analyse, nous ne sommes que des processus physico-chimiques, nos actes sont déterminés par eux. Nous avons l'impression de faire des choix en toute liberté mais cela doit être une illusion ; d'où une telle liberté pourrait-elle provenir ?

1. Des joueurs d'échecs jouant plusieurs coups par seconde tout en appuyant sur une pendule pourraient-ils le faire si le saut dans le temps ne se produisait pas dans le monde physique ?

Cela d'autant plus que Kornhuber¹ a mis en évidence que, près d'une seconde avant qu'un sujet effectue un geste, un potentiel que l'on appelle potentiel de préparation motrice apparaît dans l'aire motrice supplémentaire. Pourtant vous n'avez pas l'impression qu'il se passe une seconde entre le moment où vous décidez d'appuyer sur un bouton et le moment où vous effectuez ce geste.

Pour éclaircir la situation, Libet (eh oui, encore lui ! C'est vraiment l'un des plus grands expérimentateurs en neurologie) a mis au point l'expérience suivante² :

Le sujet est assis devant un cadran sur lequel un point noir tourne très vite (cf. figure 14.8). Le sujet décide, quand il le veut, sans contrainte, d'appuyer de temps en temps sur un bouton. Il doit dire : « Quand j'ai pris la décision d'appuyer sur le bouton, le point noir était sur X. »



Figure 14.8.

Pendant ce temps, on enregistre les potentiels qui se produisent dans l'aire motrice supplémentaire. On constate que le potentiel de préparation commence une seconde avant l'acte, mais que le sujet rapporte qu'il a décidé d'appuyer sur le bouton à un moment qui correspond au sommet du potentiel de préparation, c'est-à-dire 0,2 seconde avant l'acte. Puis l'acte a lieu, une décharge de potentiel se produit, la courbe « passe sous la barre » (cf. figure 14.9.A), signe que le geste a été effectué. Notez bien ce détail.

1. L. Deecke, B. Grozinger, et H.H Kornhuber, « Voluntary finger movement in man cerebral potentials », *Biological Cybernetics*, n° 23, 1976, p. 99-119.

2. Voir Benjamin Libet, *Mind time*, *op. cit.*, p. 123-156.

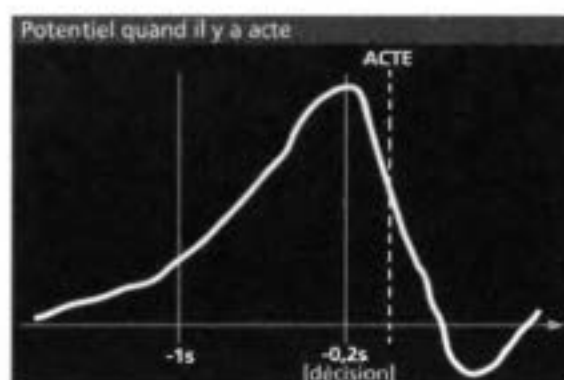


Figure 14.9. A.

Notre cerveau décide-t-il pour nous ?

Évolution du potentiel de préparation motrice précédant un acte.

Les matérialistes du monde entier se sont emparés de ce résultat pour affirmer : « C'est la preuve que le libre arbitre n'existe pas. Quand nous croyons avoir décidé d'appuyer sur le bouton, cela fait déjà 0,8 seconde que notre cerveau a décidé de le faire mais nous n'en sommes pas conscients ! »

Le problème, c'est que Libet, comme à son habitude, ne s'est pas arrêté là. Il a identifié des potentiels de préparation avortés pour lesquels le tracé commençait de la même façon mais où l'acte n'a pas été effectué (cf. figure 14.9. B).

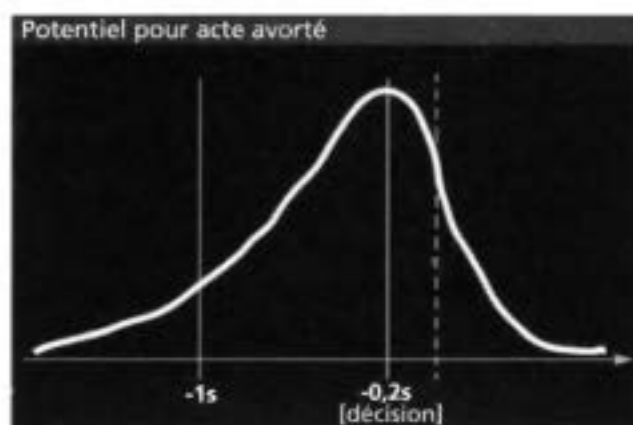


Figure 14.9. B.

Une preuve expérimentale du libre arbitre ?

Potentiel de préparation avorté, le sujet n'a pas appuyé sur le bouton, le tracé n'est pas descendu sous la droite de base (comparez avec la figure 14.9. A).

Lorsqu'on demande au sujet ce qui s'est passé à ce moment-là, il rapporte l'impression d'avoir failli appuyer sur le bouton et puis finalement, de s'y être opposé. Or, le moment où il dit avoir changé d'avis correspond au sommet du potentiel de préparation motrice, le moment situé 0,2 seconde avant l'acte, dans le cas où le sujet appuie sur le bouton et où le sujet dit qu'il décide. De plus, le potentiel de préparation se développe initialement dans les deux hémisphères, alors qu'au final une seule main bouge. Et 0,2 seconde avant l'acte, il se « latéralise », c'est-à-dire qu'il disparaît dans l'hémisphère correspondant à la main qui ne va pas bouger, alors qu'il se développe dans l'autre.

Donc il se passe bien quelque chose de fondamental 0,2 seconde avant l'acte. C'est le moment où le « je », le « moi », a le choix de *laisser courir ou de stopper* des processus qui ont été commencé sans lui.

Cela correspond bien à notre expérience quotidienne. Nous faisons toute une série de mouvements sans en être vraiment conscients ; c'est le cas, par exemple, du mouvement de nos mains au cours d'une discussion agitée. Mais nous pouvons à tout moment « reprendre le contrôle » de notre corps en croisant les bras et en ne bougeant plus nos mains.

Donc le libre arbitre n'est pas une illusion. Mais il est plus limité que prévu : il prend la forme d'un droit de veto sur des actes potentiels que nous n'avons pas initiés nous-mêmes (il est plus que probable que l'alcool ou la drogue fragilisent ce droit de veto, ce qui laisse nos pulsions inconscientes se manifester).

La métaphore la plus indiquée est celle de l'arbitre dans un match de football. On pourrait filmer tout un match en cadrant le ballon en gros plan. Qu'est-ce alors qu'un match de football ? « C'est quarante-quatre pieds et quatre mains tapant dans un ballon et rien d'autre », pourrait dire un « Changeux » du football. « Ah non, il y a un élément supplémentaire : l'arbitre.

— Comment ça ? J'ai regardé des dizaines de matchs de football (cadrés en gros plan) et je n'ai jamais vu un arbitre ! Il tape dans le ballon, votre arbitre ?

— Non mais...

— Alors ne racontez pas d'histoires outrageusement non scientifiques, votre arbitre ne joue aucun rôle dans un match de football, il est même probable qu'il n'existe pas. »

Pourtant, à la fin du match, c'est en général l'arbitre et non les joueurs qui prend les canettes sur la tête, preuve incontestable

qu'il joue un rôle essentiel dans le match. Mais son rôle, c'est de laisser jouer, sauf dans les rares moments où il siffle.

Remplacez « arbitre » par « âme » ou « esprit », relisez tout ce qui précède et vous comprendrez pourquoi cette deuxième expérience de Libet est aussi cruciale que la première.

Bien sûr, on ne peut pas « objectiver l'inobjectivable ». On ne peut pas voir l'esprit. Mais on peut, indirectement, déduire l'existence de quelque chose qui s'impose aux processus neuronaux parce que certains potentiels de préparation avortent, comme on peut, par exemple, déduire l'existence d'un arbitre de l'observation qu'à certains moments du match, les joueurs s'arrêtent tous en même temps.

La première fois que je rencontrai Libet, lorsqu'il apprit que j'étais chrétien alors qu'il était juif, il me dit :

« Mon expérience est plus en faveur de l'éthique juive que de l'éthique chrétienne !

— Pourquoi ?

— Parce que pour les chrétiens, on a péché dès que l'on a eu une mauvaise pensée. Mon expérience montre que c'est trop demander à l'homme que de contrôler des choses qu'il ne peut contrôler. Mais, en revanche, on est responsable de ses actes. Et pour l'éthique juive, on est coupable non pas à cause des pensées que l'on peut avoir mais seulement si l'on a mal agi¹. »

L'homme, un animal porteur de sens

Qu'est-ce qui différencie l'homme de l'animal ?

Le langage ? Les chimpanzés peuvent manier certains symboles dont on leur a laborieusement appris la valeur.

L'utilisation des outils ? Les singes peuvent utiliser des brindilles pour sortir les fourmis des trous d'un arbre.

L'altruisme, donner sa vie pour ceux qu'on aime ? Les dauphins sont capables de le faire.

Il existe actuellement toute une tendance philosophique et scientifique visant à rabaisser l'homme, à montrer qu'au fond, il n'est qu'un animal un peu amélioré².

1. Cette réflexion dont j'ai eu la primeur se trouve désormais dans Benjamin Libet, *Mind time*, op. cit., p. 150.

2. Voir par exemple le dossier de la *Revue de Philosophie*, n° 2.

Mais une expérience montre que l'homme possède une caractéristique unique ; le besoin impératif que ses actes aient un sens.

Pour soigner des patients ayant des crises d'épilepsie dans les deux hémisphères cérébraux qui se renforçaient en interagissant, une opération incroyable a été tentée : séparer les deux hémisphères en sectionnant le corps calleux constitué de deux cents millions de fibres nerveuses reliant entre eux les deux hémisphères (figure 14.10).

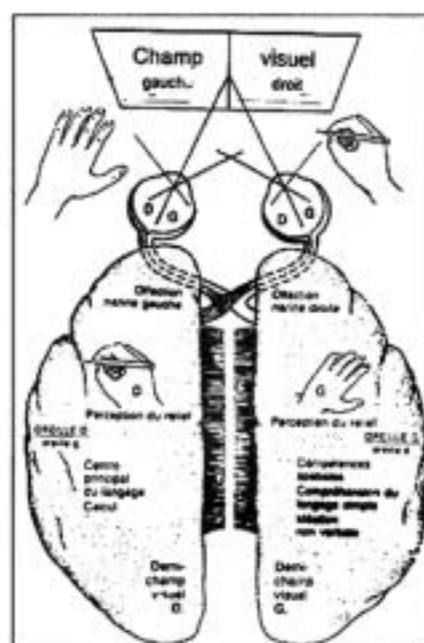


Figure 14.10.

Callosotomie : séparation des deux hémisphères.

Bien entendu on a beaucoup hésité à faire cette opération chez l'homme ! Seul un très petit nombre de patients a subi cette opération, qui a donné des résultats positifs, les patients n'ayant ensuite plus eu de telles crises (aucune autre opération de ce type ne sera pratiquée car on a, depuis, trouvé d'autres voies thérapeutiques moins agressives).

Hormis quelques bizarreries mineures de comportement, les personnes opérées ont pu reprendre une vie normale. Cela pourrait paraître étonnant : la séparation des deux hémisphères n'aurait-elle ainsi aucune conséquence ?

Michael Gazzaniga a donc réalisé l'expérience suivante¹ : un patient au cerveau sectionné (un *split brain* en anglais) doit

1. Michael Gazzaniga, *Le cerveau social*, Robert Laffont, 1987, p. 101-103.

regarder un écran en fixant un point noir se trouvant au centre. Un capteur fixé sur ses yeux fait que, s'il les bouge, l'écran s'éteint.

On lui demande alors de montrer de la main la carte, qui, parmi celles disposées devant lui, correspond à l'image qu'il va voir. Puis on projette alors *deux* images différentes dans les deux parties de l'écran. La figure 14.11 montre la *double* réponse (avec ses mains) du sujet.



Figure 14.11.

La « création du sens » chez l'homme
Dispositif expérimental pour les expériences sur les sujets
au cerveau coupé en deux. Réponse du sujet à la question :
« Montrez l'image qui correspond à ce que vous voyez. »

Comme nous l'avons déjà vu, l'aire du langage se trouve dans l'hémisphère gauche. Or, tout est croisé chez l'homme : l'hémisphère gauche contrôle la partie droite du corps et l'hémisphère droit, la partie gauche.

Donc, ici, le champ visuel droit a projeté dans le cerveau gauche l'image de la patte d'un coq, et le cerveau gauche a donné l'ordre à la main droite de montrer la tête du coq.

Quand on lui demande d'expliquer sa réponse, le sujet dit :

« Vous m'avez coupé le cerveau en deux, mais je ne suis pas encore débile ! Vous me montrez une patte de coq, je vous montre la tête.

— Très bien, mais pourquoi montrez-vous cette pelle avec votre main gauche ? »

Là, le sujet bafouille pendant une seconde ou deux puis répond :

« Les coqs vivent dans les poulaillers, et ils font des saletés. De temps en temps, il faut nettoyer les poulaillers, c'est la raison pour laquelle, par association d'idées, j'ai également désigné la pelle. »

Bien sûr, ce n'est pas pour cela que le sujet a montré la pelle. C'est parce que le cerveau droit ayant reçu du champ visuel gauche l'image de la voiture dans la neige, il a donné à la main gauche l'ordre de montrer la pelle à neige. Le cerveau droit le sait, mais ne peut l'exprimer. Le cerveau gauche peut parler mais ne connaît pas la raison de cet acte. Il va donc en inventer une... et y croire dur comme fer !

Si on met à la place du paysage de neige le message « partez, l'expérience est terminée », le sujet se lève et s'en va. Si on lui dit : « Pourquoi partez-vous ? L'expérience n'est pas terminée », il bafouille, puis répond : « J'ai envie d'aller aux toilettes. » Et même des semaines après, si on le réinterroge sur ce moment précis où il s'est levé, il sera toujours persuadé qu'il voulait aller aux toilettes.

Ainsi, la question du sens est tellement importante pour l'homme que, lorsqu'il ignore le sens d'un de ses actes, il va immédiatement en inventer un et y croire. Bien sûr, rien n'indique que ce processus ne soit pas créé par le cerveau. Après tout, il pourrait y avoir quelque part un « module générateur de sens » qui entrerait en fonction dans un tel cas. Mais cela est d'une grande importance pour la compréhension de ce que nous sommes. Comme le dit Jean-François Lambert, « c'est seulement

quand je verrai des chimpanzés s'assembler pour débattre du sens de leurs actes et réfléchir sur leur "chimpanzéitude" que j'admettrai que l'homme n'est pas fondamentalement différent des singes ».

Ces expériences ont aussi d'autres implications. Pour Sperry et Libet, elles réfutent l'existence de la télépathie : si les deux moitiés du cerveau ne peuvent pas communiquer entre elles, comment pourrions-nous communiquer avec un autre cerveau ?

Libet en a déduit que son champ de conscience – s'il existe – a une portée très limitée. Pour lui, ce champ est en effet engendré par les hémisphères. L'expérience montrerait donc que le champ produit par un hémisphère n'interagit pas avec l'autre.

Mais Sperry et Libet rapportent un fait capital. Bien que le résultat de l'expérience puisse laisser penser que l'on a affaire à deux « moi » qui fonctionnent indépendamment, *aucun* des patients au cerveau sectionné n'a rapporté le moindre « trouble du moi ». Certes, ces derniers sont parfois un peu perturbés mais il s'agit bien de « moi » uniques ayant conservé toute leur mémoire et leurs habitudes. On aurait pu imaginer que chaque hémisphère contienne une partie de la mémoire. Et même si la mémoire était distribuée globalement et si chaque hémisphère contenait l'histoire complète de l'individu, on pourrait imaginer que de cette base commune, deux moi différents émergent avec le temps. Or ce n'est pas le cas (même si l'hémisphère droit ne peut parler, on pourrait, par le biais de tests de personnalité purement visuels, se rendre compte de l'émergence d'un second moi).

Cela me paraît un argument indirect en faveur du dualisme. Comme nous venons de le voir, même un « émergentisme ultra-fort » à la Libet ne semble pas pouvoir expliquer cette unicité de la personne après que le cerveau a été coupé en deux¹. À moins de supposer que le moi soit localisé dans le seul hémisphère gauche. Mais de jeunes enfants ayant perdu l'hémisphère gauche ont vu leur personnalité s'épanouir de façon tout à fait normale.

1. Les deux hémisphères restent quand même connectés *via* les sous-structures du cerveau, mais de telles structures, héritage du *cerveau reptilien*, sont les plus primitives, celles qui théoriquement n'abritent pas de conscience, si primaire soit-elle. Il n'est donc vraiment pas crédible que ce soit elles qui permettent, chez les sujets *split brain*, la survie de la plus haute forme de conscience qui existe : la conscience de soi.

Le grand retour scientifique du dualisme

De tous les concepts présentés dans ce livre aucun, peut-être, n'a davantage mauvaise presse que le dualisme. Il est « fondamentalement antiscientifique » ; il doit « être évité à tout prix » ; « accepter le dualisme, c'est renoncer¹. »

Quasiment tous les ouvrages de neurologie commencent par un petit couplet contre le dualisme. Et pourtant, regardez les choses par vous-même :

— Nous avons vu qu'il existe des phénomènes tels que la non-séparabilité qui ont une influence causale sur notre monde sans être constitués de matière ni d'énergie.

— La conclusion minimale à laquelle notre parcours à travers la physique quantique nous a amenés, c'est que ce qui existe ne se limite pas à des choses incluses dans le temps et l'espace, et constituées de matière et d'énergie.

— Cela ne fournit-il pas un écrin pour l'existence possible d'un esprit non localisé dans le temps et l'espace et non constitué de matière et d'énergie ?

— Depuis l'article de Beck et Eccles en 1992 (qui, à ma connaissance, n'a jamais été critiqué *via* une publication effectuée dans une revue à *referees*), le principal obstacle théorique au dualisme a disparu.

— Même Descartes n'aurait pas rêvé que la science puisse apporter un jour un tel cadre pour ses conceptions.

— Le dualisme n'est-il pas la solution la plus logique aux extraordinaires expériences de Libet montrant que la conscience peut remonter le temps – et donc n'est pas totalement située dans le temps ? Libet n'est pas dualiste mais il prend soin de préciser que rien n'interdit l'existence d'un dualisme de type cartésien².

— Rappelons que de nombreux scientifiques célèbres partagent la position selon laquelle le cerveau et l'esprit seraient deux choses identiques, position magistralement réfutée par les expériences de Libet, tout en nous expliquant que le dualisme est antiscientifique. Bel exemple d'illustration de la parabole de la paille et de la poutre.

1. Daniel Dennett, *La conscience expliquée*, op. cit., p. 54-55.

2. Benjamin Libet, *Mind time*, op. cit., p. 221.

— Le dualisme n'est-il pas la meilleure explication du fait que les sujets au cerveau coupé en deux gardent une identité unique ?

— Le dualisme n'est-il pas la meilleure explication lorsqu'on voit qu'une instance peut, au moment crucial, arrêter des processus commencés inconsciemment par le cerveau et manifester ainsi l'existence d'un libre arbitre ?

— Le dualisme n'est-il pas la meilleure explication lorsqu'on voit que l'*intention* de faire quelque chose peut avoir des conséquences physiques sur le cerveau et même sur le système immunitaire ?

— Le dualisme n'est-il pas une aussi bonne explication que celle de l'émergentisme du fait que des états mentaux peuvent être radicalement différents des états neuronaux associés, comme nous l'a montré l'expérience des moines tibétains ?

Il semble donc difficile de rejeter l'hypothèse selon laquelle le dualisme serait le meilleur cadre théorique dans lequel développer les futures recherches sur la nature de la conscience humaine, quand on regarde les faits scientifiques et uniquement eux.

Quand on fait appel à des entités non matérielles comme l'esprit, les archétypes, etc., les matérialistes nous rétorquent immédiatement que c'est une façon de scléroser la recherche puisque, au lieu de rechercher une cause physique, on postule quelque chose d'invérifiable.

Mais ici, c'est exactement le contraire !

Quelles sont les recherches les plus potentiellement riches en progrès majeurs que l'on puisse mener dans les sciences de la conscience ?

— Le développement de la voie ouverte par Libet à propos de la possibilité qu'aurait la conscience de s'extraire (au moins un peu) du temps.

Une possible confirmation empirique existe sur ce point. Dans des cas d'urgence, tels que des accidents de voiture, certains témoins rapportent qu'un moment qui n'a duré que trois secondes (j'ai vu le camion, je suis rentré dedans) a paru en durer trente ! Comme si la conscience sortait du temps pour se donner plus de chances de réagir. Il s'agit d'une direction de recherche parmi beaucoup d'autres.

— Les recherches sur les nombreux cas dans lesquels se manifeste un « opérateur qui ne se résume pas à la somme des opérations », pour reprendre une expression de Jean-François Lambert, et qui peut, soit arrêter des processus commencés

inconsciemment par le cerveau, soit engendrer des processus physiques dans le cerveau uniquement par la pensée.

— Les recherches sur des sujets actuellement tabous comme les NDE qui nous indiquent que des découvertes incroyables sur la nature humaine sont envisageables¹.

Je ne vois aucune piste de recherche potentiellement aussi prometteuse à l'intérieur du paradigme actuel des neurosciences pour lequel « la conscience est le produit du cerveau », par le biais de voies dont on n'a d'ailleurs pas la moindre idée.

Le dualisme est bien aujourd'hui l'hypothèse la plus féconde pour expliquer les données provenant des neurosciences. Mais dans ce domaine comme dans celui des sciences de l'évolution (dans lesquels des milliers de chercheurs étudient la drosophile, qui n'a pas vraiment évolué depuis cinquante millions d'années, dans l'espoir de comprendre les mécanismes de l'évolution), un paradigme interdisant d'envisager toute réalité non physique bloque les recherches les plus potentiellement fructueuses, et cela même alors que cet interdit a déjà volé en éclats dans les domaines de la physique, de l'astrophysique et des mathématiques (voir chapitre suivant) dans lesquels se profilent un ou plusieurs niveaux de réalité hors du temps, de l'espace, de l'énergie et de la matière.

Il est important de noter que le dualisme dont nous parlons ici ne correspond pas totalement à la conception classique de cette notion selon laquelle matière et conscience seraient deux choses radicalement séparées. Ce que nous avons vu dans la partie consacrée à la physique nous incite à penser que la conception la plus en harmonie avec nos connaissances est celle selon laquelle conscience et matière proviendraient d'une substance unique qui serait « antérieure à la scission sujet-objet », selon l'expression de Bernard d'Espagnat, et qui serait située au-delà de l'espace, du temps et de l'énergie.

En ce qui concerne le rapport entre ces deux entités, nous avons passé en revue plusieurs hypothèses. Il me semble qu'on

1. Certaines études montrent que les phénomènes de « sortie du corps » décrits par certaines personnes ayant approché la mort pourraient ne pas être une illusion comme on le croit généralement, cf. Pim Van Lommel *et al.*, *The Lancet*, 15 décembre 2001, Michael Sabom et Sarah Kreutzinger, « Physicians evaluate near death experience », *Theta* n° 6, 1978, p. 1-6. Voir aussi Michael Sabom, *Souvenirs de la mort*, Robert Laffont, 1983. Libet lui-même a mis au point un protocole pour tester de façon rigoureuse la réalité de ce phénomène. Voir Benjamin Libet, *Mind time*, *op. cit.*, p. 216-219.

peut les considérer comme étant complémentaires et non contradictoires.

Lambert a certainement raison lorsqu'il insiste sur le caractère irréductible de l'écart existant entre les niveaux de fonctionnement cérébral et la vie de l'« esprit », particulièrement de la conscience, comme présence à soi-même, et son versant actif qu'est l'action intentionnelle.

On peut donner raison à Chalmers lorsqu'il constate que la conscience est bien réellement présente dans l'Univers et qu'elle est irréductible à aucun des éléments physiques dont l'existence est actuellement démontrée, ce qui amène à en faire un des constituants de l'Univers comme la gravité, les champs électromagnétiques, pour lesquels on ne cherche pas d'explication à leur existence mais qu'on prend comme des données de fait.

On peut aller plus loin avec Laplane et constater que le cerveau, qui est fait de matière et d'énergie, « fabrique » une conscience qui ne peut être réduite à la matière-énergie tout en en provenant et en agissant sur elle. Et donc en déduire qu'il y a nécessairement à la fois hétérogénéité entre la conscience et la matière-énergie, et homogénéité, sans laquelle l'interférence ne pourrait avoir lieu. D'où l'idée que le cerveau transforme l'une dans l'autre.

Enfin, on peut vouloir, avec Eccles, bâtir des modèles précis de l'interaction entre ces deux entités sans violer les lois physiques connues. Bien que cela puisse paraître assez spéculatif, on peut faire des hypothèses sur la façon dont le progrès de nos connaissances pourrait nous donner (du moins de façon indirecte) des lueurs sur cette interaction. Mais il me semble évident que celle-ci ne pourra jamais être dévoilée en totalité comme le pense Lambert, tout en pouvant être approchée par une axiomatique comme celle de Laplane.

Nous avons commencé l'étude de la conscience avec l'« hypothèse stupéfiante » de Francis Crick selon laquelle « nous » ne serions qu'un paquet de neurones.

Ce qui est véritablement stupéfiant, c'est que, après le développement de tant de techniques sophistiquées pour voir penser le cerveau, après tant d'expériences de pointe, toujours effectuées dans un cadre conceptuel dans lequel le cerveau produit la conscience, on puisse conclure de la même façon que Wilder Penfield (le neurochirurgien qui, le premier, a pratiqué des expériences sur les cerveaux alors que la boîte crânienne qui les

contenait était ouverte, technique qu'utilisera Libet) : « Après une vie passée à essayer de découvrir comment le cerveau explique l'esprit, cela m'est comme une surprise de découvrir maintenant, à l'occasion de ce dernier examen de la question, que l'hypothèse dualiste (la séparation de l'esprit et du cerveau) semble la plus raisonnable des deux explications possibles¹. »

1. Cité par Michael Sabom, *Souvenirs de la mort*, op. cit., p. 280.

Une voie rationnelle vers le monde de l'esprit ?

« Il semble que l'on puisse réfuter l'idée que les mathématiques soient une création de l'esprit humain. [...] Cela implique que les objets et les faits mathématiques existent objectivement et indépendamment de nos actions mentales et de nos décisions. »

Kurt Gödel

Sommes-nous en contact avec un « monde des mathématiques » ?

Nous avons vu qu'un « monde de l'esprit » était non seulement possible mais qu'il était même tout à fait concevable au vu des expériences de pointe effectuées sur la conscience et le libre arbitre, et en raison de la conception du monde que nous donne la physique quantique. La question qui se pose est donc : aurions-nous d'autres indices de l'existence d'un tel monde et du fait que notre conscience serait bien en contact avec (ou en partie immergée en) lui ?

Peut-être pensez-vous que je vais maintenant analyser les expériences mystiques rapportées par différentes traditions ? Cela serait une voie possible, mais nous avons choisi une fois pour toutes, dans cet ouvrage, de ne considérer que les faits scientifiques et leurs interprétations.

C'est la raison pour laquelle nous allons maintenant aborder la question de la nature des mathématiques. Oui, les mathématiques ! *A priori* rien ne peut, pour les non-spécialistes, être plus rationnel et plus éloigné du monde de l'esprit que des équations.

Pourtant les grands mathématiciens ont souvent rapporté des témoignages étonnants sur la pratique de leur activité. Certaines

grandes découvertes leur sont venues d'illuminations, comme si soudain un voile se soulevait et leur donnait accès à quelque chose qui préexistait. Les mathématiques seraient comme l'Afrique (un continent que l'on explore petit à petit mais qui existait bien avant que l'homme existe), et non une construction de l'esprit humain.

Il y aurait donc un « monde des êtres mathématiques » qui existerait de toute éternité et avec lequel l'esprit humain pourrait entrer en contact.

Un exemple frappant est celui de Andrew Wiles. Il a gravi un Everest des mathématiques en démontrant le grand théorème de Fermat¹.

Les plus grands mathématiciens de différentes époques ont essayé de le démontrer ; certains ont pu le faire pour certaines catégories de nombres mais jamais pour tous, au point que la démonstration du théorème de Fermat était devenue un « Graal des mathématiques ». Nombreux étaient ceux qui pensaient qu'elle n'existait sans doute pas. S'y attaquer, c'était comme prétendre créer un mouvement perpétuel. Elle était ainsi devenue un sujet trop ambitieux pour un chercheur. C'est la raison pour laquelle Andrew Wiles a tu, durant sept longues années, qu'il travaillait sur le sujet. Ses collègues pensaient qu'il avait été un mathématicien brillant mais qu'il n'avait plus d'idées. Puis, sept ans après, il présenta sa démonstration lors d'un séminaire à Cambridge. La nouvelle fit le tour du monde. Mais lorsque les quelques personnes capables de la comprendre l'analysèrent, elles y trouvèrent une faille.

La situation était dramatique car si l'un de ses collègues comblait la faille avant lui, ce serait celui-ci qui aurait démontré le théorème de Fermat. Beaucoup de gens avaient déjà presque démontré le théorème. Mais seule comptait une démonstration complète. Wiles travailla intensément pendant un an, mais il butait toujours contre un mur. Jusqu'au jour où, descendant l'escalier pour dîner, il « vit » soudain que, en regroupant deux domaines très différents des mathématiques, il pourrait obtenir

1. Il y a trois cent cinquante ans, Fermat avait écrit en marge d'un livre : « Il n'y a pas de nombre N qui existe et qui soit plus grand que 2, tel que l'on puisse trouver trois nombres a , b , c pour lesquels $a^n + b^n = c^n$. J'en ai trouvé une jolie démonstration mais je n'ai pas la place de l'écrire ici. » Pour $n = 2$, on trouve tout de suite a , b , c : $3^2 + 4^2 = 5^2$ ($9 + 16 = 25$). Fermat affirmait que, pour tous les nombres supérieurs à 2, il n'existait aucun triplé a , b , c satisfaisant son équation.

la solution. En arrivant en bas, il dit à sa femme : « Ça y est, je l'ai ! » Et c'était vrai, bien qu'il lui fallût plusieurs semaines pour coucher sa vision sur le papier¹.

Lorsque j'ai eu l'occasion de rencontrer Andrew Wiles dans son bureau de Princeton, j'ai été frappé non par ce qu'il m'a dit mais par son attitude. J'avais en face de moi un père de famille, directeur du département de mathématiques de l'une des plus grandes universités au monde. Mais tout, dans ses sourires, son silence, son regard, son attitude générale, me rappelait non pas un scientifique, mais des rencontres dans une abbaye isolée avec certains moines dont l'attitude et le comportement nous font ressentir qu'ils ont éprouvé un contact avec l'absolu dont aucun mot ne pourrait rendre compte.

Mais tous les mathématiciens ne ressemblent pas à des mystiques. Alain Connes, professeur au Collège de France, médaille Fields (l'équivalent du Nobel en mathématiques), est un bon vivant et se dit matérialiste. Cela donne encore plus de poids à son témoignage sur l'« illumination » (qui, rappelons-le, est rationnelle et nullement mystique, puisqu'il s'agit de voir un objet mathématique et non une apparition de la Vierge).

« Au moment où elle a lieu, l'illumination implique une part considérable d'affectivité, de sorte que l'on ne peut rester passif ou indifférent. La rare fois où cela m'est réellement arrivé, je ne pouvais m'empêcher d'avoir les larmes aux yeux. J'ai souvent observé la chose suivante : une fois la première étape de préparation franchie, on se heurte à un mur. L'erreur à ne pas commettre consiste à attaquer cette difficulté de manière frontale [...]. L'expérience montre que si l'on s'attaque à un problème directement, on épuise très vite toutes les ressources de la « pensée directe », rationnelle [...]. Ce qui est frappant, c'est l'importance, quand je parle de procéder indirectement, de l'éloignement apparent entre le problème initial et le champ d'investigation du moment [...]. Le mathématicien doit évidemment disposer d'une sérénité suffisante. On peut parvenir ainsi à une sorte d'état contemplatif qui n'a rien à voir avec la concentration d'un étudiant en mathématiques qui passe un examen². »

1. Pour compléter sa démonstration, Andrew Wiles a également eu besoin d'outils mathématiques qu'il a élaborés avec Richard Taylor.

2. Jean-Pierre Changeux et Alain Connes, *Matière à pensée*, Odile Jacob, 1989, p. 112-113.

Roger Penrose, professeur à Oxford, fait également partie des plus grands mathématiciens vivants. Il rejette le dualisme et n'est nullement spiritualiste. Pourtant il postule l'existence de trois mondes (différents de ceux de Karl Popper, cf. page 379) interagissant entre eux. Du monde matériel émerge le monde de l'esprit, qui a lui-même accès au monde platonicien des mathématiques... qui est lui-même le fondement du monde physique¹.

Ce dernier point expliquerait la « déraisonnable efficacité des mathématiques » : c'est-à-dire la raison pour laquelle elles peuvent si bien décrire le monde réel, ce qui peut paraître étrange si elles ne sont qu'une construction de l'esprit humain.

Pour Penrose, que notre esprit ait un accès direct à ce monde platonicien constitue l'une des différences essentielles existant entre l'être humain et les machines : « Selon Platon, les concepts et les vérités mathématiques résident dans un monde réel dépourvu de toute notion de localisation spatio-temporelle. Le monde de Platon, distinct du monde physique, est un monde idéal de formes parfaites à partir duquel nous devons comprendre ce monde physique. Bien que l'univers platonicien ne se laisse pas réduire à nos constructions mentales imparfaites, notre esprit y a toutefois directement accès, grâce à une "connaissance immédiate" des formes mathématiques et à une capacité de raisonner sur ces formes. Nous verrons que si notre perception platonicienne peut à l'occasion s'aider du calcul, elle n'est pas limitée par ce dernier. C'est ce potentiel de "connaissance immédiate" des concepts mathématiques, cet accès direct au monde platonicien, qui confère à l'esprit un pouvoir supérieur à celui de tout dispositif dont l'action repose uniquement sur le calcul². »

Bien entendu, les réductionnistes et les matérialistes (parmi lesquels figurent également de grands mathématiciens) ne l'entendent pas de cette façon. Les propos de Connes, que nous avons cités, sont tirés d'un dialogue avec Changeux, le fameux partisan de l'« homme neuronal ».

Changeux déploie une grande énergie pour que Connes admette que les objets mathématiques sont des constructions du cerveau et n'ont pas d'existence propre. Il essaie de le placer en

1. Voir Roger Penrose, *Les deux infinis et l'esprit humain*, Flammarion, 1999, p. 113-116.

2. Roger Penrose, *Les ombres de l'esprit*, InterÉditions, 1995, p. 46.

porte-à-faux en montrant que son platonisme n'est pas compatible avec le matérialisme auquel Connes prétend adhérer (il est clair que la position de Connes serait plus confortable et cohérente s'il prenait quelques distances avec le matérialisme). Il ira même jusqu'à l'accuser du « crime » de dualisme¹.

Mais Connes tient bon. Pour lui, il ne s'agit pas d'une croyance mais de quelque chose qui découle de l'expérience de sa pratique scientifique : « Je pense que le mathématicien développe un "sens", irréductible à la vue, à l'ouïe et au toucher, qui lui permet de percevoir une réalité tout aussi contraignante mais beaucoup plus stable que la réalité physique, car non localisée dans l'espace-temps. Lorsqu'il se déplace dans la géographie des mathématiques, le mathématicien perçoit peu à peu les contours et la structure incroyablement riches du monde mathématique. Il développe progressivement une sensibilité à la notion de simplicité qui lui donne accès à de nouvelles régions du paysage mathématique². »

Changeux lui répond : « C'est toi qui crées cette simplicité lorsque tu confrontes tes représentations mentales entre elles ou à des objets naturels, lorsque tu constates leur adéquation ou leur inadéquation à l'aide du sens dont tu parles et que je considère comme le produit de nos facultés cérébrales. Encore une fois, est-ce que cela prouve que cette simplicité a une origine immatérielle ? [...] Je crains que le "sentiment" que tu as de "découvrir" cette "réalité" toute platonicienne ne soit qu'une vision purement introspective, et de ce fait subjective du problème³. »

Certes, il n'est pas possible de prouver que ces « contacts avec le monde platonicien » que rapportent les grands mathématiciens soient réels. Alors pouvons-nous encore faire un pas en avant tout en restant dans le cadre de la rationalité et de l'objectivité ?

Oui, grâce à un autre grand résultat de la science du XX^e siècle : le théorème de Gödel.

Avant cela, laissez-moi vous dire qu'il n'est pas nécessaire d'être un mathématicien de génie pour prendre contact avec ce monde platonicien. De façon bien plus simpliste et dégradée, cela peut être fait par chacun d'entre nous grâce au concept de « nombre ».

1. Jean-Pierre Changeux et Alain Connes, *Matière à pensée*, op. cit., p. 85.

2. *Ibid.*, p. 49.

3. *Ibid.*, p. 50-54.

Une glace à la fraise, une crotte de chien et une claque dans la figure sont des choses très différentes. Pourtant, très jeune, un enfant perçoit qu'il y a quelque chose de commun entre trois claques, trois glaces et trois crottes : le nombre 3. C'est comme si les nombres avaient une existence réelle au même titre que les objets.

C'est ce que veut dire ici avec humour Marcel-Paul Schützenberger (M.-P. S.) – que nous avons déjà rencontré au chapitre 10 – lors d'un débat avec deux autres grands mathématiciens Alain Connes et André Lichnerowicz (A. L.) :

« — M.-P.S. : André, je ne vois pas quel statut vous accordez au nombre 24.

— A.L. : Pourquoi devrais-je lui accorder un statut ?

— M.-P.S. : Il me semble que 24 est comme cela, avec ses propriétés, je n'y peux rien.

— A.L. : Et alors ?

— M.-P.S. : Il a été décidé une fois pour toutes par le Créateur que désormais, le nombre 24 serait fait comme cela et les portes de l'enfer n'y feront rien. La réalité de 24 ne me paraît pas très différente de celle des sardines [...] J'avoue avoir beaucoup de difficulté à distinguer mon activité de celle que j'aurais si j'étais entomologiste.

— Alain Connes : Je suis parfaitement d'accord¹. »

Gödel ou la transcendance de la vérité mathématique

Au début du XX^e siècle, les mathématiciens étaient, pour la plupart, moins platoniciens qu'ils ne le sont aujourd'hui. Il y avait des positivistes comme Hans Hahn. (« En ce qui concerne le monde, le seul point de vue possible me semble être le point de vue empiriste : la connaissance de la réalité ne peut en aucune façon s'obtenir par la pensée. »)

Il y avait des constructivistes qui, comme leur nom l'indique, pensaient que les mathématiques étaient une construction humaine et qu'il fallait les bâtir solidement, morceau par morceau. Il y avait enfin les formalistes, comme David Hilbert, l'un

1. Alain Connes, André Lichnerowicz, Marcel-Paul Schützenberger, *Triangle de pensées*, Odile Jacob, 2000, p. 50-53.

des plus grands mathématiciens de l'époque. En 1900, il énuméra les dix problèmes que, selon lui, les mathématiciens devraient résoudre au cours du siècle qui commençait. Le plus important était celui-ci : montrer la complétude de la logique.

L'enjeu en était le suivant :

— Toutes les activités humaines formalisables (pas la pêche à la ligne) reposent sur des nombres dont les relations entre eux forment l'arithmétique.

— Il faut donc que l'arithmétique soit un système cohérent qui permette une reconstruction de l'intégralité des mathématiques sur des fondations indestructibles.

— Les raisonnements logiques interviennent de façon fondamentale dans le développement des mathématiques.

— Il fallait donc formaliser la logique pour qu'elle débouche sur un système cohérent et complet permettant le déploiement des mathématiques.

Mais si nous pouvions faire cela, disait Hilbert, nous pourrions alors déterminer, pour n'importe quelle proposition logique, sa véracité ou sa fausseté et alors nous aurions une « solution finale¹ » (!) au problème de la logique.

On voit ici une même conception du monde que celle de Laplace (« Si je connaissais la position des particules de l'Univers et les lois qui les font interagir, je pourrais en déduire tout le futur de l'Univers ») ou celle de Changeux (« Si je connaissais en détail votre état neuronal, je pourrais en déduire ce que vous allez penser dans une minute et que vous ne savez pas encore »).

Il s'agit du « circulez, il n'y a rien à voir » de la vision classique, « il n'y a à voir *que* des axiomes » ou « uniquement des particules » ou « juste des neurones ».

Mais de même que le rêve de Laplace a été tué par le principe d'incertitude de Heisenberg, que l'homme neuronal de Changeux a péri sous les coups de boutoir de Libet, le programme de Hilbert a été tué dans l'œuf il y a un peu plus de soixante-quinze ans.

C'était le 7 octobre 1930 à Königsberg, la ville natale de Kant. L'élite des mathématiques était réunie pour un colloque sur « L'épistémologie des sciences exactes ».

À la fin du colloque, un jeune homme petit, maigre, timide, avec des grosses lunettes, se leva. Il s'appelait Kurt Gödel, il

1. Ou « finitiste », selon les traductions possibles.

venait juste de finir sa thèse à l'université de Vienne sous la direction de Hans Hahn. Il fréquentait les fameuses réunions du cercle de Vienne à l'occasion desquelles de nombreux positivistes se retrouvaient. Mais il n'était pas positiviste, il était profondément platonicien.

Il prononça une phrase et une seule : « Si on suppose que les mathématiques classiques sont cohérentes, on peut bâtir des propositions mathématiques qui sont contextuellement *vraies* mais *indémontrables* dans le système formel des mathématiques classiques. »

Les témoins disent que Gödel avait parlé d'une voix assez forte pour être entendu de tous. Mais si la phrase arriva aux oreilles des participants, elle n'atteignit pas leur cerveau.

Il n'y a *rien* de plus formel que la notion de vérité en mathématiques. Quelque chose est vrai si, et seulement si, on peut démontrer cette vérité. Or ce jeune homme venait de dire que des propositions mathématiques pouvaient être à la fois vraies et indémontrables. On avait certainement mal entendu, ce n'était pas possible. Personne ne réagit ni ne questionna Gödel.

Les pionniers du formalisme, du positivisme, du constructivisme ne pouvaient imaginer qu'une grande partie de leur univers venait d'exploser.

Un seul participant comprit ce qui venait de se passer, John Von Neumann, l'un des grands génies du XX^e siècle, père du premier ordinateur et un des membres clés du projet *Manhattan* de construction de la bombe atomique.

« Si ce que vous dites est vrai », dit-il après le colloque à Gödel, « alors il est impossible de démontrer la cohérence de l'ensemble des mathématiques incluant l'arithmétique. » « Mais bien sûr, répondit Gödel, il s'agit de mon deuxième résultat, il est déjà sous presse. »

Von Neumann, qui était formaliste, compris tout de suite que cela signifiait la fin du programme de Hilbert : la logique ne pouvait pas être fondée sur elle-même, l'arithmétique ne pouvait pas être fondée sur elle-même, les mathématiques ne pouvaient pas être fondées sur elles-mêmes.

Lorsque Gödel publia l'année suivante sa démonstration, ce fut une véritable lame de fond, un tsunami qui déferla sur les mathématiciens. Hermann Weyl, un des grands mathématiciens de l'époque, parla de « débâcle » et de « catastrophe ». « L'idéal d'axiomatisation inauguré par Euclide il y a deux mille ans, le paradigme même de la rationalité, venait de voler en éclats et, pis, le coup avait été

porté alors que Hilbert venait de réussir à parfaire l'idée même de "système axiomatique formel". Les résultats, mais aussi les méthodes employées par Gödel dans sa démonstration, étaient si inattendus que mathématiciens et logiciens mirent plusieurs années avant d'en entrevoir la pleine portée¹. »

Voici diverses façons (simples) d'exprimer les résultats de Gödel :

— Tout système d'axiomes contenant l'arithmétique (c'est-à-dire la théorie des nombres) contient une proposition *dont nous pouvons savoir qu'elle est vraie* mais qui n'est pas démontrable dans le système en question.

— La cohérence des mathématiques ne peut être démontrée à l'intérieur des mathématiques.

— Tout système d'axiomes (toujours contenant la théorie des nombres) contient des propositions indécidables (on ne peut pas savoir si elles sont vraies ou fausses).

— Tout système d'axiomes est soit incomplet soit incohérent car il ne peut être à la fois complet et cohérent.

L'usage des nombres – c'est-à-dire de l'arithmétique – étant nécessaire à la plupart de nos activités (compter les moutons dans un pré, construire un pont...), le théorème de Gödel a ainsi une portée très générale. Mais le point le plus important pour notre propos est l'existence de propositions vraies *mais* non démontrables. Si elles sont non démontrables, comment diable pouvons-nous savoir qu'elles sont vraies, me direz-vous ?

Justement parce que nous avons un contact direct avec le monde des vérités mathématiques, répond Gödel. En bon platonicien, il estimait que l'intuition mathématique, qui se passe de toute démonstration, était aussi réelle que nos perceptions. Certes, nos perceptions peuvent nous tromper – tels les mirages, les illusions d'optiques, etc. – mais nous pouvons leur faire confiance la plupart du temps. Selon Gödel, il s'agit de la même chose lorsqu'il est question de nos intuitions mathématiques : « Je ne vois pas pourquoi, écrivit-il, nous devrions avoir moins confiance dans ce type de perceptions [l'intuition mathématique] que dans la perception sensorielle qui nous amène à construire des théories physiques². » Pour lui comme pour les autres platoniciens

1. Pale Yourgrau, *Einstein et Gödel, quand deux génies refont le monde*, Dunod, 2005, p. 69.

2. Cité par Pale Yourgrau, *Einstein et Gödel...*, op. cit., p. 133.

que nous avons cités, l'homme a (au moins) un sixième sens, celui de la perception du monde des mathématiques.

Une fois ses résultats connus, Gödel entra très vite dans le cercle des génies. C'est grâce à leur soutien que, bloqué à Vienne par le déclenchement de la guerre et menacé par les nazis, il put obtenir le visa nécessaire pour un incroyable voyage. Partant de Vienne, sa femme et lui allèrent en Russie, traversèrent toute la Sibérie, prirent à Vladivostok un bateau pour le Japon et de là, un autre pour les États-Unis. Heureusement pour eux, la guerre entre la Russie et l'Allemagne, et les États-Unis et le Japon n'avait pas encore commencé. Accueilli dans ce « centre pour génies » que constitue l'Institut des études avancées de Princeton, il y retrouva Von Neumann et Einstein, dont il devint rapidement le meilleur ami. Il existe de nombreuses anecdotes relatant les rapports qu'avaient Einstein et Gödel alors qu'il ne reste quasiment aucune trace des dizaines d'heures de discussion qu'ils eurent en tête-à-tête. Se voyant tous les jours, ils ne s'écrivaient jamais. Toujours est-il qu'à la fin de sa vie, Einstein disait qu'il n'avait plus beaucoup d'espoir de voir aboutir ses recherches d'une théorie unifiée mais qu'il se rendait tout de même à son bureau « pour avoir la chance de parler avec Gödel ». Cela montre le niveau que ce dernier avait atteint.

Après la mort de ses amis, Gödel s'isola de plus en plus, n'allant plus au bureau, ne voyant plus personne à l'exception d'un mathématicien chinois, Hao Wang, passionné comme lui de philosophie. C'est grâce aux deux livres de Wang que nous connaissons un grand nombre des idées de Gödel. Mais ces deux livres laissent un sentiment étrange. Wang, marxiste convaincu, athée, qui admira pendant un temps la révolution culturelle chinoise, est aux antipodes de la pensée de Gödel. Tout en présentant la pensée de ce dernier avec respect, il ne peut s'empêcher de la critiquer. La situation est la même pour Douglas Hofstadter, auteur de l'extraordinaire *Gödel, Escher, Bach*. Si ce livre – qui mêle la musique de Bach, le théorème de Gödel et la peinture d'Escher – est un tour de force intellectuel, les conclusions de son auteur n'en sont pas moins, elles aussi, totalement opposées à celles de Gödel. Ainsi, concernant Gödel, nous sommes dans une situation rappelant quelque peu celle des cathares dont les idées ne nous sont connues que par les rapports de l'Inquisition qui les combattit.

Le résultat de Gödel est passé à la postérité sous le nom de « théorème d'incomplétude de la logique ». Gödel incarnera éga-

lement cette incomplétude de la logique humaine dans sa vie personnelle. Devenu paranoïaque, il pensait que l'on voulait l'empoisonner et ne mangeait plus que la nourriture préparée par sa femme. Quand celle-ci fut hospitalisée en 1977, il cessa de s'alimenter, lui qui mangeait déjà très peu. Le 16 janvier 1978, celui qu'Einstein et von Neumann appelaient « le plus grand logicien depuis deux mille cinq cents ans », c'est-à-dire depuis Aristote, mourut de faim. Il ne pesait plus que 30 kilos.

S'il n'a rien publié durant les vingt dernières années de sa vie, cela ne veut pour autant pas dire qu'il avait cessé de travailler. Simple-ment, il ne voulait publier une démonstration que lorsqu'elle était inattaquable. Ce désir de perfection fait qu'il publia peu de son vivant mais laissa des milliers de pages de notes. Ne faisant rien comme les autres, Gödel écrivait de façon codée, utilisant une vieille technique de sténodactylographie allemande, le Gabelsberger, que seules cinq ou six personnes savent encore lire dans le monde ! La plupart des travaux ou des brouillons laissés par Gödel sont aujourd'hui publiés, mais bien des choses, jugées comme moins importantes par les spécialistes, doivent encore dormir dans les entrailles de la bibliothèque Firestone de l'université de Princeton. M'étant rendu là-bas, j'ai eu l'honneur de tenir entre mes mains ces feuilles recouvertes d'une écriture étrange et j'ai découvert que Gödel ne codait pas le nom des personnes. Ce qui m'a permis de savoir qu'il s'intéressait aux visions de mystiques comme sainte Catherine Emmerich ou des Pères de l'Église tels que Grégoire Palamas.

Gödel avait une foi extraordinaire en la raison. Pour lui, la raison pouvait aborder tous les problèmes. Voici quelques extraits de son « credo philosophique », retrouvé dans ses notes :

- Le monde est rationnel.
- La raison humaine peut, en principe, être développée de manière plus importante.
- Il y a des méthodes systématiques pour la résolution de tous les problèmes.
- Il y a d'autres mondes et d'autres êtres rationnels, différents ou supérieurs à nous.
- Le monde dans lequel nous vivons n'est pas le seul dans lequel nous ayons vécu et où nous devons vivre.
- Le matérialisme est faux.
- Il existe une philosophie et une théologie exactes qui manient des concepts de la plus haute abstraction et qui sont également très utiles pour la science.

— Les religions sont en général mauvaises, mais la religion ne l'est pas¹.

Cet « optimisme rationaliste », comme il l'appelait lui-même, a conduit Gödel à tenter de trouver une preuve de l'existence de Dieu. Elle est aujourd'hui largement débattue sur Internet et fascine certains spécialistes. Je ne la commenterai pas ici. Elle ne m'intéresse pas car il ne s'agit (sous une forme infiniment plus raffinée) que d'un développement de la « preuve de Saint-Anselme », qui m'a toujours paru un peu spécieuse (« Dieu » est un être qui, par définition, possède toutes les qualités. Or si Dieu n'a pas l'existence, il lui manque clairement une qualité. Donc Dieu existe...) De plus, que l'homme qui avait démontré les limites de la logique veuille trancher logiquement une telle question m'a toujours semblé étrange.

Sans doute Gödel considérerait-il son théorème comme un hommage à la raison : la raison est tellement puissante qu'elle peut elle-même démontrer ses propres limites. Il est aussi possible que les « méthodes systématiques » dont parle Gödel ne reposent pas uniquement sur des démonstrations logiques mais incluent également les intuitions qui sont rendues possibles par notre « contact direct » avec le monde des « vérités » (pourquoi ce contact se limiterait-il aux vérités mathématiques ?).

Ainsi, dans les vingt dernières années de sa vie, Gödel a essayé de développer cette théologie et cette philosophie scientifique susceptibles d'aborder rationnellement tous les grands problèmes relatifs à la nature humaine, comme nous essayons de le faire ici.

Bien entendu, il n'a pu mener à terme cette démarche ambitieuse. Il nous a cependant laissé quelques idées portant sur des questions clés.

Gödel pensait que le darwinisme, qu'il appelait « le mécanisme en biologie », serait réfuté rationnellement un jour : « Je crois que le mécanisme en biologie est un préjugé de notre temps qui sera réfuté. Selon moi, la réfutation prendra la forme d'un théorème de mathématique montrant que la formation au cours des temps géologiques d'un corps humain par les lois de la physique (ou toute autre loi de nature similaire) à partir d'une

1. Hao Wang, *A logical journey, from Gödel to philosophy*, MIT Press, 1996, p. 316.

distribution aléatoire de particules élémentaires est aussi peu probable que la séparation par hasard de l'atmosphère en ses différents composants¹. »

Il est intéressant de noter que Gödel rejoint ici le grand darwinien Daniel Dennett. Pour Dennett (cf. page 222), le point essentiel est que le darwinisme est un algorithme. Pour Gödel aussi. Et si le darwinisme est un algorithme, on peut le réfuter mathématiquement. Concernant l'évolution, Gödel semble proche des conceptions que j'ai exposées au chapitre 12 : la vie, pour être expliquée, nécessite l'existence de lois tout à fait différentes des lois connues. « Je ne crois pas que le cerveau soit apparu de façon darwinienne. En fait, cela est réfutable. Un mécanisme simple ne peut conduire au cerveau. Je pense que les éléments de base de l'Univers sont simples. La force de vie est un élément primitif de l'Univers et elle obéit à certaines lois d'action. Ces lois ne sont ni simples ni mécanistiques. Le darwinisme n'envisage pas des lois holistiques mais repose sur des particules et des lois simples. Or, la complexité des organismes vivants doit être présente dans les éléments de base ou dans les lois². »

On retrouve ici l'idée selon laquelle les mécanismes d'essai et d'erreur ne peuvent donner que des structures d'une complexité moyenne. Comme les éléments de base sont simples, c'est donc qu'il doit exister des lois de l'évolution autrement plus complexes que celles actuellement connues.

Gödel était totalement dualiste, et là aussi, il s'agit pour lui d'une question empirique, donc prouvable : « L'esprit et la matière sont deux choses différentes. [...] C'est une possibilité logique que l'existence d'un esprit séparé de la matière soit une question testable. [...] Il se pourrait qu'il n'y ait pas assez de cellules nerveuses pour accomplir toutes les fonctions de l'esprit³. »

En fait, Gödel est très cohérent ; il cherche à faire en biologie et en neurologie ce qu'il a fait en logique : bâtir un théorème montrant l'incomplétude des approches réductionnistes.

Son « credo » montre également que Gödel croyait en la vie après la mort. Voici son raisonnement : « Le monde n'est pas chaotique et arbitraire mais, comme le montre la science, la plus grande régularité et le plus grand ordre règnent partout. L'ordre est une forme de rationalité. La science moderne montre que

1. *Ibid.*, p. 192.

2. *Ibid.*, p. 192-193.

3. *Ibid.*, p. 191.

notre monde, avec toutes ses étoiles et ses planètes, a eu un commencement et aura très probablement une fin. Pourquoi alors ne devrait-il y avoir que cet unique monde ici ? Puisqu'un jour, nous sommes apparus dans ce monde sans savoir ni comment, ni pourquoi, la même chose peut se produire dans un autre monde de la même manière. Si le monde est arrangé de manière rationnelle et a une signification, il doit y avoir une autre vie. À quoi cela servirait-il de produire une essence (l'être humain) qui ait un si grand nombre de possibilités de développement individuel et d'évolution dans leurs relations, mais à qui on ne permettrait jamais d'en réaliser que le millième d'entre elles ? Ce serait comme établir les fondations d'une maison en se donnant beaucoup de mal, puis laisser le tout se détruire¹. »

Ainsi pour Gödel, il est *logique* de déduire de l'observation du monde que l'essentiel de notre développement s'effectuera après la mort.

Si Gödel était très critique envers *les* religions, il considérerait néanmoins *la* religion positivement, faisant sans doute ainsi référence à la possibilité d'établir une synthèse théologique utile à l'humanité comme celle qu'il a essayé de bâtir.

« Je crois qu'il y a dans la religion beaucoup plus de raisons que l'on ne le croit habituellement, alors qu'il n'y en a pas dans les églises, mais nous fûmes formés dès notre plus jeune âge à avoir un préjugé contre elles par l'école, par un enseignement religieux déficient, par des livres et nos expériences. Par exemple, d'après le dogme catholique, Dieu, dans son immense bonté, a créé la grande majorité des êtres humains – à savoir tous, sauf les bons catholiques – exclusivement dans le but de les envoyer en enfer pour l'éternité. De plus, quatre-vingt-dix pour cent des philosophes d'aujourd'hui considèrent que leur tâche principale est de chasser la religion de la tête des gens, produisant ainsi les mêmes effets que les mauvaises églises². »

Néanmoins, ne croyez pas que Gödel voulait créer une nouvelle religion. Il considérerait ses efforts de rationalisation de la religion comme « rien d'autre qu'une présentation intuitive et une "adaptation" à notre mode de pensée actuel de certains enseignements théologiques, prêchés depuis deux mille ans, mais qui ont été mélangés à beaucoup de bêtises³ ».

1. Hao Wang, *Kurt Gödel*, Armand Colin, 1990, p. 214.

2. *Ibid.*, p. 216.

3. *Ibid.*

Si toutes ses idées sont argumentées, elles n'en restent pas moins des spéculations. Revenons à l'essentiel. Ce que Gödel a démontré, c'est la transcendance de la vérité par rapport à la notion de démonstration et le fait que nous puissions avoir accès à des vérités non démontrables dans un système donné. Cela donne une grande crédibilité à tous ceux qui disent avoir été en contact direct, hors de toute démonstration, avec un « monde des vérités mathématiques ». Et permet de penser qu'il existe bien une voie rationnelle (et même ultrarationnelle) permettant de rentrer en contact avec le monde de l'esprit.

Vous vous demandez certainement comment Gödel a pu faire cela ? La démonstration de Gödel est trop complexe pour prendre place dans ce livre¹. Le mieux est de se reporter à la version qu'en donne Penrose, la plus accessible que je connaisse².

Nous pouvons en conclure que le dualisme, c'est-à-dire l'idée que la conscience n'est pas produite par le cerveau, reçoit le soutien de l'existence probable d'un lien entre l'esprit humain et le monde « éternel » des vérités mathématiques. Si ce contact existe, il est bien plus probable qu'il soit possible à cause du fait que la conscience n'est pas en totalité immergée dans l'espace et le temps, comme le montrent les expériences de Libet, plutôt que parce qu'une conscience « produite par le cerveau » aurait (comment ?) trouvé le chemin d'un tel contact.

1. Voici une indication de la façon dont Gödel procède. Dans un système d'axiomes dont on peut montrer qu'il est cohérent (ce qui veut dire qu'on ne peut en déduire de proposition incohérente), il parvient à bâtir une proposition qui dit qu'il n'existe pas de démonstration d'elle-même appartenant au système en question. Cela est vrai (car si une telle démonstration existait, le système serait incohérent car il contiendrait une contradiction)... mais justement non démontrable dans le système en question. Et dans *tout* système, on pourra bâtir une proposition de ce type dont nous saurons (intuitivement) qu'elle est vraie, mais qui ne sera pas démontrable dans le système concerné.

2. Roger Penrose, *Les ombres de l'esprit*, op. cit., p. 66-68.

Qui sommes-nous ?

Partant d'observations montrant que des lésions cérébrales peuvent modifier la personnalité et le comportement d'un être humain, la plupart des spécialistes du cerveau pensent que la conscience est produite par l'activité neuronale.

Un certain nombre d'expériences semblent réfuter la correspondance exacte entre les phénomènes neuronaux et les phénomènes mentaux.

D'autres expériences indiquent que nous possédons un libre arbitre (au moins partiellement) et que la question du sens de nos actes est fondamentale pour nous.

Certaines expériences semblent montrer que le temps de la conscience ne s'identifie pas au temps des neurones, voire que la conscience peut « jouer » avec le temps.

Il existe de nombreuses théories de la conscience, certaines très réductionnistes, d'autres fondées sur la notion d'émergence, mais aucune ne semble en mesure d'apporter une réponse à ces problèmes et aucune ne semble devoir s'imposer même à titre d'hypothèse.

Des problèmes fondamentaux restent à expliquer. Le principal est le fossé qui sépare les phénomènes physiques qui caractérisent l'activité neuronale des sensations subjectives que nous éprouvons.

De nombreux mathématiciens affirment que leur esprit peut, d'une façon ou d'une autre, entrer en contact avec « un monde des objets mathématiques ».

Parmi ces mathématiciens, Kurt Gödel a démontré, grâce à son célèbre théorème d'incomplétude de la logique, que nous pouvions percevoir la vérité de certaines propositions sans que celles-ci soient démontrables, ce qui suggère que nous pourrions avoir une perception « directe » de certaines vérités.

Tout cela conduit à penser que l'esprit qui nous anime n'est pas uniquement un produit de l'activité neuronale, même s'il ne peut pas s'exprimer sans l'aide de celle-ci. Le dualisme redevient une hypothèse acceptable, et cela au strict plan de la rationalité scientifique, surtout depuis que des modèles montrant comment l'esprit pourrait agir sur le cerveau sans violer les lois physiques ont été élaborés.

VI

Conclusion

Une nouvelle approche de la science

« Par opposition au scientisme dominant de la fin du XIX^e siècle, on voit aujourd'hui de nombreux scientifiques, forts de ces nouvelles hypothèses ou de ces nouvelles théories, orienter la science vers un autre ordre de réalité, considéré désormais non plus comme concurrent mais comme complémentaire de son domaine. »

Jean-Marie Pelt

Nous voici donc parvenus au bout de cet extraordinaire voyage qui nous a fait traverser les sciences de la matière, de l'univers, de la vie, de la conscience, et même la logique et les mathématiques.

Comme je vous l'avais promis, nous avons accompli ce voyage avec un minimum de présupposés philosophiques et religieux. Nous sommes à chaque fois partis des faits et seulement des faits. Pas de tous les faits, bien sûr, mais de ceux qui paraissaient les plus importants pour la question que nous nous posons : « L'Univers et notre existence ont-ils un sens, s'inscrivent-ils dans un projet quelconque ? »

Nous avons vu de très nombreuses interprétations de ces faits. Certaines d'ordre strictement scientifique – donc se situant à l'intérieur de la science –, d'autres relevant de la philosophie des sciences. Nous avons analysé toutes les principales positions en présence et avons dégagé à chaque fois celles qui nous semblaient les plus crédibles.

Que pouvons-nous conclure de tout cela ?

L'émergence d'un nouveau paradigme

Il s'est passé au XX^e siècle quelque chose d'inouï, d'inégalé depuis cinq cents ans, depuis le passage du monde magique du Moyen Âge à celui de la modernité, *via* la Renaissance : l'émergence d'un nouveau paradigme (cf. pages 39-41 pour cette notion) ayant une influence sur *tous* les grands domaines de la connaissance.

— En astrophysique, les notions de temps et d'espace éternel et infini de Newton ont été remplacées par la relativité du temps et de l'espace d'Einstein – relativité qui portait en elle les germes de la théorie du big bang, qui a elle-même engendré le principe anthropique.

— En physique, le déterminisme de Laplace, qui stipulait que l'on pouvait, en théorie, connaître tout le futur de l'Univers à partir de la connaissance des forces de la nature et de la position des objets qui la composent, a été remplacé par le principe d'incertitude d'Heisenberg selon lequel il est impossible de connaître tout à la fois la position et la vitesse d'*une seule* particule.

— En mathématiques, le programme de Hilbert – « solution finale » au problème de fondements de la logique – a été remplacé par le théorème d'incomplétude de la logique de Kurt Gödel, qui implique que, au cœur même des mathématiques, des vérités peuvent être perçues avec certitude sans pour autant être démontrables.

— En chimie, les idées classiques d'étude de l'équilibre d'un Marcellin Berthelot ont été remplacées par la thermodynamique du non-équilibre développée par Ilya Prigogine, par les notions de « bifurcation », d'effet papillon, qui débouchent sur l'imprédictibilité de certains phénomènes macroscopiques.

— En neurologie, l'« homme neuronal » de Changeux a été mis à mal par les expériences de Libet sur l'antédatage de la perception et sur l'existence d'un libre arbitre exerçant un « droit de veto » sur les processus commencés inconsciemment par le cerveau.

— Les conceptions darwiniennes selon lesquelles l'évolution serait un phénomène purement contingent, puisque fondée uniquement sur des mutations aléatoires triées par la sélection naturelle, sont remises en cause par des approches de l'évolution

comme celles de Conway-Morris, Denton ou de Duvé au sein desquelles le hasard est « canalisé » par une structuration des lois physiques et biologiques dont la découverte n'est pas encore achevée. Ces approches donnent une crédibilité nouvelle à la conception platonicienne selon laquelle les grandes familles d'êtres vivants sont inscrites dans les lois de la nature comme la structure des cristaux de neige ou les structures des protéines.

Le tableau suivant montre l'ampleur des bouleversements que nous sommes *en train* de vivre :

| Paradigme classique | Paradigme nouveau |
|---------------------|-----------------------|
| Newton | Einstein |
| Laplace | Heisenberg |
| Hilbert | Gödel |
| Berthelot | Prigogine |
| Changeux | Libet, Sperry |
| Darwin | Denton, Conway-Morris |

Pour bien prendre conscience du caractère exceptionnel de ce changement de paradigme, notons que James Lighthill, président de l'Union internationale de mécanique pure et appliquée, s'est excusé au nom de ses collègues du fait que son association ait propagé pendant trois siècles l'idée fausse que les systèmes newtoniens étaient déterministes¹. On doit toujours s'excuser de s'être trompé un jour, mais s'excuser pour trois siècles d'erreur...

Cet événement sans précédent depuis cinq cents ans n'a pas qu'un intérêt théorique ou philosophique. Il ne peut manquer d'avoir des implications sociologiques considérables.

Au XIV^e siècle, la plus dramatique épidémie de peste de tous les temps tua en quelques années un quart de la population européenne. On peut imaginer le traumatisme de ceux qui y survécurent. Pour eux, ils venaient de vivre un événement inouï, qui marquerait à jamais l'histoire de l'humanité.

1. Cité par Ilya Prigogine, *L'homme face à la science*, sous la direction de Jean Staune, Critérion, 1992, p. 28.

CONCLUSION

Pourtant, aujourd'hui, seuls quelques spécialistes évoquent cet événement.

En revanche, tout le monde ou presque connaît les noms de Copernic et de Galilée. Cela nous montre que, dans l'histoire humaine, les vraies révolutions sont les changements de vision du monde et non pas des événements contingents – si terrifiants soient-ils – tels que des épidémies de peste ou des guerres mondiales.

C'est la raison pour laquelle Ortoli et Pharabod, en évoquant la révolution quantique, (qui n'est elle-même qu'une partie – certes la plus solide – de cette nouvelle vision du monde), ont-ils osé écrire : « Les révolutions républicaines, marxistes, islamiques et autres risquent d'apparaître un jour insignifiantes face à la révolution quantique. Notre organisation socio-politique et nos modes de pensée ont été ou vont être bouleversés davantage peut-être que par tout autre événement¹. »

Voilà également pourquoi des physiciens ont pu dire, comme nous l'avons vu au chapitre 4, que dans mille ans, la démonstration de l'existence de la non-localité au XX^e siècle sera un événement plus important dans la mémoire collective de l'humanité que les deux guerres mondiales !

Mais une question se pose tout de suite : quelle solidité a la synthèse que je viens d'effectuer ? N'est-elle pas une illusion ?

Pour y répondre, il est important de rappeler que tous les faits sur lesquels nous nous fondons ont été publiés dans des revues qui font autorité et que toutes les interprétations citées ont été développées par des scientifiques de renom s'exprimant dans leur domaine (et non, par exemple, par des physiciens parlant de la conscience ou des astrophysiciens parlant de la biologie, comme c'est souvent le cas).

Cela donne à cette démarche un poids infiniment supérieur à celui d'une synthèse qui ferait la même critique des conceptions de la science classique à partir de l'astrologie, de la parapsychologie (même d'ordre scientifique, car nous avons vu que quelques résultats de parapsychologie ont été publiés dans des revues qui font référence), de la médecine « énergétique », des visions des chamanes et de toute une série de faits stupéfiants mais totalement invérifiables².

1. Sven Ortoli et Jean-Pierre Pharabod, *Le cantique des quantiques*, op. cit., p. 120.

2. Un bon exemple de telles démarches non rationnelles se trouve dans l'ouvrage de Louis Pauwels et Jacques Bergier, *Le matin des magiciens*.

Toute comparaison entre ces deux démarches est impossible (et serait profondément malhonnête) car l'une et l'autre ne se situent pas dans le même monde.

Cela dit, ce qui est publié dans une revue de référence n'est pas toujours vrai et, bien entendu, les interprétations des scientifiques sont souvent erronées. Vu le grand nombre d'idées, de théories, de concepts, présentés ici, nous pouvons être sûrs que certains se révéleront faux. Mais il est impossible que l'ensemble des faits et des théories sur lesquels repose la synthèse présentée ici se révèle être une illusion. Lorsque l'on analyse les révolutions qui ont été présentées dans les six domaines du tableau de la page 437, on se rend compte que leur solidité respective peut varier de façon importante :

— Les plus solides sont la physique quantique, le théorème de Gödel et la théorie du chaos. On ne pourra jamais connaître la position et la vitesse d'une particule en même temps, ni avoir un système d'axiomes à la fois complet et cohérent, ni même prédire avec exactitude le temps qu'il fera dans un mois.

— Il paraît impossible que soit remis en cause que l'Univers était très petit, très chaud et très dense il y a treize à quinze milliards d'années (ce qui constitue l'essence de la théorie du big bang). Mais nous avons vu que, dans ce domaine, les choses sont loin d'être claires – c'est le cas de le dire ! – avec l'existence de la matière noire, de l'énergie noire, voire des univers parallèles. Des bouleversements importants peuvent donc se produire, bouleversements susceptibles de modifier certaines des implications philosophiques que nous avons tirées de cette discipline.

— Quoiqu'elles aient été réalisées de façon très rigoureuse et publiées dans des journaux de référence, les expériences clés permettant de déconstruire la vision d'un « homme neuronal n'ayant plus rien à faire de l'esprit » ne l'ont été que de rares fois par de rares personnes. Il s'agit là de leur faiblesse. Et il faudra sans doute des années pour qu'elles soient refaites maintes fois à cause de leur difficulté technique et pour des raisons idéologiques, les présumés de la grande majorité des chercheurs de la discipline obéissant à des conceptions très différentes (pour les raisons décrites pages 44-45 et rappelées ci-après par Ortoli et Pharabod).

— L'idée d'une évolution orientée ou canalisée, d'une façon ou d'une autre, vers un but, est certainement le moins établi de l'ensemble des éléments sur lesquels repose cette synthèse. Quels que soient les arguments en faveur d'une nouvelle théorie de l'évolution, nous ne pouvons pas être certains de l'inexactitude

des conceptions darwiniennes. Alors que nous pouvons être assurés que les conceptions de Newton, Laplace, Hilbert (et même sans doute celles de Changeux et Crick en neurologie) ne sont plus des descriptions scientifiques adéquates de leurs domaines respectifs, il n'y a pas des expériences décisives nous permettant de rejeter les conceptions darwiniennes. Et peut-être ne les aurons-nous jamais, bien que nous ayons vu que le progrès des simulations théoriques nous offrait une voie dans cette direction. Nous n'avons jamais assisté à la naissance d'un nouveau plan d'organisation (seulement à des microévolutions banales à caractère totalement darwinien) et peut-être n'en aurons-nous jamais l'occasion.

Ma démarche illustre par sa structure même le credo non réductionniste qu'elle cherche à démontrer : « Le tout est plus que la somme de ses parties. »

La force de mon argumentation provient de la « masse critique » que constituent toutes les données rassemblées ici. La dimension profondément interdisciplinaire de cette démarche¹ fait que les thèses avancées se renforcent les unes les autres ; et c'est quelque chose qu'on ne peut comprendre que lorsqu'on a pris connaissance de toute la démarche, comme c'est le cas ici.

Pourquoi, par exemple, suis-je sûr que la biologie connaîtra une grande révolution conceptuelle alors que la grande majorité des biologistes ne l'envisagent même pas ?

Tout simplement parce que, comme le disent Ortolí et Pharabod², la plupart des biologistes ont une vision « assez primitive » de la réalité, vision déjà réfutée dans un domaine sur lequel, en dernière analyse, repose la biologie.

De plus, l'histoire des sciences montrant un décalage d'au moins un siècle entre les progrès réalisés au sein du domaine des sciences de la vie et ceux accomplis au sein des sciences de l'univers (voir pages 44-46 pour ce point), nous pouvons en conclure qu'une révolution doit bientôt se produire dans le premier domaine, et que comme Newton, Darwin aura son Einstein.

1. Dans notre monde de spécialisation à outrance, des démarches comme celle-ci sont rares. Mentionnons néanmoins ceux dont la démarche paraît s'en approcher, bien que ces dernières soient de nature très différente selon les auteurs : Trinh Xuan Thuan (*Le chaos et l'harmonie, op. cit.*), Ian Barbour (*Quand la science rencontre la religion*, Éditions du Rocher, 2005), Ervin Laszlo (*Aux racines de l'univers*, Fayard, 1992).

2. Voir page 100.

Mais, bien entendu, nous ne pouvons être sûrs de la direction que prendra cette révolution, ni, entre autres, du crédit qu'elle donnera au concept d'une évolution répétable et/ou orientée.

De tout cela, nous pouvons conclure que la synthèse présentée ici est solide. Qu'il est improbable qu'elle soit entièrement exacte, mais qu'il est encore plus improbable que l'image globale qui s'en dégage soit remise en cause. Que nous sommes bien en train de vivre un changement essentiel de vision du monde dont il importe maintenant d'étudier deux grandes caractéristiques (parmi beaucoup d'autres que nous n'avons pas la place de traiter ici).

La voie de l'incomplétude : je sais pourquoi je ne sais pas

Il n'aura pas échappé au lecteur qu'une grande partie de ce nouveau paradigme repose sur des notions comme l'*incertitude*, l'*incomplétude*, l'*imprédictibilité*, etc. On pourrait en déduire qu'il repose sur notre ignorance et non sur des connaissances – et donc que nos conclusions sont peu solides¹. Or, en réalité, c'est exactement *le contraire* !

En effet, nous sommes face à un bouleversement épistémologique de grande ampleur : désormais, nous savons parfaitement et avec une grande précision *pourquoi* nous ne saurons jamais certaines choses². Nous savons de façon extrêmement précise et scientifique pourquoi nous ne connaissons jamais en même temps la position et la vitesse d'une particule, (principe d'incertitude de Heisenberg), pourquoi nous n'aurons jamais de système logique à la fois complet et cohérent (théorème de Gödel), pourquoi nous ne prédirons jamais avec exactitude le temps qu'il fera dans un mois (théorie du chaos).

Si étonnant que cela puisse paraître, il s'agit donc d'un progrès de nos connaissances et non d'une régression de celles-ci. Qu'il soit possible de montrer les limites de la science de l'intérieur de la science et non pas depuis l'extérieur est une victoire pour la méthode scientifique et pour la rationalité.

Mais cela nous amène à renoncer au projet qui était au cœur même de la science « classique ». Comme le dit Jean Fourastié,

1. C'est ce que les Anglo-Saxons appellent « *The God of the gaps* », « le Dieu bouche-trou » : on ne comprend pas ce phénomène, donc Dieu en est à l'origine.

2. Je dois à Adrian Wyard, concepteur du logiciel Word de Microsoft, d'avoir compris cela à la suite d'une de ses interventions au colloque Essat de 1998.

CONCLUSION

« la science du XIX^e et du début du XX^e siècle reste ainsi dominée non seulement par l'espoir, mais par la certitude d'expliquer tout le réel par le réel¹ ».

Or non seulement la science a *démontré* au cours du XX^e siècle qu'elle ne pourra jamais « dévoiler » le réel en totalité, mais en plus – si l'on entend par « réel » le niveau de réalité dans lequel nous vivons, celui que l'on peut mesurer, voir, toucher, sentir, celui qui est situé dans le temps, l'espace, la matière et l'énergie –, la science nous démontre (à cause de phénomènes comme la non-localité) qu'il n'est pas ontologiquement suffisant, qu'il ne peut pas s'expliquer entièrement par lui-même, puisque des phénomènes qui relèvent d'un autre niveau de réalité peuvent l'influencer causalement.

Jean-François Lambert est, à ma connaissance, celui qui a le mieux développé et synthétisé cette approche de l'incomplétude au cours des dernières années, en ajoutant aux faits mentionnés ici l'incomplétude du langage de Wittgenstein et l'approche de l'inconscient de Lacan :

« Il apparaît à l'évidence que tant l'étude du langage (Wittgenstein) ou celle de la logique (Gödel) que celle de la structure de la matière (Heisenberg) ou de l'inconscient (Lacan) débouchent sur le même constat d'incomplétude, le même horizon d'indécidabilité. La même impossibilité à limiter le vrai à la totalité de ce qui peut être dit, formellement démontré ou immédiatement mesuré. Tout ce qui précède conduit au même constat : ça échappe. Reconnaître que quelque chose est formalisable, c'est aussi reconnaître que quelque chose de cette chose échappe nécessairement, la formalisation serait impossible si elle n'impliquait pas que quelque chose échappe. Tout ensemble de traces (toute écriture, tout langage, tout système formel, toute mesure) suppose un "insu" qui, précisément, ne laisse pas de trace mais se manifeste dans les blancs de l'écriture. Le socle même de l'écriture ne peut s'écrire comme le socle du langage ne peut se dire, comme le socle de la logique formelle ne peut se formaliser. Bien que ne pouvant ni s'écrire ni se dire, le fondement se montre dans l'acte de parole ou d'écriture². »

1. Jean Fourastié, *op. cit.*, p. 123.

2. Jean-François Lambert, « L'incomplétude, un nouveau paradigme », *Revue III^e millénaire*, n° 37, 1995, p. 33-35 et p. 50-53. Jean-François Lambert est l'auteur de nombreux articles mais n'a pas encore pu écrire un ouvrage de synthèse sur ses idées, ouvrage que nous attendons avec impatience vu l'importance et la profondeur de ses thèses.

Le dépassement du matérialisme méthodologique

Au moins deux des domaines que nous avons abordés (le principe anthropique et l'évolution) évoquent des questions relatives à l'existence d'une finalité dans l'Univers.

Nous avons vu que de très nombreux scientifiques y voient là un crime de lèse-science et repoussent avec horreur toute allusion de ce type. Mais avant d'avoir un tel réflexe pavlovien, ont-ils bien réfléchi à ce qu'était la science ?

Le *Robert* donne plus d'une dizaine de définitions, de la plus large (« connaissance exacte et approfondie ») à la plus réductrice, dont il nous dit qu'elle ne date que du XIX^e siècle (« ensemble de connaissances d'une valeur universelle, caractérisé par un objet et une méthode déterminée, fondé sur des relations objectives vérifiables »).

Nulle part n'est précisé que la science se limite à l'étude des phénomènes ayant des causes naturelles ou matérielles. Bien des fondateurs de la science moderne, au premier rang desquels Newton et Kepler, auraient sans doute défini la science comme « l'étude des lois que Dieu a utilisées pour créer le monde ».

Dire devant un phénomène « Dieu en est la cause » est une attitude qui a fait prendre des siècles de retard à l'humanité. Mais ce « matérialisme méthodologique » (ou ce naturalisme méthodologique), s'il est absolument essentiel dans la pratique quotidienne de la science, ne constitue en rien un pilier structurel de la science, c'est un simple usage que l'on pourrait être amené à abandonner comme l'explique le prix Nobel Christian de Duve, dans un texte consacré à la critique... de *l'Intelligent Design* : « La science est fondée sur le naturalisme, notion selon laquelle toutes les manifestations ayant cours dans l'Univers sont explicables par l'intermédiaire des lois connues de la physique et de la chimie. Cette notion représente la pierre angulaire de l'entreprise scientifique. Et nous pouvons fermer nos laboratoires si nous n'y souscrivons pas ! Si nous partons de l'hypothèse selon laquelle ce que nous étudions n'est pas explicable, nous éliminons la recherche scientifique en elle-même. Contrairement à l'opinion exprimée par certains scientifiques, cette nécessité logique n'implique pas que le naturalisme doive être accepté comme un *a priori* philosophique, une doctrine ou une croyance. Tel qu'employé en

science, il s'agit d'un postulat, une hypothèse de travail souvent qualifiée de naturalisme méthodologique par des philosophes pour cette raison, postulat que nous devrions être prêts à abandonner si nous étions confrontés à des faits ou à des événements qui défient chaque tentative d'explication d'ordre naturaliste¹. »

L'article « *Message in the sky*² » mentionné pages 168-169, fournit une illustration parfaite (théorique bien sûr) des propos de Christian de Duve, concernant l'éventualité de devoir renoncer un jour au matérialisme méthodologique³.

Mais le matérialisme méthodologique est d'autant moins une « figure imposée », un fondement incontournable de la science, que, pour son développement, l'une des principales disciplines de notre temps s'en passe totalement, comme le dit Bernard d'Espagnat :

« Le "matérialisme méthodologique" [...] est-il véritablement un présupposé de la recherche indispensable au développement de quelque discipline que ce soit ? Ici, je prétends qu'il n'en est rien. Il y en a une, et non des moindres, qui a échappé à la règle, c'est la physique quantique. On peut certes ne pas partager les vues de Niels Bohr. Mais il est factuellement vrai que Bohr et ses élèves furent à l'origine des développements de la physique du XX^e siècle, qui se sont avérés, en tous domaines, les plus féconds. Aucun physicien ne niera ce fait historique. Or, selon Niels Bohr, un instrument de mesure doit être considéré comme obéissant à la physique classique (par opposition à "quantique"), non du tout en vertu des ses propriétés physiques, mais seulement en raison du fait qu'il nous sert à nous, d'instrument. De plus, alors que le choix (humain) de cet instrument définit, entre autres conditions expérimentales, celles qui déterminent quels types de prédictions l'on pourra ultérieurement faire, ces dernières conditions sont, selon Bohr, "un élément inhérent à la description de tout phénomène auquel le terme de *réalité physique* peut être attaché" (*Physical Review* 48, 1935). Il serait absurde de qualifier

1. *Science et quête de sens*, sous la direction de Jean Staune, Presses de la Renaissance, 2005, p. 55.

2. Steven Hsu, Antony Zee, « *Message in the sky* », *Physics* (arxiv.org/abs/physics/0510102).

3. Le philosophe Bradley Morton a développé la même idée mais son exemple est moins convaincant (un signal qui viendrait d'un quasar) car son origine pourrait être une civilisation hyper-avancée et non le créateur de l'Univers. Avec « *Message in the sky* », seul le créateur de notre Univers peut en être l'auteur.

de matérialiste, même sur le seul plan méthodologique, une conception de ce genre selon laquelle, comme on le voit, en tant qu'objet de science, la "réalité physique" est un phénomène auquel l'action et l'expérience humaines sont "inhérentes". Il faut en dire autant des vues de Heisenberg, de Pauli, de Bohm, bref des principaux artisans de la physique de notre temps¹. »

Si les matérialistes acceptent bien évidemment que l'on conteste le matérialisme philosophique, ils érigent cependant le matérialisme méthodologique en principe absolu, accusant tous ceux qui voudraient « découpler » le matérialisme méthodologique et la science de proposer un retour aux périodes abominables de l'obscurantisme préscientifique !

Pourtant, nous venons de voir que cette fusion du matérialisme méthodologique et de la science ne tenait *ni sur le plan théorique ni sur le plan factuel*. Cela est d'une grande importance non pas uniquement sur les plans philosophique et théologique mais sur le strict plan scientifique. En effet, si l'on accepte de séparer (ne serait-ce que dans des cas très limités) le matérialisme méthodologique et la science, alors toute une série de recherches nouvelles (porteuses de résultats potentiels d'une grande richesse) deviennent possibles alors qu'elles sont considérées aujourd'hui comme taboues car contredisant le sacro-saint matérialisme méthodologique.

Ainsi, dans les sciences de la conscience, des milliers de témoins décrivent des « expériences aux frontières de la mort » dont certains aspects suggèrent des « sorties du corps » susceptibles de confirmer définitivement le dualisme. Voilà pourquoi l'un des grands expérimentateurs en neurosciences de ce siècle, Benjamin Libet, envisage sérieusement un protocole pour prouver la réalité de la sortie du corps rapportée par les témoins². C'est là l'attitude d'un savant, d'un homme qui, à partir du moment où il a des indices intéressants, ne se laisse pas détourner de sa démarche par des *a priori* idéologiques. Ce sont ceux qui se moqueraient de lui qui auraient une attitude anti-scientifique.

Si de telles expériences, cruciales pour la compréhension de la nature humaine, n'ont pas encore été réalisées de façon sérieuse,

1. Bernard d'Espagnat, « Le matérialisme en question », *Le Monde*, 17 avril 2006.

2. Benjamin Libet, *Mind time*, *op. cit.*, p. 216-219.

CONCLUSION

c'est bien à cause du frein que constitue l'« absolutisation » du matérialisme méthodologique.

Ce nouveau paradigme, qui a renversé la plupart des certitudes établies de la science classique, débouche sur une nouvelle approche – paradoxale – de la science : une science *à la fois* « consciente de ses limites » et capable de traiter des questions qui semblaient hors de son domaine, car elle a abandonné certains des *a priori* qui l'empêchaient de le faire auparavant¹.

Ainsi, à notre niveau de réalité, la science a restreint ses prétentions. Elle sait qu'elle ne pourra jamais tout expliquer ni même connaître en même temps la vitesse et la position d'une seule particule. Et, dans un même mouvement, elle s'ouvre à d'autres dimensions en rejetant les tabous qui l'empêchaient d'étudier les questions relatives à la finalité, au sens de l'Univers, voire à l'existence d'entités non matérielles (comme les esprits) ayant un effet sur notre niveau de réalité.

Bien entendu, la diffusion de cette grande révolution conceptuelle vient à peine de commencer dans notre société. À l'époque d'Internet, où la diffusion « horizontale » de l'information est instantanée (en quelques minutes, on est informé de l'existence d'une catastrophe à l'autre bout de la terre), il est important de prendre conscience du fait que la diffusion « verticale » de l'information (celle qui porte sur les fondements de notre vision du monde) prend encore presque un siècle. Contribuer à l'accélérer est l'un des objectifs de cet ouvrage.

Voyons maintenant ce que cela implique pour la réponse à la « question la plus importante qui existe ».

1. « Pour une science sans *a priori* » est un texte collectif rédigé par des scientifiques proches de l'UIP (Université interdisciplinaire de Paris), publié par *Le Monde*, le 23 février 2006. Il soutient qu'il est nécessaire de s'intéresser aux implications métaphysiques et philosophiques de la science. « Pour une science consciente de ses limites » est un contre-article collectif publié par *Le Monde* le 5 avril 2006, regroupant des scientifiques proches de mouvements défendant le matérialisme. Ces questions, sur lesquelles je présente ici mon opinion, ont donné lieu à un grand débat en France en 2006, voir : www.staune.fr/naturedelascience.

Science et sens, raison et religion

« Nous pouvons renoncer à la vision mécaniste du Monde. La métaphysique de l'objet est périmée. À nouveau et avec joie, nous pouvons poser en toute légitimité la question de l'Être. »

Bernard d'Espagnat

L'Hiroshima du matérialisme scientifique

Reprenons la liste des bouleversements que nous avons décrits au début du chapitre 16 et regardons leurs conséquences sur le matérialisme – du moins sur celui qui a la prétention de s'appuyer sur l'objectivité qu'apporte la démarche scientifique.

— L'affirmation classique « tout est matière » n'a plus de sens sur le plan scientifique. Non seulement les fondements des objets se sont « dissous » – en quelque sorte – au point que Banesh Hoffmann a pu écrire, comme nous l'avons vu, que les protons, les électrons ne sont pas localisés dans l'espace et le temps (même quand ils constituent des objets qui, eux, sont localisés !) et peuvent passer à travers des murs. Mais, en plus, la réalité est non locale et si l'on veut être réaliste (position courante pour un matérialiste), il semble bien qu'il faille postuler avec Bernard d'Espagnat « un réalisme non physique » de type platonicien.

— Alors qu'on ne s'y attendait nullement à la suite de siècles durant lesquels la cosmologie avait déconstruit toutes les visions religieuses anthropocentriques, des recherches de pointe en astrophysique ont introduit à l'intérieur de la science la question (mais pas la réponse, car on peut toujours imaginer qu'il existe une infinité d'univers parallèles) de la finalité et de l'existence d'un Dieu, d'un principe créateur, d'un Grand Architecte (appelez-le comme

le voulez) faisant ainsi voler en éclats un tabou et contribuant à découpler la science et le matérialisme méthodologique (et non pas seulement la science et le matérialisme philosophique), ce que la physique quantique avait déjà commencé à faire.

— L'ennemi absolu du matérialisme, le dualisme – la conception selon laquelle un esprit séparé de la matière peut exister –, redevient crédible depuis que la physique quantique a montré qu'une dimension non physique de la réalité pouvait exister et interagir avec la nôtre et depuis que Beck et Eccles ont développé un modèle théorique montrant que cette interaction pouvait exister sans violer aucune des lois de la physique. Mais, de plus, le dualisme apparaît comme la meilleure explication et la direction de recherche la plus féconde du fait, entre autres, des expériences de Libet.

— Le « paradigme même de la rationalité classique » (l'idéal d'axiomatisation) a été anéanti par le théorème de Gödel qui, en renforçant une conception platonicienne de la vérité en mathématiques, apporte une forte crédibilité aux témoignages des grands mathématiciens disant qu'ils sont en contact avec un « monde des mathématiques » qui n'est pas une création de leur esprit.

— L'idée d'une évolution orientée, canalisée, ou pouvant se répéter, développée respectivement par Denton, Conway-Morris ou C. de Duve, donne une crédibilité scientifique à des intuitions comme celle de Teilhard de Chardin, qui avancent que la contingence ne règne pas en maître dans le domaine de la biologie et qu'un être pourvu d'une conscience de lui-même devait apparaître, que nous étions en quelque sorte « attendus », voire que les « nœuds » du grand arbre de la vie sont « prédéterminés depuis le big bang¹ ».

Sincèrement, je n'aimerais pas être à la place des matérialistes aujourd'hui. Car c'est la science, et elle seule – elle qui devait être leur meilleur et plus fidèle allié dans la lutte contre toute forme de spiritualisme – qui a dévasté comme une tornade le paysage du matérialisme. Tous ses fondements se sont écroulés... à l'exception du darwinisme. Comme nous l'avons vu au chapitre précédent, il n'existe pour l'instant ni test ni expérience permettant de réfuter véritablement le darwinisme.

On peut donc comprendre pourquoi les matérialistes s'y attachent avec, parfois, l'énergie du désespoir. Parce que c'est en effet tout ce qui leur reste. Bien que rongé de différents côtés, le darwinisme demeure debout, alors qu'autour de lui tout s'est écroulé. La

1. Voir Simon Conway-Morris, *Life's solution*, op. cit., p. 310.

phrase précédente m'a fait penser à une image, celle d'Hiroshima après la bombe. Un seul et unique bâtiment, en ruine mais tenant fermement debout (au point qu'il a été conservé) dominait un paysage dévasté (cf. figure 17.1). Renseignement pris, ce bâtiment était... le musée des Sciences et Techniques d'Hiroshima, dont on peut imaginer qu'à la suite des réformes de l'ère Meiji, il présentait une vision très classique de la science. J'y ai vu une belle allégorie de la situation du scientisme et du matérialisme scientifique en ce début de III^e millénaire.



Figure 17.1.

© Corbis.

La situation du scientisme et du matérialisme scientifique aujourd'hui : un seul bâtiment tient encore debout (tout en étant fortement endommagé) : le darwinisme. Les autres ont simplement disparu.

Je ne veux pas dire par cette métaphore que le matérialisme est anéanti. Aujourd'hui, Hiroshima est une ville florissante de plusieurs millions d'habitants ! Ce que je veux dire, c'est que s'il veut rester crédible, le matérialisme doit se reconstruire presque entièrement. Comme le disaient Ortolí et Pharabod, le matérialisme est encore possible, mais sous la forme, qui reste à élaborer, d'un matérialisme « de science-fiction... ».

Quelles sont les réactions des matérialistes ? Elles sont de nature très diverse :

— Se boucher les yeux et les oreilles, affirmer que tout va bien pour le matérialisme, que l'heure à laquelle le spiritualisme apparaîtra comme une illusion est proche et que les bouleversements actuels, loin d'être de légitimes débats à propos des progrès de nos connaissances, sont d'inacceptables « intrusions spiritualistes ». Il s'agit là de la position de Guillaume Lécointre, d'Yvon Quiniou et des membres de L'Union rationaliste ou de la Libre pensée¹.

— Prendre le taureau par les cornes et essayer de reconstruire les piliers qui se sont effondrés. C'est ce qu'a tenté de faire, par exemple, le physicien Marceau Felden. Il affirme la validité du darwinisme et soutient, sans preuve (d'où viendrait-elle ?), que le cerveau produit la pensée. Rejette le principe anthropique comme tautologique (le faible) ou théologique (le fort), sans plus d'analyse. Mentionne en passant le théorème de Gödel sans en dire davantage. Et surtout noie le poisson quand il s'agit de la non-localité : « Dans certaines expériences délicates ayant pour objet de tester la théorie quantique sont apparues des difficultés d'interprétation impliquant que la relativité restreinte, la physique quantique et la localité ne peuvent être toutes les trois simultanément compatibles. Cependant, malgré de nombreuses discussions, en l'état actuel de nos connaissances le problème reste obscur, de sorte que toute conclusion demeure incertaine, empêchant de déterminer où est la faille². »

Difficile de deviner, n'est-ce pas, qu'il vient de faire allusion à l'une des grandes découvertes du XX^e siècle et que même pour

1. Voir Yvon Quiniou, « Le matérialisme, ça ne se discute pas », *Le Monde*, 3 mars 2006, ou Jean Debussy et Guillaume Lécointre, *Intrusions spiritualistes et impostures intellectuelles en science*, Éditions Syllepse, 2001.

2. Marceau Felden, *Et si l'homme était seul dans l'Univers ?*, Grasset, 1994, p. 213.

des physiciens ultramatérialistes comme Bricmont, la conclusion n'a rien d'incertain : la non-localité existe, c'est tout¹.

— Ne pas se préoccuper de la science. S'affirmer matérialiste et soutenir sa position en faisant de grands discours sur les « horreurs des religions », de façon à légitimer *a contrario* le matérialisme. C'est la position de Michel Onfray². Il ne se rend pas compte qu'en évitant d'ancrer son matérialisme dans la réalité physique, il fait exactement ce qu'il reproche (entre autres) aux religions : il enseigne une simple croyance parmi d'autres, sans base rationnelle.

— Affirmer honnêtement que le matérialisme n'est qu'une croyance parmi d'autres. Définir le matérialisme comme une théorie de l'esprit affirmant que l'esprit provient de quelque chose qui n'a pas les caractéristiques de l'esprit (sans utiliser le mot matière, parce qu'on a intégré la physique quantique à son raisonnement). Et assumer le caractère quelque peu circulaire de cette définition du matérialisme. C'est la position d'André Comte-Sponville et c'est certainement la plus respectable. Bien trop rares sont les matérialistes qui ont l'intelligence (et l'honnêteté) de reconnaître cette évidence : le matérialisme est une simple croyance. Ce n'est pas un hasard si Comte-Sponville évoque parfois les « matérialistes intelligents », façon de dire qu'il y en a qui ne le sont pas...

— Sortir des limites du matérialisme sans adhérer à aucune religion, ce qui débouche logiquement sur une forme de panthéisme. C'est, me semble-t-il, la position, consciente ou non, de Luc Ferry quand il affirme qu'il y a dans l'homme quelque chose que n'expliquent ni la culture (donc l'éducation) ni la nature (donc la génétique) et qu'il rejette la transcendance au profit d'une « transcendance dans l'immanence », formule qui évoque le panthéisme³.

— Tenter de reconnecter le matérialisme avec la nouvelle réalité issue des sciences. Cela amène à postuler des univers parallèles en astrophysique, voire des interprétations de la mécanique quantique selon lesquelles nous vivons dans une « bulle » d'illusions sans pouvoir nous rendre compte que les autres ont chacun

1. Tout cela n'est guère convaincant : je vous suggère de lire son ouvrage (qui contient par ailleurs des idées originales) pour vous faire une idée par vous-même et de le comparer avec le mien.

2. Michel Onfray, *Traité d'athéologie*, Grasset, 2005.

3. Luc Ferry, *L'homme Dieu ou le sens de la vie*, Grasset, 1996.

une perception différente d'une même situation que nous vivons ensemble¹.

Or, il s'agit de positions qui passent pour tout à fait irrationnelles aux yeux de nombreux matérialistes. On peut conclure de tout cela que le matérialisme est devenu beaucoup plus difficile à *penser*.

Sous sa forme classique (pourtant, par inertie, encore très répandue), le matérialisme a même été éliminé par le progrès des sciences, exactement comme l'ont été avant lui toutes les philosophies ou théologies fondées sur :

- Une Terre placée au centre du monde.
- Un Univers qui n'existe que depuis six mille ans.
- Un homme qui ne descend pas d'un quelconque animal, etc.

Encore une fois, tout cela ne signifie pas que le matérialisme en général soit impossible, mais qu'il doit se reconstruire et que cette reconstruction n'a pas encore commencé.

Et si les cinq grands mystères ne faisaient qu'un ?

Tout au long de cet ouvrage, nous avons rencontré et analysé en détail cinq grands mystères :

- D'où provient l'Univers issu du big bang ?
- Quelle est la nature des fondements de la réalité physique ?
- Quelle est la nature de la conscience de l'homme ?
- Qu'est-ce qui peut canaliser l'évolution de la vie ?
- D'où provient la « déraisonnable efficacité » des mathématiques ?

Les interprétations que nous en avons données de l'intérieur de la science nous ont amené à une nouvelle conception de celle-ci. À une science à la fois consciente de ses limites en ce qui concerne ses possibilités de décrire le monde, et ouverte à des questions qui lui paraissaient impossibles à traiter auparavant. Il est temps de sortir du cadre de la science et de l'interprétation des faits pour aller faire un tour du côté de la philosophie.

1. Allusion au « solipsisme convivial » soutenu par Hervé Zwirn dans *Les limites de la connaissance*, op. cit., p. 237-244.

Une conception philosophique paraît, elle, capable d'unifier nos cinq mystères. Il s'agit du platonisme. Comme Platon fait reposer son système sur des « idées », on l'oppose parfois au réalisme en le classant dans le camp des idéalistes. Grave erreur, comme l'a écrit Alain, « Platon n'est pas idéaliste comme on le dit. Le monde de Platon n'est nullement un songe, au contraire il est dur comme le diamant, et est toujours le même. C'est notre vie qui est un songe ».

Pour Bernard d'Espagnat, il s'agit d'un « réalisme des essences¹ ». Le fameux « mythe de la caverne » stipule que nous n'avons accès qu'à des ombres d'objets ou de personnes se projetant sur un mur d'une caverne, alors que les objets ou personnes en question sont, eux, situés à l'extérieur de celle-ci. Il y a donc bien une réalité dans la philosophie de Platon, mais nous n'y avons pas un accès direct car elle ne se situe pas au même niveau que nous². Et le monde que nous observons n'a pas d'existence indépendante. Il n'est qu'une projection de ce qui existe vraiment.

Nous avons déjà vu que le réalisme philosophique d'un physicien peut difficilement ne pas être un peu platonicien³ puisque les fondements de la réalité physique ne peuvent plus être conçus comme immergés et localisés dans le temps et l'espace.

Nous avons également vu comment Alain Connes, Roger Penrose ou Kurt Gödel exprimaient leur conviction d'être en contact avec un monde platonicien des idées mathématiques. Ce monde serait à l'origine des structures du nôtre, d'où l'efficacité des mathématiques. La démonstration par Gödel que, même au cœur des mathématiques, la vérité est une notion plus vaste que la notion de « démontrabilité » vient renforcer une telle conception.

Pour Christian de Duve ou Simon Conway-Morris, l'évolution serait canalisée ; mais qu'est-ce qui canalise l'évolution dans des directions particulières ?

Des formes platoniciennes, répondent Denton et D'Arcy Thompson ! Pour eux, les félins, les canidés, les primates existent sous une forme générique telle que le cercle, le triangle ou le

1. Voir la citation de Bernard d'Espagnat, page 99.

2. Platon, *La République*.

3. Voir toujours la citation de Bernard d'Espagnat (page 99).

CONCLUSION

carré. De même que tous les carrés ne sont que des projections diverses et variées de l'archétype du carré, de même tous les félins ne sont-ils que des projections de l'archétype du félin.

C'est l'existence de ces archétypes qui fait passer l'évolution d'un état stable à un autre état. Nous avons décrit les faits qui rendent crédible l'existence de tels archétypes.

Quels que soient les développements futurs de la cosmologie, nous savons une chose. Notre Univers n'existe pas par lui-même, mais provient de quelque chose d'autre. Le temps et l'espace, au moins sous la forme que nous leur connaissons, ne sont pas absolus et ont eu un commencement. Tout cela est également assez platonicien.

Enfin l'idée selon laquelle l'esprit ne serait nullement une création du cerveau (c'est-à-dire le dualisme, concept dont nous avons vu qu'il est à la fois l'un des plus probables, et l'un des plus scandaleux pour la science classique) est tout à fait naturelle et évidente dans un cadre platonicien, comme Platon lui-même l'a développé avec « le mythe d'Er¹ » !

Nous avons donc maintenant un principe unificateur qui nous permet de regrouper tous les problèmes abordés. Certes, cela consiste à remplacer cinq mystères par un seul sans le résoudre (qu'est-ce que cette réalité platonicienne ?). Mais ce serait une grave erreur que de penser que nous tournons en rond. Nous sommes, si nous acceptons cette « unification platonicienne », dans la même situation que les hommes de la caverne s'ils avaient enfin compris qu'ils voyaient des ombres d'objets et non une réalité indépendante. Ce qui, à l'évidence, aurait constitué pour eux un progrès remarquable ! Dans notre démarche guidée par la rationalité et la connaissance empirique, un « platonisme scientifique » est de très loin le meilleur choix possible pour remplacer un « matérialisme scientifique » dont nous avons analysé le discredit. Il s'agit sans doute de la conclusion la plus importante de cet ouvrage. Mais que peut nous apporter cette conclusion pour la réponse à la question que nous nous posons, celle du sens de notre existence ?

1. Cf. *La République*, chapitre 10.

Et Dieu dans tout cela ?

L'existence d'un autre niveau de réalité dont le nôtre ne serait que la projection (c'est-à-dire la validation du platonisme) n'implique nullement l'existence de Dieu.

En fait, il n'y a pas moins de sept étapes entre les considérations décrites au chapitre 16 et l'existence d'un Dieu personnel capable de répondre à nos prières.

En voici la description. Chacune d'entre elles nécessite de faire une hypothèse supplémentaire. Bien entendu, rien n'oblige à accepter ces hypothèses. Cette démarche vous permettra donc de préciser votre propre position : allez-vous jusqu'au bout, ou sinon à quel moment refusez-vous de faire un pas supplémentaire ?

- 1) La réalité indépendante – ce qui existe vraiment – n'est pas localisée dans le temps et dans l'espace. Notre voyage à travers les disciplines a abouti à cette conclusion platonicienne : nous sommes dans la caverne, la réalité, quelle qu'elle soit, est à l'extérieur. Un certain nombre de matérialistes purs et durs la rejettent, mais on peut qualifier leur position de « métaphysique » et surtout montrer qu'elle est peu compatible avec le progrès de nos connaissances.
- 2) L'esprit humain a un lien avec cette réalité indépendante. Nous sommes toujours dans le platonisme, celui, entre autres, des grands mathématiciens que nous avons cités. Si cette affirmation paraît très probable, elle n'est pas si solide que la première. Nous ne pouvons considérer ce point comme démontré.
- 3) La réalité indépendante a-t-elle des caractéristiques qui la rapprochent d'un objet ou d'un esprit ? C'est une question fondamentale sur laquelle nous reviendrons en détail à la fin de ce chapitre. Les néomatérialistes, ou « matérialistes ouverts », ceux qui acceptent les résultats des sciences tels que la mécanique quantique et le théorème de Gödel (voire le platonisme en mathématiques) s'arrêteront ici. Les spiritualistes, quant à eux, feront ce pas de plus. Ils appelleront l'Être cette réalité en soi.
- 4) Cet Être ne se cantonne pas à la réalité indépendante, il cherche à se manifester dans notre monde, celui des

phénomènes. L'existence d'êtres conscients d'eux-mêmes est l'une de ces manifestations. Cette position implique à la fois une finalité dans l'évolution de la vie et l'existence d'une vie après la mort (puisque notre vraie nature serait proche de celle de cet Être). Ceux qui, tout en étant spiritualistes, ne croient pas que quelque chose dans l'être humain survive à la mort, ne franchiront pas cette étape. Ceux qui pensent quant à eux que notre essence ne se réduit pas à des phénomènes physiques continueront.

- 5) Cet Être est une personne avec une volonté, des aspirations, un projet. Ici, tous ceux qui pensent que l'Être est une énergie universelle (voire un principe créateur mais dépersonnalisé) prendront une autre voie qui pourra les amener à insister sur l'existence d'un tel être, sans le définir comme le fait le taoïsme : « Il est un être indéterminé dans sa perfection, qui était avant le ciel et la terre, impassible, immatériel ! Il subsiste, unique, immuable, omniprésent, impérissable. On peut le considérer comme étant la Mère de l'Univers. Ne connaissant pas son nom, je le désigne par le Tao¹. » Ou le bouddhisme : « Il existe un non-devenu, non-créé, non-manifesté. S'il n'existait pas, il n'y aurait pas de sortie possible lors de la création, du devenir et de la manifestation. » À l'inverse, ceux qui croient en l'existence d'un Dieu personnel accepteront cette hypothèse.

- 6) Ce Dieu cherche à entrer en contact avec nous, il l'a fait par l'intermédiaire des grandes religions du monde. On oublie souvent que même si l'on se situe dans un cadre monothéiste, il existe différentes hypothèses.

— L'hypothèse horrible : Dieu nous élève comme nous élevons le bétail.

— L'hypothèse de l'indifférence : Dieu n'a pas plus d'intérêt pour nous que nous n'en avons pour les objets que nous fabriquons.

— L'hypothèse de l'attente : Dieu n'a pas encore essayé de communiquer avec nous, il attend que nous atteignons un niveau supérieur d'évolution.

— L'hypothèse classique : Dieu existe et communique discrètement avec nous par l'intermédiaire (entre autres) des grandes religions.

1. Tao Te King, verset 14.

Les voltairiens et d'autres déistes refuseront cette dernière hypothèse.

- 7) Dieu est bon et il peut répondre à nos prières et agir dans le monde. La position commune des grandes religions monothéistes est que Dieu est bon, bien que les textes sacrés de ces mêmes religions montrent que c'est loin d'être évident¹. La même position commune affirme que Dieu est tout-puissant, mais il existe à l'intérieur même des grandes religions monothéistes de nombreuses conceptions telles que la théologie du processus qui affirme que Dieu ne connaît pas le but de l'évolution humaine, ou l'approche de Hans Jonas² selon laquelle un Dieu tout-puissant serait contradictoire avec l'existence d'une véritable liberté pour l'homme. Ainsi, ceux qui ont accepté l'hypothèse classique au point 6 doivent faire un pas de plus s'ils veulent arriver à cette conclusion.

Que peut-on dire de tout cela ? Pour monter les sept degrés de cette échelle de Jacob, il faut à chaque fois faire une hypothèse *supplémentaire*. On peut donc dire que les barreaux les plus élevés sont moins probables que les premiers. Mais « moins probables » ne signifie pas improbables. Nous allons étudier les « conditions de possibilité » de nos étapes en commençant par la dernière.

Il est clair que la dernière étape nécessite un acte de foi. Mais il faut noter que cette position *n'est pas absurde* (ou, si l'on veut, qu'elle est nettement moins absurde qu'auparavant).

En effet, si « le hasard est le moyen que Dieu a choisi pour voyager incognito », alors il est logiquement concevable que Dieu puisse agir dans un monde où existent des phénomènes n'ayant aucune cause. Arthur Eddington lui-même a écrit que « s'il n'y a pas de causalité, il n'y a plus de distinction claire entre le Naturel et le Surnaturel³ ». Il devait donc penser à une définition de Dieu comme celle de notre point 7 quand il disait qu'un

1. Un exemple parmi beaucoup d'autres : Dieu encourage Josué à exterminer toute la population de la ville d'Aï après que Josué a fait la même chose avec les habitants de Jéricho (Jos 8, 1-25).

2. Hans Jonas, *Le concept de Dieu après Auschwitz*, Rivages, 1994.

3. Arthur Eddington, *Nature of the physical world*, Cambridge University Press, 1930.

scientifique pouvait de nouveau croire en Dieu après le développement de la mécanique quantique. Ainsi Dieu ne peut pas arrêter la course du Soleil, contrairement à ce que dit la Bible, mais il pourrait influencer les hommes ou les événements, *via* l'existence de cet indéterminisme¹.

Notre point 6 (le monothéisme révélé) pouvait sembler fort peu probable quand triomphait la modernité.

Il existe en effet deux hypothèses quant à l'origine des religions :

— Toutes les religions sont des inventions humaines.

— Si les religions ont été élaborées par des hommes, elles ne sont pourtant pas totalement d'origine humaine. Quelque chose dans les concepts et les messages qu'elles véhiculent provient de Dieu et a été transmis aux fondateurs des religions.

La crédibilité des grandes traditions monothéistes classiques dépend de façon cruciale de la validité de la deuxième hypothèse. Or dans un monde fermé sur lui-même, cette hypothèse semble absurde.

Confrontés à la modernité, les intellectuels croyants qui se veulent éclairés, passent en général sous silence cette caractéristique essentielle du monothéisme. Quant aux intellectuels athées, ils ne veulent même pas envisager cette hypothèse tant elle leur semble absurde.

Ainsi, André Comte-Sponville peut écrire : « Je ne détiens aucune vérité inconnue, ni moi, ni personne. Le problème n'est pas de découvrir une autre vérité qui manquerait, qui ferait défaut, mais de comprendre qu'il n'y a rien d'autre à trouver que la vérité, rien d'autre à chercher, donc, et qu'on est déjà dedans, et qu'on en connaît déjà plus qu'assez pour vivre... Le Bouddha ou le Christ en savaient moins que nous, beaucoup moins, mais cela ne nous donne sur eux aucune supériorité spirituelle². »

1. Cette position a, par exemple, été développée par Pierre Perrier (voir *La science des cœurs et de la nature*, Desiris, 1998, p. 65-68). Fred Hoyle (voir la citation rapportée par Paul Davies, *L'esprit de Dieu*, Éditions du Rocher, 1995, p. 235-236) ou Robert Russell, « Biological evolution, quantum mechanics and non-interventionist divine action » dans Charles Harper (dir.), *Spiritual Information*, Templeton Foundation Press, 2005, p. 84-89.

2. André Comte-Sponville, *L'amour, la solitude*, Parole d'Aube, 1995, p. 103.

Même si dans leur contexte, ces propos se veulent empreints de modestie, ils contiennent une *énorme* erreur logique. Comment André Comte-Sponville peut-il savoir que, parmi les six milliards de personnes qui vivent sur cette planète, aucune ne détient une « gnose » quelconque, une vérité cachée ? Pour affirmer cela, André Comte-Sponville devrait être véritablement omniscient, avoir le pouvoir transcendant de lire dans toutes les consciences existant sur cette planète. Et ce pouvoir devrait aussi s'exercer sur le passé. Car sinon comment saurait-il que Bouddha et le Christ savaient moins de choses que nous ? Certes, ils ignoraient sans doute la valeur de la masse du proton et de la charge de l'électron. Mais peut-être savaient-ils bien plus de choses que nous sur la nature du réel grâce à un contact avec une source de connaissances située hors de notre monde, exactement comme les grands mathématiciens prétendent être en contact avec le monde des vérités mathématiques ?

Bien entendu, André Comte-Sponville n'a jamais prétendu avoir ce genre de pouvoir ! Simplement, sa réflexion (et celle de tous les philosophes matérialistes actuels) se situe dans un cadre dans lequel la deuxième hypothèse n'est même pas envisagée. Elle est rejetée d'emblée comme impensable (au sens strict du terme : impossible à penser).

Dans un monde fermé sur lui-même où tout pourrait s'expliquer par le matérialisme scientifique, une telle position serait acceptable. Dans un monde où les connaissances scientifiques pointent si fortement en direction d'une conception platonicienne – selon laquelle notre existence dépend, au moins en partie, d'un autre niveau de réalité –, où il existe des indices forts d'un contact possible entre l'esprit humain et cet autre niveau au sein du domaine le plus rationnel qui soit (les mathématiques), cette position, qui fait d'office des religions une invention humaine (et qui est partagée – on ne le répétera jamais assez – par tant de penseurs actuels), doit être dénoncée comme étant *dogmatique et donc non rationnelle*.

Nous pouvons maintenant concevoir de façon simple une hypothèse expliquant ce qui est à la base de la plupart des grandes religions. Le (ou les) fondateur(s) a (ont) eu un contact avec le monde platonicien duquel est issu notre Univers, ainsi que nos consciences, d'où la possibilité d'un tel contact ! Ces contacts ont été, selon les cas, plus ou moins intenses, plus ou moins

CONCLUSION

permanents et ont porté sur des aspects différents de cet autre niveau, d'où les différences, mais aussi les recoupements, existant entre les religions.

Dans une telle vision, les religions sont comme des trous de serrure dans des portes donnant sur une immense pièce. Chaque trou permet de voir un aspect différent de la pièce avec parfois des recouvrements.

Ce modèle n'implique pas que toutes les religions se vailent. Chacun est libre de penser que « son » trou de serrure en dévoile plus sur l'intérieur de la pièce que les autres. Mais chacun doit accepter que les autres religions détiennent des vérités que ne possède pas la sienne. Cela tue dans l'œuf le fondamentalisme religieux. Car il est toujours fondé sur la certitude de détenir *toute* la vérité, ce qui rend logique la volonté de vouloir l'imposer aux autres.

Le modèle proposé ici permet à la fois de restaurer la crédibilité des grandes religions et de fournir des bases pour le dialogue interreligieux ainsi que des arguments pour délégitimer le fondamentalisme¹.

Le point 5 nécessite également un acte de foi. Rien de ce que nous avons dit n'implique que l'Être soit une personne. Néanmoins, il semble logique de penser que la réalité ultime, si elle est un Être et non une chose, soit *plus* que nous et non pas *moins* que nous, en ce qui concerne ses caractéristiques personnelles.

Nous venons de montrer que les points 5, 6 et 7 sont possibles au vu des mutations qui se sont produites dans nos connaissances, mais rien, dans ces mutations, ne vient suggérer directement ces points. Au niveau 4, les choses changent. Le principe anthropique, la possibilité que l'évolution soit orientée, la crédibilité retrouvée du dualisme suggèrent (sans jamais le prouver, répétons-

1. Un tel modèle peut recevoir le soutien... du théorème de Gödel. En effet, on peut axiomatiser les principes de base de toute théologie. Si l'on pouvait ensuite numériser ces axiomes (ce que Gödel a fait pour les mathématiques !), le théorème de Gödel s'appliquerait ! Les systèmes en question ne pourraient être à la fois complets et cohérents. Or, les fondamentalismes ou les dogmatismes religieux s'appuient implicitement ou explicitement sur la certitude de répondre à tout (d'être complets) et bien sûr d'être cohérents. Le théorème de Gödel pourrait porter un coup terrible (théorique bien sûr) au fondamentalisme. Alan Sokal et Jean Bricmont hurleraient ici à l'imposture, pourtant, je pense qu'il s'agit d'une voie à explorer sérieusement : c'est ce que fait Colin Hannaford, un professeur de mathématiques d'Oxford qui a créé un institut pour la démocratie par les mathématiques ! Cf. www.gardenofdemocracy.org

le encore) que l'hypothèse faite ici soit très crédible. Avant de descendre au point 3, voyons quelles conséquences cette évolution peut avoir pour les religions.

Science et religion, les éléments d'un rapprochement

Qu'elles soient taoïstes, bouddhistes ou monothéistes, toutes les conceptions religieuses que nous venons de décrire, et qui se répartissent entre les points 4, 5, 6 et 7, reposent sur une condition préalable : que le monde où nous vivons dans le temps et l'espace ne puisse pas complètement s'expliquer à partir de lui-même, ne soit pas ontologiquement suffisant. Or, cette condition est remplie (et avec force !) par l'évolution de nos connaissances objectives.

Au-delà de cette condition préalable, nous avons vu que les faits que nous venons de mentionner ci-dessus renforçaient l'idée que les religions ne sont pas de simples mythes.

Il n'est donc pas étonnant que cette évolution ait favorisé depuis une vingtaine d'années un rapprochement, assez inattendu pour certains, entre science et religion.

Le prix Nobel de physique Erwin Schrödinger a un jour posé la question suivante : « Quelles sont les conquêtes de la science qui ont le plus soutenu une conception religieuse du monde ? »

Sa propre réponse était : la relativité d'Einstein. Car si le temps n'est plus le cadre absolu et indépassable au sein duquel tout existe, mais est relatif et s'écoule différemment dans des référentiels différents, alors l'espoir d'une vie hors du temps n'est plus absurde.

Nous venons de voir à quel point les évolutions de la physique, de l'astrophysique et des mathématiques avaient renforcé cette idée en montrant que la réalité ultime n'était pas située dans l'espace-temps.

Si l'on approfondit un peu ces rapports entre science et religion, on constate qu'on peut les classer en deux approches qui correspondent aux deux grandes nouveautés épistémologiques que nous avons décrites au chapitre 16 : l'incomplétude et la possibilité théorique de réfléchir à des questions ultimes à partir de découvertes ou de théories scientifiques.

— La première approche pourrait être qualifiée d'« apophasique » ou de « négative », en référence à la théologie du même

nom qui ne nous dit pas ce que Dieu est, mais ce qu'il n'est pas. Cette approche ne nous dira donc rien de positif sur la question du sens. En revanche, elle va déconstruire les approches sur lesquelles les tenants du non-sens se reposaient. Elle sera essentiellement fondée sur des résultats négatifs qui nous disent pourquoi on sait très bien que l'on ne saura jamais certaines choses, comme le principe d'incertitude en mécanique quantique ou le théorème d'incomplétude de Gödel en logique.

— La deuxième approche sera, elle, positive ; on pourrait faire une analogie avec la théologie cataphatique, également appelée « positive », qui, elle, nous parle directement de Dieu. Il s'agit de recenser des « symptômes de sens », des faits qui, sans les prouver, tendent à suggérer de façon directe qu'un sens pourrait bien exister dans l'Univers, ou que notre existence n'est pas un événement contingent mais s'inscrit bien dans un processus. Le principe anthropique, l'orientation de l'évolution, l'hypothèse du dualisme du corps et de l'esprit (qui redonne une légitimité au concept d'âme) rentrent dans cette deuxième catégorie.

Il n'échappera pas au lecteur attentif qu'une contradiction fondamentale existe entre ces deux écoles de pensée, qui abordent de manière opposée la façon dont science et sens peuvent interagir.

Les premiers, à l'instar de Bernard d'Espagnat, diront quelque chose comme : « L'Univers est porteur de sens parce que nous ne pouvons le comprendre – le “dévoiler” – entièrement. Parce que la science elle-même nous démontre qu'il y a un “au-delà” de ce que la science peut appréhender. » Les seconds tiendront à la suite d'Einstein des propos du type : « L'Univers est porteur de sens parce que nous pouvons le comprendre, parce qu'il existe un lien entre notre esprit et la structure de l'Univers (ou l'esprit de son créateur pour ceux qui croient en Dieu). »

Comment sortir de cette apparente contradiction ? Michael Heller nous fournit une piste. Il suit d'abord une démarche comme celle de Bernard d'Espagnat : « Est-ce que les conquêtes inouïes de la science qui révolutionnent nos représentations de la réalité (le temps inversé, l'espace déformé, les particules qui perdent leur individualité mais sont en communication sans l'aide du temps ni de l'espace) ne constituent pas un signe suffisamment clair de ce que la réalité ne s'épuise pas à ce que nous pouvons voir, toucher, mesurer et peser ? »

Puis, il suit une démarche comme celle d'Einstein : « Est-ce que le fait que le monde n'est pas seulement un concept abstrait,

un modèle indescriptible, une équation non résolue, mais au contraire quelque chose qu'on peut mesurer, peser, toucher et éprouver n'indique-t-il pas la source originelle de l'Être ? »

Ensuite, il reprend des arguments du type de ceux de Bernard d'Espagnat : « Est-ce que le fait que le monde se laisse néanmoins saisir en formules abstraites et en équations ne suggère pas que l'abstraction, c'est-à-dire la pensée, est plus originelle que le concret, c'est-à-dire la matière ? »

Et enfin, il revient à la position d'Einstein : « Est-ce que la rationalité du monde, que présuppose, mais ne peut expliquer, toute recherche scientifique, n'est pas un reflet d'un plan rationnel qui se cache dans chaque question scientifique posée au monde¹ ? »

Il est ainsi possible d'affirmer que notre compréhension du monde est suffisamment extraordinaire pour qu'on puisse y voir le signe d'un lien entre l'esprit de l'homme et celui de l'éventuel concepteur de l'Univers. Mais qu'il existe un autre niveau de réalité, situé hors du temps, de l'espace, de l'énergie et de la matière, vient renforcer – et non contredire – l'idée selon laquelle l'Univers est porteur de sens puisque nous sommes dans la situation où, à la fois nous pouvons comprendre la partie de l'Univers qui nous est accessible et où d'autres dimensions existent, susceptibles d'abriter ce qui serait à l'origine du « projet » dont notre niveau de réalité serait la réalisation.

On voit donc comment science et religion peuvent se rapprocher. Cette compatibilité nouvelle entre deux grands domaines de la culture humaine n'est pas passée inaperçue. De très nombreux savants et théologiens se sont penchés sur ces questions. En plus de tous les noms que nous avons déjà cités, mentionnons dans les pays anglo-saxons : John Polkinghorne, Ian Barbour, Arthur Peacocke, Keith Ward, Philip Clayton, Robert Russell, Alister Mac Grath, Denis Alexander, Francis Collins, Roald Hoffmann et en France : Thierry Magnin, Pierre Perrier, Dominique Laplane, Gustave Martelet, Jean-Michel Maldamé, Guy Lazorthes, Jean-Marie Pelt, Alain Houziaux, François Euvé, Christophe

1. Toutes ces citations proviennent de Michael Heller, « Science et transcendance » dans *Science et quête de sens*, *op. cit.*, p. 318-319.

Théobald, Jacques Vauthier, Dominique Lambert, Eric Bois, Jacques Goldberg, Jacques Arnould et le très important ouvrage collectif *Le savant et la foi* dont dix des auteurs sont membres de l'Académie des sciences¹.

Sachant que cette liste n'est pas exhaustive, on voit que, pour le moins, il s'agit d'un secteur en plein développement² !

Parallèlement, des centres de science et religion ont été créés au sein d'universités prestigieuses telles que celles d'Oxford³, Cambridge⁴, Columbia⁵, voire de l'American Association for Advancement of Science⁶ (la plus grande association de scientifiques du monde) regroupant des enseignants et organisant des formations et des débats. À la suite d'Oxford, l'université Harvard vient de créer une chaire en science et religion.

Tout comme ce fut le cas avec la sociologie il y a un siècle, on a vraiment l'impression d'assister à la naissance d'une nouvelle discipline que l'on pourrait également appeler « implications métaphysiques de la science contemporaine ».

La théologie (ou des philosophies d'inspiration non matérialiste) peut aider la science à formuler certaines hypothèses qui paraissaient impensables (existence d'un autre niveau de réalité, dualisme esprit-cerveau, vie après la mort...). La science peut aider la théologie à clarifier ses concepts. Ainsi je n'hésiterai pas à affirmer (au risque de choquer certains lecteurs) que le concept central du christianisme, l'incarnation, est bien plus facile à penser quand on sait que les fondements de la matière sont à la fois des ondes et des particules, qu'à la lecture de ce que tous les théologiens ont écrit sur le sujet depuis près de deux mille ans !

Je ne suis nullement en train de dire que la physique quantique vient soutenir la notion selon laquelle Jésus-Christ aurait pu être à la fois « vrai homme » et « vrai Dieu » ! Je dis simplement que l'existence d'états contradictoires généralisés dans les fonde-

1. Toutes les références correspondantes se trouvent dans la section « Science et Religion » de la bibliographie.

2. Quelles que soient les polémiques ayant entouré cet ouvrage, il ne faut pas oublier le rôle pionnier joué par l'ouvrage de Jean Guitton et des frères Bogdanov, *Dieu et la science* (Grasset, 1991).

3. users.ox.ac.uk/~theo0038

4. www.st-edmunds.cam.ac.uk/faraday

5. www.columbia.edu/cu/cssr

6. www.aaas.org/spp/dser

ments de la matière rend cette notion plus concevable que les débats des théologiens sur le thème « Dieu peut-il avoir un fils¹ ? ».

De la même façon, des notions centrales du bouddhisme telles que l'interdépendance et l'impermanence sont-elles bien plus claires aujourd'hui à la lumière de la physique quantique et de l'astrophysique².

Tout en rejetant le concordisme simpliste qui conduirait à prétendre que la vitesse de la lumière, la masse du proton ou la durée des ères géologiques se trouvent dans tel ou tel texte sacré, on peut parfaitement penser que certains concepts de base des grandes religions sont très proches des concepts de certaines théories scientifiques récentes, et que ce ne soit pas par hasard. L'ouvrage de Matthieu Ricard et de Trinh Xuan Thuan³ montre la richesse que peut avoir une démarche qui s'oriente dans cette direction.

Nous savons qu'il est très probable que l'esprit humain soit en contact avec un monde des vérités mathématiques. Il n'y a aucune raison que ce contact se limite aux vérités mathématiques ; cela amène, comme nous l'avons vu, à prendre au sérieux l'hypothèse que des révélations pourraient exister, mais aussi que les discours de la science et de la religion sur le réel puissent se rapprocher au plan conceptuel (et non, bien sûr, sur le plan quantitatif et formalisé qui est celui de la pratique scientifique).

Mais il y a un prix à payer pour ce rapprochement entre les deux partenaires : c'est celui de l'humilité. Humilité de la science qui doit admettre que la religion a peut-être accès à des niveaux de réalité qu'elle peut à peine envisager. Humilité de la religion qui doit évoluer en fonction des découvertes scientifiques.

« Quoi ? Comment osez-vous soumettre un message éternel, celui de la révélation divine, à l'évolution de nos connaissances ? » diront certains. Mais c'est pourtant ce qui se passe en perma-

1. Bernard Sesboué, Bernard Meunier, *Dieu peut-il avoir un fils ?*, Cerf, 1993.

2. Voir Trinh Xuan Thuan, « Science et bouddhisme », in *Science et quête de sens*, op. cit., p. 239-258.

3. Matthieu Ricard et Trinh Xuan Thuan, *L'infini dans la paume de la main*, Fayard/Nil, 2000.

nence (du moins en Occident) depuis des siècles, et heureusement !

Combien de sermons, combien d'approches théologiques ont-ils, au cours des siècles, été fondés sur le fait que la Terre était au centre du monde, que Dieu avait créé l'homme séparément de l'animal, que l'Univers n'avait pas plus de six mille ans, etc. ?

Tout cela a disparu comme la neige fond au soleil sous l'influence de l'évolution des connaissances scientifiques, et c'est une très bonne chose. Ainsi demain, le bouddhisme devra sans doute admettre que nous ne vivons pas dans un univers cyclique. Et la philosophie thomiste si dominante dans l'Église catholique devra intégrer le retour en force du platonisme auquel elle préfère, depuis huit cents ans, l'aristotélisme.

Cette nécessaire humilité de la religion peut prendre des formes encore plus spectaculaires. Joel Primack et Nancy Abrams rapportent un dialogue qu'ils ont eu avec l'un de leurs amis, évêque de l'Église catholique, mais également docteur en astrophysique.

« Qu'est-ce, pour vous, que la Bible ?

— C'est la vérité universelle.

— Croyez-vous qu'il existe dans d'autres mondes des êtres intelligents ?

— Bien sûr ! Sinon quel gâchis cela serait si ces milliards de planètes étaient toutes inhabitées !

— Si la Bible est la vérité universelle, comment peut-elle être vraie pour des extraterrestres qui ne connaissent rien à son sujet ?

— Universel ne veut pas dire ultime. La Bible peut avoir le même type de relation avec la moralité des extraterrestres que Newton peut avoir avec Einstein¹. »

Primack et Abrams disent avoir été très impressionnés qu'un important évêque de l'Église catholique puisse sereinement envisager que la révélation sur laquelle se base sa foi ne soit pas ultime. Qu'il soit aussi un scientifique n'est sans doute pas étranger à cette ouverture.

1. Joel Primack et Nancy Abrams, *The view from the center of the universe*, op. cit., p. 233. Je connais l'évêque en question, aujourd'hui archevêque, mais je ne le nommerai pas puisque les auteurs ne le font pas non plus.

Quelle réponse à « la question la plus importante qui soit » ?

Nous venons de voir que l'évolution de nos connaissances redonnait une crédibilité (sans les prouver bien entendu) aux conceptions religieuses du monde qui, à l'époque moderne, pouvaient apparaître comme de simples contes de fées. Cette bonne nouvelle réjouira tous ceux qui, de près ou de loin, suivent l'une de ces religions. Mais qu'en est-il des autres ? Ceux – et ils sont nombreux dans notre société – qui ne se reconnaissent en aucune d'entre elles ? Quelle sera pour eux la réponse à la question que nous nous posons ici ?

Comme nous avons *a priori* démontré dans cet ouvrage le point 1 (l'« insuffisance ontologique » de la réalité dans laquelle nous vivons), et que nous avons vu que le point 2 (l'esprit humain est en contact avec un autre niveau de réalité, au moins en ce qui concerne la vérité en mathématique) était très probable, ces personnes se retrouvent face à la troisième des 7 étapes que nous avons décrites dans ce chapitre.

Et là, elles doivent (hors de toute conception religieuse, ce point est essentiel !) choisir entre deux thèses que Bernard d'Espagnat formule ainsi :

« Thèse 1 : la réalité de "base", le réel voilé, la réalité-derrière-les-choses, la réalité éternelle (peu importe le nom qu'on lui donne), cela est la chose essentielle. C'est à sa connaissance et à son amour que les hommes doivent aspirer pour se parfaire.

Thèse 2 : la réalité de "base" est fondamentalement inintéressante et banale. À partir de ce matériau, soit informe, soit à la limite "inexistant", l'homme doit se créer lui-même en développant sa liberté¹. »

Ce choix est fondamental car la première thèse implique que la réalité indépendante soit un Être, quel qu'il soit, et que notre existence a un sens (même si nous ne savons pas lequel), tandis que la deuxième thèse implique que notre existence ne saurait avoir d'autre sens que celui que nous lui donnons nous-mêmes.

C'est vraiment le choix de base entre un néomatérialisme éclairé (à ce stade, nous ne parlons même plus du matérialisme

1. Bernard d'Espagnat, *Un atome de sagesse*, op. cit., p. 68.

classique !) et un spiritualisme ou un non-matérialisme quel qu'il soit.

Comment Bernard d'Espagnat fera-t-il lui-même ce choix, lui qui a tant insisté sur le caractère voilé (et donc *a priori* ineffable) de cette réalité indépendante et sur le fait qu'on ne pouvait en parler qu'en termes apophatiques ?

En adoptant une position qui rejette à la fois le scientisme, le positivisme et la position d'Einstein (et qui, de ce fait, paraît proche de celle de Heller que nous venons d'analyser), Bernard d'Espagnat affirme que si la réalité indépendante n'est pas descriptible, nous pouvons tout de même avoir quelques lueurs sur elle : « D'une manière vague – et impossible, hélas, à préciser ! – je suis donc malgré tout amené à reconnaître que les structures de la physique mathématique sont au moins un point de rencontre entre l'homme et l'être : et qu'à ce titre, elles ouvrent au premier des perspectives – lointaines et mystérieuses mais cependant non illusoires – vers le second¹. » Une fois établie l'existence vraisemblable d'un « premier point de contact » entre l'esprit de l'homme et cette réalité indépendante (démarche proche de notre deuxième étape sauf qu'elle concerne ici la physique mathématique et non les mathématiques), d'autres points de contact peuvent exister tels que la beauté, l'art, le sacré.

Même si Bernard d'Espagnat rejette avec force toute conception anthropomorphique de cet être, il est envisageable pour lui qu'une relation puisse s'établir entre l'homme et l'Être, qu'il va jusqu'à « traduire » par l'expression « un appel de l'être à l'homme ». Cela l'amène à considérer comme plausible le témoignage de ceux qui ont reçu de tels appels : « Le sentiment qu'ont certains esprits de recevoir de tels appels est indéniable et, à mon avis, l'interprétation d'un tel fait expérimental en termes d'une réalité de tels appels se trouve dans le contexte que l'on vient de dire, au fond aussi plausible, tout bien considéré, que son interprétation en termes de subjectivité et d'illusion intégrale². »

Au chapitre 5, j'ai mentionné la question posée par Comte-Sponville à Bernard d'Espagnat durant le colloque organisé par *La Croix* en 1992 : « La réalité voilée nous aime-t-elle ? » Rien ne nous le garantit, il n'est même pas sûr que la question, trop

1. Bernard d'Espagnat, *À la recherche du réel*, op. cit., p. 168.

2. Bernard d'Espagnat, *Un atome de sagesse*, op. cit., p. 174. Voir aussi *À la recherche du réel*, op. cit., p. 172.

anthropomorphique, ait un sens. Mais Bernard d'Espagnat a par la suite affirmé que *nous* devons l'aimer, cette réalité ultime, que nous devons y admirer, « la source des phénomènes, de la beauté et des valeurs et aspirer à la rejoindre tout en la sachant aussi inaccessible que l'horizon¹ ».

Ainsi, même si on ne peut pas connaître les caractéristiques de cette réalité, l'existence de différents points de contact probables ou plausibles entre l'homme et elle, *via* la science, l'art, le sacré, la beauté, voire la mystique, amène à conclure qu'il s'agit bien d'un Être et pas d'une chose banale.

Einstein, quant à lui, aurait hésité encore moins à choisir la première thèse étant donné, comme nous l'avons vu page 199, l'intelligence qui, d'après lui, se manifeste à travers les lois de la nature.

Un grand nombre de scientifiques, parmi lesquels Wigner, Wald, Schäfer, ou Kafatos, choisissent également la première thèse mais pour une autre raison. À la suite d'Eddington (« Pour conclure brutalement, l'étoffe même du monde est comparable à celle d'un esprit, le substrat de tout ce qui existe a un caractère mental² »), ils estiment que la réalité indépendante a des caractéristiques qui la rapprochent de celle d'un esprit, ce qui élimine l'option du matérialisme, même ouvert.

Une autre piste a été fournie par Stéphane Lupasco et Basarab Nicolescu. C'est le développement d'une logique ternaire permettant de dépasser les contradictions qui apparaissent à notre niveau de réalité.

Nous avons vu que les particules élémentaires pouvaient nous apparaître tout à la fois comme des points matériels et comme des ondes, ce qui paraît hautement contradictoire. Mais à un autre niveau de réalité, celui du monde quantique, cette contradiction n'existe plus. Lupasco a ainsi développé une logique dans laquelle il y a trois états (A, non A et « T », l'union des contradictoires) et non plus deux, mais dans laquelle le troisième état, l'état T, se situe forcément à un autre niveau de réalité que les deux premiers.

Basarab Nicolescu en a déduit une conception de la réalité reposant sur toute une série de niveaux, chacun résolvant les contradictions existant au niveau inférieur. Une telle réalité constituée de l'ensemble de ces niveaux est riche de sens, mais pour des raisons différentes de celles évoquées précédemment : « La science a découvert par ses propres moyens l'existence de

1. *À la recherche du réel*, op. cit., p. 175.

2. Cité par Lothar Schäfer, *In search of divine reality*, op. cit., p. 1.

niveaux de Réalité. Nous étions en danger de mort, sous l'influence de maîtres à penser prônant un seul niveau de Réalité horizontal, où tout tourne en rond et engendre fatalement le chaos, l'anarchie, l'autodestruction. Nous sommes en train de passer à une époque de "danger de vie", par la reconnaissance de différents niveaux de Réalité, ouvrant une dimension ontologique, verticale, multiple, polyphonique¹. »

Voici comment cette approche, qui débouche sur la transdisciplinarité, intègre le sacré : « Le problème du sacré, compris en tant que présence de quelque chose d'irréductiblement réel dans le monde, est incontournable pour toute approche rationnelle de la connaissance. On peut nier ou affirmer la présence du sacré dans le monde et en nous-mêmes, mais on est toujours obligé de se référer au sacré, en vue d'élaborer un discours cohérent sur la Réalité... Le modèle transdisciplinaire de la Réalité jette une nouvelle lumière sur le sens du sacré. Une zone de résistance absolue relie le Sujet et l'Objet, les niveaux de Réalité et les niveaux de perception². »

Une autre démarche, plus proche du panthéisme, est celle d'Henry Stapp, pour qui le caractère global, universel, holistique, de cette nouvelle réalité qu'approche la science, peut être source de valeurs susceptibles d'être admises par tous : « La raison exige que l'on fonde les croyances sur des preuves [...] Les preuves scientifiques interprétées à la façon de Heisenberg élargissent la conception de l'identité personnelle bien au-delà des simples idées avancées par les forces sociales : l'être humain ne rejoint pas seulement les organismes sociaux au point d'en faire partie intégrante, mais devient une part intrinsèque non localisée de l'auto-formation de l'Univers lui-même ; l'être humain devient un organisme complètement soustrait à l'emprise de toutes les lois mathématiques connues [...] L'assimilation de cette conception quantique de l'homme par l'environnement culturel du XXI^e siècle produira inévitablement une réorientation des valeurs profitable à la survie de l'espèce humaine³. »

Pour aller plus loin encore, il est temps de se rappeler la proposition de Comte-Sponville (voir page 98) selon laquelle ce

1. Basarab Nicolescu, *La science, le sens et l'évolution*, Éditions du Félin, 1988, p. 144.

2. Basarab Nicolescu, *La transdisciplinarité*, Éditions du Rocher, 1996, p. 183.

3. Henry Stapp, « Physique quantique et valeurs humaines », dans *La déclaration de Vancouver*, Unesco, 1990.

choix doit être fait en *s'appuyant sur la science* et non de façon arbitraire. C'est justement ce que nous avons fait tout au long de cet ouvrage. Et si la science ne démontre pas l'une des deux thèses, elle *montre* clairement une direction, celle de la thèse n° 1, celle d'une réalité ultime qui soit porteuse de sens¹.

Les approches (partielles, bien sûr, puisqu'elle est voilée !) que nous avons tentées pour étudier cette réalité ultime, l'étude de ses manifestations que sont les phénomènes que nous observons, mais aussi l'étude de ce que nous sommes (et par « nous », j'entends n'importe quel être existant dans l'Univers capable de percevoir sa beauté et son harmonie, et de réfléchir à son sens, et pas seulement les êtres humains) amènent à penser que *oui*, notre existence a bien un sens même s'il n'est pas possible de dire avec précision quel est ce sens. C'est la conclusion (là aussi hors de toute dimension religieuse) à laquelle arrive Paul Davies à la fin de son ouvrage le plus célèbre : « Je ne puis croire que notre existence dans cet Univers soit un simple caprice du destin, un accident de l'histoire, un incident fortuit dans le grand drame cosmique. Notre implication est trop intime. L'espèce physique *homo* ne représente peut-être rien, mais l'existence de l'esprit dans un organisme sur une planète dans l'Univers est sûrement un fait d'une signification fondamentale. L'Univers a engendré la conscience de soi à travers les êtres humains. Ce ne peut être un détail anodin ou une production marginale de forces absurdes et dépourvues de finalité. Notre présence ici a un sens réel². »

Nous pouvons donc résumer notre démarche.

1. Une nouvelle révolution copernicienne

Nous sommes dans une situation identique à celle qui prévalait au milieu du XVII^e siècle. Un petit nombre de personnes savait que des idées nouvelles, déjà prouvées mais pas encore admises, allaient radicalement changer notre vision du monde et influencer sur notre culture. Aujourd'hui, ces idées nouvelles sont fondées

1. Nous avons vu page 460 que certains éléments issus de notre parcours à travers les sciences donnaient du poids à l'hypothèse n° 4. Cela est donc encore plus vrai pour l'hypothèse n° 3, puisque chaque fois que l'on monte d'un niveau, on s'éloigne un peu plus de ce qui est démontrable.

2. Paul Davies, *L'esprit de Dieu*, Éditions du Rocher, 1995, p. 238.

sur l'incomplétude, le platonisme, le non-réductionnisme et le retour de la question du sens au cœur même de la science.

Nous avons vu que cette révolution conceptuelle était annonciatrice d'une immense révolution culturelle qui en est encore au stade embryonnaire. Il y a là une tâche exaltante pour les philosophes du XXI^e siècle (j'espère susciter des vocations en disant cela). Comme à l'époque des Lumières, tout un système philosophique est à bâtir pour intégrer dans la pensée de notre siècle les bouleversements survenus dans nos connaissances.

2. « L'Être est¹ »

Notre étude du réel nous a amené à conclure que ce qui existe vraiment, même si on ne peut en connaître les attributs, est plus proche d'un « Être » que d'une « chose ». Cela nous a conduit à rejeter la position selon laquelle rien ne serait réel ou, au contraire, la position selon laquelle la réalité serait connaissable, étant assimilable à ce que nous pouvons voir, toucher, mesurer, peser. Cela fait écho à une position philosophique qui a trait à la vérité.

Il y a trois positions possibles :

— La vérité existe et je peux la posséder en totalité (du moins en théorie). Position qui peut mener au scientisme *comme* au fondamentalisme religieux.

— Il n'y a pas de vérité absolue.

— Il y a une vérité absolue mais je ne pourrai jamais la posséder en totalité.

Les sophistes comme Protagoras soutenaient la deuxième position : « L'homme est la mesure de toute chose », disaient-ils. Rien n'existe indépendamment de nous. Le bien, le mal, la vérité sont des constructions humaines. Il n'y a pas de vérité absolue. Mais Aristote a fait exploser cela en faisant remarquer que s'il n'y a pas de vérité absolue, la proposition « Il n'y a pas de vérité absolue » ne saurait être absolument vraie ! Et si elle n'est pas absolument vraie, il en découle – logiquement ! – qu'il doit exister quelque chose d'absolument vrai, même si nous ne savons pas de quoi il s'agit²...

1. Parménide.

2. Deux mille cinq cents ans après, le génie de Gödel formalisera cela avec son théorème d'incomplétude en montrant que la transcendance de la vérité par rapport à la démonstration légitime une position comme celle que nous venons de décrire tout en rejetant le relativisme *et* l'absolutisme.

Ainsi, l'Être est, la vérité existe, mais on ne peut les posséder, ils sont hors de portée de toute approche totalisante ou totalitaire.

3. Une réouverture des chemins du sens¹

Cette révolution des connaissances rend possible des options philosophiques que l'on croyait dépassées ou peu crédibles et renverse bien des certitudes.

Ainsi en est-il du matérialisme sous sa forme habituelle. L'idée que tout (l'Univers, la vie, la conscience) ait pu apparaître sous l'effet des seules forces du hasard et de la sélection est une idée intéressante, audacieuse, qui a, pendant un certain temps, pu paraître solide mais qui est désormais peu probable et ultraspéculative.

L'opinion inverse selon laquelle notre Univers ferait partie d'un processus ayant un sens, voire un but est bien plus probable, lorsqu'on raisonne grâce à la philosophie des sciences, sans avoir recours à la religion. Quel extraordinaire et inattendu retournement de tendance !

Cela ne signifie pas que l'hypothèse d'un univers créé par un Dieu qui communique avec nous par l'intermédiaire des religions soit la plus probable. Nous avons vu qu'elle n'était pas plus probable que d'autres options non matérialistes (déisme, taoïsme, bouddhisme...). Mais elle est nettement plus probable que par le passé, lorsque la modernité considérait le monde comme étant contenu dans un seul niveau de réalité. Tout cela crée des conditions nouvelles pour le dialogue entre traditions et modernité comme entre les religions elles-mêmes (particulièrement grâce à la délégitimation de l'absolutisme que nous venons de décrire), et il me semble qu'on ne peut que s'en réjouir.

4. Le réenchantement par l'observation de l'Univers et de l'homme

Le « réenchantement du monde » auquel nous assistons est fondé à la fois sur le fait que l'Univers est beaucoup plus subtil et complexe que prévu et sur le fait que l'homme ne se résume pas à un assemblage de molécules. Cela avait été anticipé par

1. J'emprunte cette belle expression à Bernard d'Espagnat, cf. *Science et quête de sens*, *op. cit.*

Kant dans cette très belle phrase : « Deux choses emplissent mon esprit d'un émerveillement sans cesse croissant à chaque fois que je les considère : la voûte étoilée au-dessus de moi et la loi morale au-dedans de moi. » Et plus récemment, exprimé par René Lenoir : « Au nom de quoi affirmer que nous avons un devoir cosmique ? Au nom de cette exigence éthique au fond de nous qui fait partie de notre vie et de notre histoire. Au nom de cette aspiration qui nous tire vers l'Un, de cet appel vers la plénitude que des hommes, des mystiques, des poètes, vivent intensément. Au nom de ce presque rien dont l'invisible présence nous comble¹. »

La démarche que nous avons suivie ici en explorant nos connaissances sur l'homme et l'Univers arrive à une conclusion de ce type et constitue une voie rationnelle et non illusoire pour rejeter la « philosophie de l'absurde ».

5. La quête de l'Être et du monde de l'esprit

Jacques Monod concluait son célèbre ouvrage en disant : « L'homme sait enfin qu'il est seul dans l'immensité indifférente de l'Univers d'où il a émergé par hasard². »

Nous pouvons finir le nôtre en disant que trente-cinq ans après, « notre science n'est plus ce savoir classique » (comme le disait Prigogine au sujet de cette même phrase de Monod³), l'homme sait enfin qu'il participe à quelque chose qui le dépasse et qui a un sens.

Que nous ne puissions pas savoir par des méthodes rationnelles ce qu'est ce quelque chose et ce qu'est ce sens ne doit pas nous décourager. Bien au contraire, cela doit être une incitation pour chacun d'entre nous à chercher par nous-même notre propre réponse. À effectuer notre propre synthèse en veillant à ce qu'elle repose toujours sur ces deux piliers : le souffle que fournit la transcendance et la consistance que donne la raison.

Cela doit également être une façon de nous rappeler sans cesse que la chose la plus importante dans la vie n'est pas de lutter pour la conquête du pouvoir ou des richesses matérielles. Qu'il ne s'agit même pas (ô scandale !) de la lutte pour une répartition égale de la richesse (si souhaitable et noble que soit cette cause),

1. René Lenoir, *À la recherche du sens perdu*, Éditions Michalon, 2003.

2. Jacques Monod, *Le hasard et la nécessité*, op. cit., p. 225.

3. Voir Ilya Prigogine, Isabelle Stengers, *La nouvelle alliance*, Gallimard, 1979, quatrième de couverture.

car d'abondants témoignages attestent qu'il existe des milliardaires désespérés et des pauvres rayonnant de bonheur.

Non, le plus important, c'est de développer notre esprit. De le développer en essayant non seulement de mieux comprendre le monde, de mieux comprendre les autres, de mieux nous comprendre nous-même. Mais aussi, dans la mesure du possible, de le développer au point qu'il puisse se connecter à la source originelle de notre Être, dont nous ne pouvons rien dire sur le plan rationnel sauf qu'elle existe et qu'elle n'est pas située dans le temps, l'espace, l'énergie et la matière (ce qui n'est déjà pas mal).

C'est à cette quête de l'Être, à ce développement de notre esprit, si importants pour échapper à notre réduction à l'état d'*homo economicus* (ou d'*homo ludens*, noyé dans les jeux vidéo virtuels ou les jeux de hasard), si essentiels pour commencer à percevoir notre vraie nature, qu'Antoine de Saint-Exupéry faisait allusion dans une de ses dernières lettres : « Il n'y a qu'un seul problème de par le monde. Rendre aux hommes une signification spirituelle, des inquiétudes spirituelles. Faire pleuvoir sur eux quelque chose qui ressemble à un chant grégorien, [...] redécouvrir qu'il existe une vie de l'esprit plus haute encore que la vie de l'intelligence¹. »

1. Antoine de Saint-Exupéry, *Écrits de guerre*, Gallimard, 1982, p. 377.

Postface

Si une préface est faite pour introduire un ouvrage, une postface doit s'efforcer de faire un bilan du travail accompli et suggérer les ouvertures sur lesquelles il débouche.

La première partie du travail est la plus aisée. Il faut savoir gré à Jean Staune du travail colossal que représentent l'analyse et la collation des données scientifiques diverses et fondamentales sans lesquelles il est vain d'essayer de fonder une réflexion moderne sur l'homme. C'est d'autant plus vrai que, malgré les appels incessants à l'interdisciplinarité, chacun sentant bien les limites et insuffisances du cloisonnement des spécialités, celui qui se lance sur ce terrain s'expose aux sarcasmes des spécialistes qui l'accrocheront sur le moindre détail. On imagine le travail interdisciplinaire comme un effort de tout un groupe de spécialistes divers ; en réalité on s'aperçoit vite qu'il n'en sort que rarement de bons résultats mais plutôt la juxtaposition de données éparses. Il faut en fait que quelqu'un se lance et qu'il trouve des spécialistes pour critiquer ce qu'il a écrit et c'est bien cela que Jean Staune a essayé de faire. Cela devrait avoir évité les erreurs. En fournissant une version accessible au grand public d'une grande partie des données scientifiques le plus en pointe actuellement, il comble un gouffre.

Je trouve scandaleux, dans un pays qui se vante d'avoir établi l'enseignement de la philosophie dans le cursus préuniversitaire, de constater que l'on ne donne à ceux qui seront de jeunes bacheliers aucune information sur la physique quantique. Cette vision de nos conceptions sur l'Univers est pourtant infiniment plus révolutionnaire que ne le furent en leur temps les systèmes de Copernic ou de Newton. Le résultat de cette carence est que ceux qui se flattent souvent d'être des gens cultivés ne connaissent de

la physique quantique que son nom ; la plupart des philosophes eux-mêmes, après l'avoir saluée de loin, au mieux pour les questions ontologiques qu'elle révèle, l'ignorent ou, en tout cas, n'en font nul usage. Or il s'agit d'une mise en cause de la matière, que nous ne pouvons plus prendre pour une donnée d'évidence comme le fut la *res extensa* de Descartes. Les données les plus fondamentales de notre philosophie occidentale, la notion même de substance dont la stabilité et la permanence sont le fondement, sont mises en cause car, dans le monde quantique, c'est la relation qui est première : tout n'est qu'interférences. Les propriétés des objets quantiques pris entre eux dans de telles intrications sont si « évanescences » que leur réalité même est parfois mise en cause : ils pourraient n'être que des apparences. Certaines de ces propriétés ne sont pas sans évoquer des propriétés de l'« esprit », au point qu'Einstein cherchait à montrer l'invraisemblance de la théorie quantique en l'accusant de suggérer qu'existe entre les particules une sorte de « télépathie ».

Il devient plausible pour bien des esprits que la frontière entre la matière et l'esprit en tant que conscience n'est plus évidente et là se trouve la clé de l'abolition de l'opposition entre matérialisme et spiritualisme que j'ai défendue dès 1987¹ mais qui n'est que l'aboutissement d'un véritable pressentiment visionnaire de Bergson qui écrivait dans *Matière et mémoire*, dès 1896 avant l'aube de la physique quantique : « La matérialité de l'atome se dissout de plus en plus sous le regard du physicien... De fait, nous voyons force et matière se rapprocher et se joindre à mesure que le physicien en approfondit les effets. Nous voyons la force se matérialiser, l'atome s'idéaliser, ces deux termes converger vers une limite commune, l'Univers retrouver ainsi sa continuité. On continuera à parler d'atomes, l'atome conservera même son individualité pour notre esprit qui l'isole ; mais la solidité et l'inertie de l'atome se dissoudront soit en mouvements, soit en lignes de force, dont la solidarité réciproque rétablira une continuité universelle. » Certes, Bergson n'allait pas jusqu'à inclure la pensée dans cette unification des éléments naturels, mais à l'intérieur d'un livre sur les relations entre matière et mémoire, on ne peut douter que c'était bien là la finalité de sa recherche.

1. Dominique Laplane, *La mouche dans le bocal. Essai sur la liberté de l'homme neuronal*, op. cit.

La cosmologie a aussi bien changé et la démonstration universellement acceptée du big bang transforme notre vision scientifique du cosmos et apporte la démonstration de la non-permanence d'un chaos initial. Jean Staune a raison de souligner qu'il ne s'agit pas à proprement parler d'une preuve de la création, mais c'est quand même une couleuvre à avaler pour les matérialistes dans la mesure où la création redevient une interprétation plausible, par opposition à l'éternité stable du monde supralunaire.

La grande étude consacrée à l'évolution correspond aussi à une nécessité, vu le battage que mènent les extrémistes sur ce sujet. Je désigne sous ce nom les créationnistes, c'est-à-dire les négateurs de l'évolution mais aussi, dans une certaine mesure, les darwiniens. Au risque de surprendre, je ne me suis jamais intéressé aux *discussions* sur ce sujet car je les considère, d'une part, comme véritablement préscientifiques, d'autre part, dépourvues des enjeux philosophiques dont on les accable.

Les faits scientifiques se limitent, à mes yeux, à la constatation d'une évolution et cette constatation date de Lamarck. Les interprétations de cette évolution, les théories de l'évolution en d'autres termes, ne me paraissent pas scientifiques. Je ne me contenterai pas de reprendre la critique bien connue de Popper, sur le fait que ne reposant pas sur une base expérimentale, le darwinisme ne s'expose pas à une réfutation expérimentale. Il faut aller plus loin et voir ce qu'est réellement une théorie scientifique. Ce ne peut plus être aujourd'hui une recherche de la vérité ; l'abandon de la théorie newtonienne de l'attraction universelle au profit de la courbure de l'espace-temps nous a servi de leçon : l'attraction universelle a été en effet considérée comme un dogme par la physique du XIX^e siècle, celle qui nous promettait une interprétation complète et mécaniciste de l'Univers. Elle paraissait inattaquable. Désormais, nous savons que les théories scientifiques sont par essence caduques, en attente de réfutation. La véritable fonction de la théorie scientifique, si on passe sur la satisfaction trompeuse de notre curiosité, est d'être heuristique, c'est-à-dire de suggérer des idées nouvelles susceptibles d'orienter la recherche. Il n'y a donc aucune raison de se crispier autour d'une théorie ; il n'y a qu'à l'utiliser tant qu'elle produit des fruits. Le darwinisme a incontestablement suscité de nombreux travaux qui nous ont conduits à des découvertes mais celles-ci sont parfois difficiles à intégrer dans le darwinisme. À vrai dire, et c'est la raison de mon scepticisme à l'égard de la question de l'évolution, on manque d'une théorie vraiment heuristique à ce

jour et ce devra être la qualité première de la nouvelle théorie que Jean Staune appelle de ses vœux.

Je suis également sceptique en ce qui concerne la portée philosophique que l'on attribue à ces théories. Si on laisse de côté les affirmations créationnistes qui violent les constatations scientifiques, il n'est que de voir comment les partisans d'une création divine se sont adaptés au darwinisme en autorisant le créateur à utiliser le hasard, comme le fait d'ailleurs l'ingénieur qui a conçu le robot de ma piscine. Nul doute que si l'on en vient à montrer que l'évolution est orientée par diverses lois naturelles, les darwiniens, de leur côté, repousseront le hasard jusqu'à l'origine de ces lois, de même qu'ils refusent de se laisser séduire par le principe anthropique de l'Univers. Pourquoi ? Parce qu'on ne philosophe que sur ses préjugés, comme j'y reviendrai encore.

Une autre raison de me tenir à distance de la question de l'évolution est l'importance que les spécialistes paraissent accorder à la question de la classification et plus particulièrement à la place de l'homme dans cette classification : l'homme est-il un animal comme les autres ? Faut-il en conséquence ranger certains primates dans le genre *homo* ou alors faut-il réserver à l'homme une place à part ? La manière passionnée dont est menée cette discussion témoigne bien sûr des préjugés inclus dans cette classification mais plus encore d'une grave erreur épistémologique, celle de croire qu'il y a des classifications naturelles alors que de toute évidence les classifications ne sont jamais que dans notre tête et que cette tête les établit en fonction de ses idées préconçues qui ne sont souvent que des préjugés.

Les mêmes qui discutent ainsi acceptent que certains êtres vivants (pour rester dans ce cadre) sont bien difficiles à classer et que tout dépend des critères que l'on choisit, preuve que ce n'est pas la nature qui classe mais nous. La classification de Linné est certainement utile aux botanistes, ne serait-ce que pour identifier les végétaux entre eux, mais un fleuriste les classera par couleur, par taille ou par prix ! Lui aussi aura raison. Invité à faire une conférence sur la spécificité humaine mais désireux de ne pas ennuyer mon auditoire (ou moi-même ?) en débitant les poncifs habituels à ce sujet, j'ai essayé de montrer dans un premier temps que la fonction la plus élémentaire du cerveau était d'établir des ressemblances et que la détection des différences nécessite un cerveau en parfait état et parfois très entraîné, très performant, comme lorsqu'il s'agit de vrais jumeaux. Ma conclusion était que les cerveaux qui ne percevaient pas la différence entre les hommes

et les bonobos ne me paraissaient pas fonctionner au mieux. Disons-le franchement, j'ai surpris autant le public que les organisateurs. Il m'a fallu dès lors expliciter le but de ma démarche qui était de montrer que la question posée n'était peut-être pas la bonne question, mais qu'il fallait surtout examiner les préjugés de ceux qui la posaient, soit qu'ils ne veuillent pas entendre parler des différences, soit qu'il soient scandalisés par cette attitude.

Il ne faut pas déduire de tout cela un agnosticisme universel vis-à-vis des sciences car si les théories se succèdent, elles ne reviennent jamais au point de départ. Jean Staune insiste lui-même sur cette idée : personne n'avancerait l'idée de retourner au système de Ptolémée, dans lequel la Terre est immobile. Ce n'est là qu'un exemple parmi cent. Soit dit en passant, la preuve de la rotation de la Terre n'a pas été apportée par Galilée, qui n'a avancé que des (bonnes) raisons d'y croire. Contrairement à ce que l'on pense, ce que lui a reproché Rome, c'est de tenir pour certain ce qui n'était qu'une hypothèse¹ qui n'a été avérée que beaucoup plus tard par le pendule de Foucault en 1851 (si, du moins on se contente de cette preuve la plus simple et la plus évidente, bien qu'elle ne fût pas la première). Ce détail n'est pas une anecdote purement ponctuelle mais une illustration de la manière dont sont trop souvent abordées les discussions scientifiques encore aujourd'hui et une première illustration d'un point essentiel qu'on retrouvera plus loin : on ne philosophe que sur ses préjugés. Aujourd'hui, ce sont les darwiniens qui réclament des preuves formelles contre leur point de vue et n'admettent pas que l'on se contente de présomptions pour mettre en cause leur bible.

La question de la conscience est celle qui, en tant que neurologue, me touche au plus près, mais là encore nous n'avons pas en perspective de théorie scientifique à proprement parler. Ma remarque portera sur la question de la définition et de sa difficulté qui sert d'abri à plusieurs auteurs pour esquiver des difficultés encore plus grandes. Comme il arrive souvent, cette question me paraît

1. « Je dis que, s'il était vraiment démontré que le Soleil est au centre du monde et la Terre, au troisième ciel, et que ce n'est pas le Soleil qui tourne autour de la Terre mais la Terre autour du Soleil, il faudrait alors procéder avec beaucoup de circonspection dans l'explication des Écritures qui paraissent contraires à cette assertion et plutôt dire que nous ne les comprenons pas, que de dire que ce qui est démontré est faux. » Lettre du cardinal Bellarmin in *Rapport du cardinal Poupart*.

mal posée. Il est en effet plus que naturel que la définition de la conscience soit difficile car on ne peut, d'évidence, définir quoi que ce soit qu'à partir de concepts que nous avons préalablement définis, mais rien n'est préalable à la conscience ni logiquement ni chronologiquement puisque, par sa nature même, elle contient tout ce dont nous pouvons vouloir parler. On met souvent en avant le mot de William James selon lequel nous connaissons la signification du terme « conscience » aussi longtemps que personne ne nous demande de la définir (« *so long as no one asks us to define it* »). Mais ce besoin de définition n'est qu'une *manie de logicien* car l'essentiel est que nous nous entendions sur la signification ; pour cela il suffit de la désigner clairement. C'est pourquoi son identification comme présence à soi-même est suffisante, même si logiquement il reste à définir « présence » et surtout « soi-même », preuve s'il en était besoin, que toute définition est circulaire. Cette considération d'évidence nous évitera de suivre Wittgenstein dans le piège qu'il nous tend en suggérant que c'est un non-problème causé par le langage, alors que c'est le problème s'il en est ; ou alors de dire n'importe quoi comme c'est le cas de Crick lorsqu'il nous suggère (Jean Staune l'a déjà souligné), comme « hypothèse stupéfiante », que nos joies et nos peines ne sont que des agitations de molécules dans nos neurones. S'il nous disait que nos joies, nos peines, etc., ont pour corollaire les comportements de nos neurones, il n'avancerait qu'une banalité, mais dire que ma souffrance n'est qu'un mouvement d'électrons dans mes neurones est une ânerie. Le problème est justement dans le fossé, le hiatus, ou, pour parler moderne, le « gap » entre les deux et cette erreur se rencontre chez tous les philosophes ou neuroscientifiques qui prétendent régler le problème !

Le cinquième « grand mystère » qui figure dans le résumé conclusif du travail de Jean Staune est la « déraisonnable efficacité » des mathématiques. En tant que neurologue, j'aurais tendance à penser comme Changeux que les mathématiques sont l'œuvre de notre cerveau¹ et que leur application à la nature tient au fait qu'en général, lorsque nous nous lançons dans cet exercice, nous nous contentons d'approximations en simplifiant les problèmes, qu'il existe en effet des rapports numériques entre les objets et que les rapports sont justement ce que disent les mathémati-

1. Cf. Dominique Laplane, *Penser, c'est-à-dire ?*, *Enquête neurophilosophique*, op. cit.

ques. La question que doit résoudre le physicien est celle de trouver le langage qui convient. La découverte par Planck de quanta d'énergie est à ce titre exemplaire : « C'était une hypothèse purement formelle et je ne lui ai réellement pas accordé beaucoup de réflexion autre que, quel qu'en fût le coût, je devais amener un résultat positif. » Cela étant dit, la diversité des avis des mathématiciens sur ce sujet révèle sa difficulté et je ne vois pas comment le trancher définitivement. En revanche le théorème de Gödel a une portée théorique très grande. Le rêve de Hilbert, au début du XX^e siècle, a été de formaliser les mathématiques en sorte que les démonstrations ne laissent aucune place à l'*intuition* et soient ainsi toutes indiscutables. C'est cela que Gödel est venu ruiner. La place de l'intuition sera donc conservée, il y aura toujours des vérités mathématiques non démontrables. Les conséquences sont souvent élargies dans des domaines qui ne sont pas concernés parce qu'ils ne sont pas formalisables, or il va de soi que dans ces domaines, aucune vérité n'est démontrable *formellement*. Invoquer le théorème de Gödel à leur sujet est un non-sens. De mon point de vue, le résultat le plus important est de remettre la logique *formelle* à sa juste place d'instrument utilisable dans certaines circonstances très précises mais assez rares en philosophie ; c'est un des éléments qui justifient ma défiance vis-à-vis de l'hyperlogicisme que j'ai dénoncée plus haut.

Si nécessaires qu'ils soient pour fonder une pensée moderne, tous ces éléments ne suffisent pas pour répondre à la question aujourd'hui fondamentale : notre vie a-t-elle un sens ? La réflexion philosophique doit prendre le relais. Mais cette philosophie doit être non seulement *fondée* sur les données contemporaines des sciences mais *imprégnée* par elles.

Un reproche qu'on peut faire à beaucoup de philosophes, c'est de raisonner de façon purement sectorielle. Michel Onfray s'est déjà fait épingler par Jean Staune pour n'avoir justifié son matérialisme que par sa haine des religions ; c'est symptomatique de ce que j'appellerai plus loin ses préjugés, mais ce n'est possible qu'en évitant de se poser la question de la liberté de l'« homme neuronal », le seul que veuille connaître un matérialiste. Or, chacun le sait, les neuroscientifiques matérialistes se répartissent sur la question de la liberté en deux groupes, soit qu'ils la nient mais se conduisent comme si elle existait, introduisant la contradiction non dans leur raisonnement, mais de façon plus grave dans leur comportement, soit qu'ils la réduisent à une simple indétermina-

tion montrant à quel point leur réflexion sur le sujet est courte. Aux premiers on peut répondre comme Aristote confronté aux sophistes : « Ce qu'on dit, il n'est pas toujours nécessaire qu'on le pense¹ » et le commentaire d'Aubenque : « Il est moins intéressant de savoir ce que ces philosophes pensaient, puisqu'ils pensaient au fond comme tout le monde, que de savoir pourquoi ils ont dit ce qu'ils ne pouvaient raisonnablement penser et d'expliquer cette contradiction². » Nous essaierons de le faire plus loin. Aux seconds, on peut répondre qu'ils se comportent comme la mouche dans le bocal, dont les points d'arrêt sont indéterminés mais sont forcément situés dans le bocal. L'imprévisibilité est loin d'être la seule caractéristique de la liberté. Il faut bien sûr une capacité à penser et agir par soi-même et sans contrainte, ce qui veut dire que « par soi-même » ait un sens. Il faut autre chose qu'une pensée directement issue des supposées lois de la matière, qu'elles soient déterministes ou probabilistes. Quand « ça pense » en nous, comme le disait Lacan, il ne peut y avoir de liberté.

Les philosophes, eux, dans leur majorité, croient en notre liberté. Elle leur apparaît comme une évidence phénoménologique, suivant en cela Jean-Paul Sartre auquel beaucoup, en France du moins, se rapportent. Mais l'ayant posée, à juste titre selon moi, ils ne se préoccupent nullement de la manière dont elle s'incarne dans notre chair. S'ils y pensaient, ils verraient bien qu'il n'est pas possible de faire sortir la liberté d'un cerveau-machine soumis uniquement aux lois de la physique. Pour y parvenir, il faut abandonner un matérialisme strict et l'opposition entre matérialisme et spiritualisme pour devenir alors (comme je l'ai proposé) un matérialiste-spiritualiste. Certains ont pris cette attitude pour une marque d'humour, tellement cela peut paraître surprenant. Cela fait au contraire partie des positions *philosophiques* (non pas scientifiques) que la science actuelle peut nous permettre sans tomber sous son couperet. J'admets que la position de transformation de l'énergie-matière en pensée-conscience, qui est l'axiome que j'ai proposé, n'est probablement qu'une des options possibles de cette philosophie qui cherche son meilleur mode d'expression mais qui me paraît en elle-même inéluctable.

1. *Metaphysique*, gamma, 3, 1005 à 1025.

2. Pierre Aubenque, *Le problème de l'Être chez Aristote*, PUF, 2002.

Et voici que si nous ne sommes pas des matérialistes purs et durs nous avons ouvert la question de ce qui pense en nous, individu ou personne, et cette question, inévitable lorsque se pose la question du sens de la vie, demande une réinvestigation à la lumière des données récentes de la neuropsychologie et de la psychosociologie¹. Il faut d'une part intégrer le fait que l'ipséité, c'est-à-dire le sentiment que nous avons d'être nous-mêmes et qui nous permet de dire « je », est une donnée quasi biologique, très proche de la conscience de soi, et probablement identique à elle ; prendre acte notamment que les philosophes, à la suite de Nietzsche, ont fait fausse route en supposant que le « je » est une invention de la grammaire, comme le montrent sans appel les observations sur l'autodésignation des enfants sourds-muets avant et après leur éducation dans la langue des signes. Voir aussi que la question de la mêmeté (Ricœur²), c'est-à-dire de notre identité ou encore du sentiment de continuité qui nous habite malgré nos changements, est gravement engagée. On ne peut plus partir de la constatation de son évidence. La révolution dans les mœurs des années 1960, l'abandon de tout repère, sous prétexte de pouvoir agir enfin librement, par la brutalité même de la rupture qu'elle a représentée dans la continuité de la société et de ses membres, a apporté la preuve de la dissolution identitaire, au point que le sociologue Jean-Claude Kaufmann³ a pu avancer pour nouvelle définition de l'identité comme une perpétuelle tentative d'autojustification, des décisions hasardeuses et impulsives prises par nos contemporains sans la moindre préoccupation de leurs conséquences. En d'autres termes, ce qui reste de notre continuité ne se manifeste que par l'autojustification permanente de la discontinuité. L'identité que décrivait le travail fondamental d'Erik Erikson en 1967⁴, était centrée sur l'adhésion collective à un consensus éthique, ce qui n'excluait nullement les variantes personnelles « réussies ». Alors que Ricœur fait de la mêmeté la condition nécessaire pour pouvoir engager sa parole (et qui pourrait le lui contester ?), tout le monde sait que la plaie de notre société est l'incapacité de ses membres à pouvoir s'engager et, lorsqu'ils le font malgré tout, l'incapacité à tenir

1. Dominique Laplane, *La mouche dans le bocal...*, op. cit.

2. Paul Ricœur, *Soi-même comme un autre*, Seuil, 1990.

3. Jean-Claude Kaufmann, *L'invention de soi. Une théorie de l'identité*, Armand Colin, 2004.

4. Erik Erikson, *Adolescence et crise (la quête de l'identité)*, Flammarion, 1978.

l'engagement, d'où la fréquence des dissensions parentales, des divorces et de leurs conséquences bien connues sur la déviance juvénile et maintenant infantile.

Les sociologues paraissent d'accord sur cette perte des « repères » et sur leurs conséquences. Le livre phare à ce sujet est *La fatigue d'être soi* d'Alain Ehrenberg¹ qui constate que le résultat de cette « perte des valeurs » est la vocation de nos contemporains à la dépression par lassitude de porter seuls la responsabilité de décisions qu'aucune sagesse collective ne les aide à évaluer en temps utile. Jean-Claude Kaufmann est d'accord avec ce constat et ne propose comme alternative aux victimes que la paranoïa. Le suicide apparaît aussi dans le livre de Michel Maffesoli². Curieusement, les sociologues, qui pourtant se sentent chargés de la thérapeutique sociale, démissionnent arguant qu'il n'y a pas de remède car cette perte des repères est la conséquence de la liberté ou l'expression de celle-ci. La liberté est ici conçue comme la possibilité d'agir sans règle et, de fait, sans souci des conséquences qu'on paraît ne pas deviner. Personne, est-il dit, ne voudrait retourner vers « l'étouffoir disciplinaire » ! J'appelle les philosophes à la rescousse pour remettre un peu de bon sens dans la tête de sociologues qui paraissent ignorer totalement ce que peut être la liberté, d'autant mieux qu'ils reconnaissent eux-mêmes que l'addiction à la drogue est à la fois la conséquence de ce qu'ils appellent la liberté et une perte de liberté.

Il faut qu'on leur fasse comprendre que la liberté n'est pas la capacité de faire n'importe quoi mais au contraire d'agir selon ce que l'on est, qu'il faut donc d'abord être quelqu'un qui peut compter sur soi et sur lequel les autres peuvent compter. Ce que nous a démontré la crise dite de 68, c'est que nous n'existons que comme des êtres en relation, qu'à l'échelon psychologique nous retrouvons la même situation qu'au niveau quantique. Les objets de la physique traditionnelle s'effacent dans l'interrelation, la « substance aristotélicienne » se dissout dans la relation, l'échange et le mouvement. L'idée sous-jacente à la démarche des sociologues qui font finalement l'apologie de 68 est que nous existons par nous-mêmes comme des objets newtoniens et que la société nous déforme.

1. Alain Ehrenberg, *La fatigue d'être soi*, Odile Jacob, 1999.

2. Michel Maffesoli, *L'instant éternel. Le retour du tragique dans les sociétés postmodernes*, Denoël, 2000.

Comment ne pas voir que cet immense virage de toute une société dans les années 1960-1970 est la preuve du contraire. Le travail de sape des valeurs organisé par nos « élites intellectuelles » a bel et bien entraîné la bascule de la société. De nouveaux types relationnels ont transformé les membres de la société, ce qui montre bien qu'ils dépendent de leurs modalités relationnelles. Leur dépendance n'est pas moindre que dans la société éthiquement stable !

Nous voici donc contraints à voir la personne sous un autre jour que l'individu, ce qui n'est évidemment pas une nouveauté, simplement aujourd'hui, c'est un anachronisme. Tout cela a été fait au nom de la liberté, je n'y reviens pas et au nom du bonheur des populations. Lorsqu'on voit le résultat tel que nous le décrivent les sociologues, tel que nous le constatons tous et pas seulement les pères rabat-joie, on est conduit à s'interroger. On peut se demander si la cause de l'évidente morosité dépressive de notre société avec sa surconsommation des antidépresseurs, l'augmentation dramatique de fréquence des suicides (justement depuis les années 1970), etc., est bien ce sentiment de « responsabilité » entraîné par la perte des normes, comme le disent les sociologues. S'ils avaient la moindre expérience psychiatrique, ils sauraient que la grande responsable des états dépressifs dits réactionnels, c'est la perte de la relation. Je n'ai pas la place de le démontrer plus avant ici, mais tout le monde le sait, le corollaire de la perte des valeurs est l'hyper individualisation des destinées, c'est-à-dire aussi bien la perte de relation, ou du moins sa fragilité, personne n'étant plus responsable de personne. Le naturel avec lequel est généralement traitée la difficile question de l'avortement comme un non-problème en est un des témoignages les plus spectaculaires.

À l'inverse, si au lieu d'être un individu, chaque humain est une personne, c'est-à-dire un être en relation, alors on ne s'étonne plus de l'état désastreux de notre société. Le *hic* est que la relation demande un certain effacement de la personne pour faire place à l'autre, et c'est cela qui a été rejeté en supposant que le bonheur était au bas de la pente de la facilité¹. Je n'ai pas non plus la place pour montrer que la grande préoccupation du moment, la violence juvénile et infantile, appartient au même

1. C'était le thème central de mon livre *Le bonheur est-il pour les imbéciles ?*, Fayard, 1979.

ensemble mais tout lecteur un peu avisé n'a pas grand effort à faire pour le comprendre. D'ailleurs, le mot de déviance juvénile a été créé en 1968, cela ne s'invente pas, pour désigner non pas les cas individuels de délinquance qui ont toujours existé mais l'épidémie de comportements asociaux qu'on a observée depuis ces années. La nouveauté est que cette déviance s'est étendue à l'enfance, l'autre nouveauté, c'est que le mot est de moins en moins employé parce que la fréquence exclut le terme de déviance qui suppose une sortie de la voie alors que l'existence d'une voie est prise pour une atteinte à la liberté !

Peut-être le lecteur se demande-t-il quel est le rapport entre ce que j'écris là et le livre de Jean Staune ? Mon souci est de montrer la nécessité primordiale, notamment au sens chronologique de ce mot, de son travail, mais aussi la nécessité de le prolonger dans un système philosophique *complet*. Qu'est-ce qui me fait dire que les sciences étudiées dans ce livre sont bien à l'origine de notre crise de société ? Le responsable primordial, s'il faut en désigner un alors qu'il s'agit d'une évolution progressive des mentalités depuis Galilée, serait Descartes qui, le premier, a posé la question du « je » et celle des rapports entre la pensée et le corps ou le cerveau. C'est lui qui a poussé en avant (de façon posthume et à son corps défendant, si on ose dire) l'homme machine de La Mettrie et la constatation de Gilbert¹ : « En suivant la raison, nous ne dépendons que de nous-mêmes, et nous devenons par là en quelque façon des dieux. » Il faut donc d'abord corriger non pas la science mais le scientisme qui en est issu, et c'est à le faire que Jean Staune s'est efforcé. Certes, de nombreux facteurs sont venus s'ajouter qui relèvent avant tout des sciences humaines, mais s'il faut commencer par le commencement, il ne faut pas oublier que le commencement n'est qu'un début ! Or je n'appelle à rien de moins qu'à un système philosophique holistique pour pouvoir vérifier que la cohérence logique entre les parties est bien respectée, et pas seulement la cohérence d'une branche par rapport à elle-même.

Je pense même que la philosophie elle-même doit être profondément revue. Elle doit d'abord éviter de se perdre dans le labyrinthe du langage dans lequel elle s'est enfermée en niant, contre l'évidence scientifique neuropsychologique, l'existence d'une

1. Claude Gilbert, *Histoire de Caléjava ou de l'Isle des hommes raisonnables*, 1700.

pensée sans langage. Comme personne ne défend plus la transparence du langage par rapport au monde, en refusant que notre langage traduise une pensée déjà largement préformée, elle a transformé, comme par inadvertance, le langage en un code autoréférentiel, une aberration à l'origine d'un siècle de recherches vaines¹. Elle doit prendre aussi en compte cette évidence que l'on ne philosophe qu'à partir de ses préjugés. Je dis bien préjugés et non présupposés car ce n'est pas le niveau intellectuel qui est seul mis en cause mais le choix fondamental et en définitive préalable du sens ou du non-sens de la vie. J'ai déjà soulevé cette évidence ailleurs². Je soutiens que ce n'est pas la mort de la philosophie mais une explication complète de son incapacité à créer un raisonnement unanime, bien plus fondamental que la critique de la raison pure, si fondée qu'elle soit. Cette prise en compte permet de limiter son action à une vérification de cohérence comme je l'ai montré pour la liberté, impossible à incorporer dans un système strictement matérialiste, mais qui vaut pour plusieurs vérités éthiques comme la dignité de l'homme et pour les droits de l'homme. Ainsi pourrait se recréer un certain consensus éthique dont Erik Erikson a montré de façon convaincante qu'il était indispensable à la recreation d'une identité forte, c'est-à-dire d'une cohérence sociale. Mais un sens à la vie ? En dehors de bricolages genre méthode Coué, consistant à donner un sens personnel à sa propre vie alors même qu'on sait qu'elle n'en a pas, je ne vois que les religions ou quasi-religions pour le faire³. La science est muette sur ce point et la philosophie ne peut aller plus loin que constater que rien ne s'y oppose. Et je ne crois pas que notre société supporte bien longtemps le marasme dans lequel elle s'est enfoncée.

Contribuer au réenchantement du monde, selon le mot de Prigogine, tel est le véritable but de cet ouvrage. Dans l'atmosphère scientiste actuelle, c'est bien par la science qu'il fallait débiter, comme l'a fait Jean Staune, même s'il faut la dépasser comme ces quelques lignes de postface ont essayé de le rappeler.

Dominique LAPLANE

1. Dominique Laplane, *op. cit.*

2. *Ibid.*

3. Dominique Laplane, *Un regard neuf sur le génie du christianisme*, F.-X. de Guibert, 2^e éd., 2006.

Guide de lecture

Si vous êtes désireux de continuer cette exploration de la nouvelle vision du monde que nous donnent les progrès de nos connaissances, voici quelques indications forcément subjectives, issues de mon expérience personnelle.

En physique quantique, l'ouvrage le plus accessible est incontestablement *Le cantique des quantiques* de Sven Ortoli et Jean-Pierre Pharabod. C'est le livre par lequel il faut commencer si vous n'avez rien lu dans ce domaine. Vingt-cinq ans après sa sortie, *À la recherche du réel* de Bernard d'Espagnat, est toujours incontournable en ce qui concerne les implications philosophiques de la mécanique quantique. Du même auteur, le *Traité de physique et de philosophie*, beaucoup plus récent, est une somme d'une importance exceptionnelle pour les idées qui ont été traitées ici, mais il reste d'un accès plus difficile.

Les anglophones pourront se procurer *In search of divine reality* de Lothar Schäfer (une traduction française est en préparation), ouvrage qui va très loin dans la déconstruction du matérialisme qu'apporte la physique quantique.

En astrophysique, les ouvrages de Trinh Xuan Thuan (*La mélodie secrète*) et d'Hubert Reeves (*Patience dans l'azur, L'heure de s'enivrer*), même s'ils sont anciens, constituent une très bonne introduction à la cosmologie moderne pour ceux qui voudraient la découvrir. Ceux qui souhaiteraient obtenir des informations sur les tout derniers développements en cosmologie (théorie des super-cordes, théorie M) peuvent les trouver dans les ouvrages de Brian Greene (*L'univers élégant, La magie du cosmos*), mais ils sont moins accessibles. Ceux qui veulent en savoir davantage sur ces fascinants objets que sont les trous noirs pourront se pencher

sur la question grâce à l'ouvrage de Jean-Pierre Luminet qui porte leur nom. Ceux qui désirent, en plus des trous noirs, s'initier à la relativité générale, liront *Trous noirs et distorsions du temps* de Kip Thorne.

En biologie, les ouvrages les plus accessibles sont ceux de Stephen Jay Gould et Rémy Chauvin. *L'éventail du vivant* et *La vie est belle* de Gould présentent une vision de l'évolution totalement livrée à la contingence alors que *Biologie de l'esprit* et *Le darwinisme ou la fin d'un mythe* de Chauvin offrent une vision opposée, celle d'une évolution dirigée vers le développement de la conscience, ce qui rejoint les intuitions de Pierre Teilhard de Chardin. Si l'on veut comprendre l'évolution et sa signification de façon globale, le meilleur ouvrage est, selon moi, *L'évolution a-t-elle un sens ?* de Michael Denton. Malgré sa taille, il est accessible (à condition de sauter les passages techniques). Plus orienté sur l'origine de la vie, *Poussière de vie* de Christian de Duve est également très important, ainsi que *Life's solution* de Simon Conway-Morris (mais cet ouvrage est plus technique et n'est pas traduit) ; il montre moins comment l'un des plus grands spécialistes du domaine peut développer des vues s'opposant à la fois à celles de Gould et à celles de Dawkins. Bien que je sois en désaccord avec sa conclusion (qui soutient les manipulations génétiques), l'ouvrage de Vincent Fleury *De l'œuf à l'éternité* me paraît important, car il montre que des conceptions radicalement nouvelles sont possibles en biologie à partir d'idées très simples.

Dans les sciences de la conscience, l'ouvrage de John Searle *Le mystère de la conscience* est la meilleure introduction au grand débat sur le problème fondamental : d'où vient que nous éprouvions des choses, que nous soyons conscients d'exister ? Dominique Laplane est l'auteur des ouvrages français les moins réducteurs en ce qui concerne cette question : *Penser, c'est-à-dire ?*, *La mouche dans le bocal, essai sur la liberté de l'homme neuronal*. Au plan scientifique, l'ouvrage indispensable est *Mind time* de Benjamin Libet mais il est un peu ardu et n'existe pas en français. *Comment la conscience contrôle le cerveau* de sir John Eccles est également ardu mais contient la démonstration de la possibilité théorique du dualisme. Enfin, *The spiritual brain* de Mario Beauregard, qui est sous presse au moment où je termine cet ouvrage, sera certainement un ouvrage important dont on

peut penser qu'il sera traduit en français, son auteur étant québécois.

En mathématiques, il n'existe aucun ouvrage facile ! Il faut néanmoins signaler *L'esprit, l'ordinateur et les lois de la physique* (qui contient une présentation du platonisme en mathématiques) et *Les ombres de l'esprit* (qui contient une démonstration très accessible du théorème de Gödel au chapitre 2). Ces deux ouvrages de Roger Penrose sont des feux d'artifice abordant de nombreux autres sujets. *Einstein et Gödel, quand deux génies refont le monde* de Pale Yourgrau contient des informations intéressantes sur Gödel et est assez accessible.

Pour respectivement l'athéisme et l'agnosticisme, je recommande particulièrement *L'esprit de l'athéisme, introduction à une spiritualité sans Dieu* d'André Comte-Sponville et *L'homme Dieu ou le sens de la vie* de Luc Ferry. Pour une position de type déiste hors de toute religion, *L'esprit de Dieu* de Paul Davies. *Quand la science rencontre la religion* de Ian Barbour me paraît être une introduction essentielle à ce nouveau domaine en plein développement, les liens entre science et religion. L'auteur en est un des fondateurs. En France, le père Thierry Magnin est, selon moi, le plus avancé dans ce domaine, d'où l'importance de son livre *Entre science et religion*.

Je me permets de recommander également l'ouvrage que j'ai dirigé *Science et quête de sens*, qui contient des textes de nombreux scientifiques – offrant des perspectives très diverses – parmi lesquels Paul Davies, Bernard d'Espagnat, Bruno Guiderdoni, Michael Heller, Jean Kovalevsky, Thierry Magnin, Charles Townes, Trinh Xuan Thuan. Les ouvrages de synthèse abondant, comme je l'ai fait ici, l'ensemble de ces thèmes, sont très rares. Le meilleur est, selon moi, celui de Trinh Xuan Thuan *Le chaos et l'harmonie*.

Bibliographie thématique

Physique

BELL John S., *Speakable and unspeakable in quantum mechanics*, Cambridge University Press, 1987.

BOHR Niels, *Physique atomique et connaissance humaine*, Gallimard, 1991.

BOHM David, *Wholeness and the implicate order*, Routledge & Kegan Paul, Londres, 1980.

ESPAGNAT Bernard d', *À la recherche du réel*, Gauthier-Villars, 2^e édition, 1981.

—, *Le réel voilé*, Fayard, 2004.

—, *Traité de physique et de philosophie*, Fayard, 2002.

—, *Un atome de sagesse*, Seuil, 1982.

FEYNMAN Richard, *La nature de la physique*, Seuil, 1979.

GAMOV George, *Mr Tompkins au pays des merveilles*, Le Pomnier, 2000.

GELL-MANN Murray, *Le quark et le jaguar*, Albin Michel, 1985.

HEISENBERG Werner, *La partie et le tout*, Flammarion, 1972.

HOFFMAN, Banesh, *L'étrange histoire des quanta*, Seuil, coll. « Points », 1981.

MERMIN David, *Boojums all the way through*, Cambridge University Press, 1990.

NADEAU Robert, KAFATOS Menas, *The non-local universe*, Oxford University Press, 1999.

NICOLESU Basarab, *Nous, la particule et le monde*, Le Mail, 1985.

OMNÈS Roland, *Philosophie de la science contemporaine*, Gallimard, 1994.

ORTOLI Sven, PHARABOD Jean-Pierre, *Le cantique des quantiques*, La Découverte, 1984.

PULLMAN Bernard, *L'atome*, Fayard, 1995.

SCHÄFER Lothar, *In search of divine reality*, University of Arkansas Press, 1997.

SCHRÖDINGER Erwin, *L'esprit et la matière*, Seuil, 1990.

SELLERI Franco, *Le grand débat de la théorie quantique*, Flammarion, 1986.

ZUKAV Gary, *La danse des éléments*, Robert Laffont, 1982.

ZWIRN Hervé, *Les limites de la connaissance*, Odile Jacob, 2002.

Astrophysique

ABRAMS Nancy et PRIMACK Joel, *The view from the center of the universe*, Riverhead Books, 2006.

BARROW John, *Les origines de l'univers*, Hachette, 1997.

BARROW John et TIPLER Frank, *The anthropic cosmological principle*, Oxford University Press, 1986.

BOIS Éric, *L'univers sans repos*, Peter Lang, 2002.

BOUQUET Alain et MONNIER Emmanuel, *Matière noire*, Dunod, 2003.

DEMARET Jacques et LAMBERT Dominique, *Le principe anthropique, l'homme est-il le centre de l'univers ?*, Armand Colin, 1994.

DYSON Freeman, *Les dérangeurs d'univers*, Payot, 1986.

EINSTEIN Albert, *Comment je vois le monde*, Flammarion, 1979.

GONZALEZ Guillermo et RICHARDS Jay, *The privileged planet : how our place in the cosmos is designed for discovery*, Regnery, 2004.

GREENE Brian, *La magie du cosmos*, Robert Laffont, 2005.

—, *L'univers élégant*, Robert Laffont, 2000.

HAWKING Stephen, *Une brève histoire du temps*, Flammarion, 1989.

LUMINET Jean-Pierre, *Les trous noirs*, Seuil, 1998.

—, *L'invention du big bang*, Seuil, 2004.

—, *L'univers chiffonné*, Fayard, 2001.

NOTTALE Laurent, *La relativité dans tous ses états. Au-delà de l'espace-temps*, Hachette, coll. « Sciences », 1998.

PETT Jean-Pierre, *Les enfants du diable*, Albin Michel, 1995.

REEVES Hubert, *L'heure de s'enivrer*, Seuil, 1986.

—, *Patience dans l'azur*, Seuil, 1981.

SMOOT George et DAVIDSON Keay, *Les rides du temps. L'univers 300 000 ans après le big bang*, Flammarion, 1994.

THORNE Kip, *Trous noirs et distorsions du temps*, Flammarion, 1997.

TRINH XUAN THUAN, *La mélodie secrète*, Fayard, 1988.

—, *Le chaos et l'harmonie*, Fayard, 1998.

WEINBERG Steven, *Le rêve d'une théorie ultime*, Odile Jacob, 1997.

—, *Les trois premières minutes de l'univers*, Seuil, 1978.

Biologie

BEHE Michael, *Darwin's black box*, The Free Press, Simon and Schuster, 1996.

CHALINE Jean, *Quoi de neuf depuis Darwin ?*, Ellipses, 2006.

CHALINE Jean et DEVILLERS Charles, *La théorie de l'évolution*, Dunod, 1990.

CHALINE Jean et MARCHAND Didier, *Les merveilles de l'évolution*, Presses universitaires, Dijon, 2002.

CHALINE Jean, NOTTALE Laurent, GROU Pierre, *Les cycles de l'évolution*, Hachette, 2000.

CHANDEBOIS Rosine, *Pour en finir avec le darwinisme*, Éditions Espace 34, 1993.

CHAUVIN Rémy, *Biologie de l'esprit*, Éditions du Rocher, 1985.

—, *Le darwinisme ou la fin d'un mythe*, Éditions du Rocher, 1997.

CONWAY-MORRIS Simon, *Life's solution*, Cambridge University Press, 2003.

DAMBRICOURT Anne, *La légende maudite du XX^e siècle*, La Nuée Bleue, 2000.

D'ARCY Thompson, *Forme et croissance*, Seuil, 1994.

DARWIN Charles, *L'origine des espèces*, Flammarion, 1999.

DAWKINS Richard, *Le fleuve de la vie*, Hachette, 1997.

—, *Le gène égoïste*, Armand Colin, 1990.

—, *L'horloger aveugle*, Robert Laffont, 1989.

DEACON Terrence W., *The symbolic species : the co-evolution of language and brain*, Norton and company, 1997.

DENNETT Daniel, *Darwin est-il dangereux ?*, Odile Jacob, 2000.

DELSOL Michel, avec la collaboration de SENTIS Philippe et FLATIN Janine, *L'évolution biologique en vingt propositions*, Vrin, 1991.

DENTON Michael, *Évolution, une théorie en crise*, Flammarion, 1992.

- , *L'évolution a-t-elle un sens ?*, Fayard, 1997.
- DORST Jean, *Et si l'on parlait un peu de la vie ?*, Maisonneuve et Larose, 1999.
- DUVE Christian de, *Poussière de vie*, Fayard, 1996.
- ELDREDGE Niles, *Reinventing Darwin*, John Wiley & Sons, 1995.
- FLEURY Vincent, *De l'œuf à l'éternité, le sens de l'évolution*, Flammarion, 2006.
- FONDI Roberto, *La révolution organiciste*, Livre Club du Labyrinthe, 1986.
- FONDI Roberto et SERMONTI Giuseppe, *Dopo Darwin*, Rusconi, Milan, 1980.
- GOODWIN Brian, *How the leopard changed its spots*, Touchstone Books, 1996.
- GOULD Stephen Jay, *Darwin et les grandes énigmes de la vie*, Seuil, 1984.
- , *Et Dieu dit : que Darwin soit !*, Seuil, 2000.
- , *La foire aux dinosaures*, Seuil, 1993.
- , *La vie est belle*, Seuil, 1991.
- , *Le pouce du panda*, Grasset, 1980.
- , *L'éventail du vivant*, Seuil, 1997.
- , *La malmesure de l'homme : l'intelligence sous la toise des savants*, Ramsay, 1983.
- GRASSÉ Pierre-Paul, *L'évolution du vivant*, Albin Michel, 1973.
- JACOB François, *Le jeu des possibles*, Fayard, 1981.
- JOHNSON Philip, *Le darwinisme en question*, Pierre d'Angle, 1996.
- JOHNSON Steven, *Emergence*, Scribner, 2001.
- KAUFFMAN Stuart, *At home in the Universe*, Oxford University Press, 1995.
- KIMURA Motoo, *Théorie neutraliste de l'évolution moléculaire*, Flammarion, 1990.
- KIPLING Rudyard, *Histoires comme ça*, Gallimard Jeunesse, coll. « Folio Junior », 1979.
- KOESTLER Arthur, *L'étreinte du crapaud*, Calmann-Lévy, 1972.
- LAMOTHE Maxime, *Théorie actuelle de l'évolution*, Hachette, 1994.
- LEWONTIN Richard C., ROSE Steven, KAMIN Leon J., *Not in our genes : biology, ideology and human nature*, Pantheon Books, 1984.
- McFADDEN John Joe, *Quantum evolution*, Norton, 2000.
- MAE Wan Ho, *The rainbow and the worm*, World scientific, 1998.
- MAYR Ernst, *La biologie de l'évolution*, Hermann, 1981.

- MILLER Ken, *Finding Darwin's God*, Harper and Collins, 1999.
 MARGULIS Lynn, *L'univers bactériel*, Seuil, 2002.
 MAYNARD SMITH John, *La biologie*, Belin, 1980.
 MIVART Georges, *La genèse des espèces*, 1871.
 MONOD Jacques, *Le hasard et la nécessité*, Seuil, coll. « Points », 1973.
 NEEDHAM J., *Biochemistry and morphogenesis*, Cambridge University Press, 1942.
 RIDLEY Mark, *L'évolution*, Belin, 1989.
 STANLEY Steven, *The new evolutionary timetable*, Basic Books, 1981.
 STEELE Edmond, LINDLEY Robyn A. et BLANDEN Robert, *Lamarck's signature : how retrogenes are changing Darwin's natural selection paradigm*, Perseus Publishing, 1988.
 TORT Patrick (dir.), *Pour Darwin*, PUF, 1997.
 WILSON Edward, *La sociobiologie*, Éditions du Rocher, 1987.

Neurologie

- BEAUREGARD Mario, O'LEARY Denyse, *The spiritual brain*, Harper, San Francisco, 2007.
 CHALMERS David, *The conscious mind*, Oxford University Press, 1996.
 CHANGEUX Jean-Pierre, *L'homme neuronal*, Hachette, 1998.
 CHANGEUX Jean-Pierre (dir.), *Fondements naturels de l'éthique*, Odile Jacob, 1993.
 CLAYTON Philip, *Mind and emergence*, Oxford University Press, 2004.
 CRICK Francis, *L'hypothèse stupéfiante*, Plon, 1995.
 DAMASIO Antonio, *L'erreur de Descartes*, Odile Jacob, 1995.
 DENNETT Daniel, *La conscience expliquée*, Odile Jacob, 1993.
 ECCLES John, *Comment la conscience contrôle le cerveau*, Fayard, 1997.
 —, *Évolution du cerveau, création de la conscience*, Fayard, 1992.
 EDELMAN Gérald, *Biologie de la conscience*, Odile Jacob, 1992.
 HOFSTADTER Douglas et DENNETT Daniel, *Vues de l'esprit*, InterÉditions, 1987.
 LAPLANE Dominique, *La mouche dans le bocal, essai sur la liberté de l'homme neuronal*, Plon, 1987.
 —, *La pensée d'outre-mots, Les empêcheurs de penser en rond*, 1997.
 —, *Penser, c'est-à-dire ?*, Armand Colin, 2005.
 LIBET Benjamin, *Mind time*, Harvard University Press, 2004.

- MOODY Raymond, *La vie après la vie*, Robert Laffont, 1977.
 NEWBERG Andrew, AQUILLI Eugène d', RAUSE Vince, *Pourquoi Dieu ne disparaîtra pas*, Sully, Vannes, 2003.
 POPPER Karl et ECCLES John, *The self and its brain*, Springer, 1977.
 SPERRY Roger, *Science and moral priority*, Columbia University Press, 1992.
 SABOM Michael, *Souvenirs de la mort*, Robert Laffont, 1983.
 SEARLE John, *Le mystère de la conscience*, Odile Jacob 1999.
 VAN EERSEL Patrice, *La source noire*, Grasset, 1986.

Mathématiques

- ARSAC Jacques, *Les machines à penser : des ordinateurs et des hommes*, Seuil, 1987.
 CONNES Alain, LICHNEROWCZ André, SCHÜTZENBERGER Marcel-Paul, *Triangle de pensées*, Odile Jacob, 2000.
 CHANGEUX Jean-Pierre et CONNES Alain, *Matière à pensée*, Odile Jacob, 1989.
 PENROSE Roger, *Les deux infinis et l'esprit humain*, Flammarion, 1999.
 —, *Les ombres de l'esprit*, InterÉditions, 1995.
 —, *L'esprit, l'ordinateur et les lois de la physique*, InterÉditions, 1992.
 WANG Hao, *A logical journey*, MIT Press, 1996.
 —, *Kurt Gödel*, Armand Colin, 1990.
 YOURGRAU Pale, *Einstein et Gödel, quand deux génies refont le monde*, Dunod, 2005.

Science et religion

- ALEXANDER Denis, *Science et foi : évolution du monde scientifique et des valeurs éthiques*, Éditions Frison Roche, 2004.
 ARNOULT Jacques, *La théologie après Darwin*, Cerf, 1998.
 BARBOUR Ian, *Quand la science rencontre la religion*, Éditions du Rocher, 2005.
 BURGE Ted, *Science & the Bible, evidence based christian belief*, Templeton Fondation Press, 2005.
 COLLINS Francis, *The language of God*, Free Press, 2006.
 CLAYTON Philip, *God and contemporary science*, Eerdmans Publishing Company, 1997.

- DALY Lucien, *Découvrir Dieu grâce à la science*, L'Harmattan, 2006.
- DAVIES Paul, *L'esprit de Dieu*, Éditions du Rocher, 1995.
- DELUMEAU Jean (dir.), *Le savant et la foi*, Flammarion, 1989.
- EUVÉ François, *Science, foi, sagesse, faut-il parler de convergence ?*, Éditions de l'Atelier, 2004.
- GOLDBERG Jacques, *Science et tradition d'Israël*, Albin Michel, 2001.
- HOFFMANN Roald, LEIBOWITZ-SCHMIDT Shira, *Old wine, new flasks, reflexion on science and jewish tradition*, Freeman, 1997.
- HOUZIAUX Alain, *Dieu à la limite de l'infini*, Cerf, 2002.
- JAMMER Max, *Einstein and Religion*, Princeton University Press, 1999.
- LAMBERT Dominique, *Science et théologie*, Lessius, 1999.
- LAZORTHES Guy, *Croyance et raison*, Centurion, 1991.
- MAC GRATH Alister, *The foundations of dialogue in science and religion*, Blackwell Publishing, 1999.
- MAGNIN Thierry, *Entre science et religion*, Éditions du Rocher, 1998.
- MALDAMÉ Jean-Michel, *En quête d'unité, discours scientifique et discours théologique*, Cerf, 2003.
- MARTELET Gustave, *Évolution et création*, Cerf, 1998.
- MOTT Nevill, *Can scientists believe? Some examples of the attitude of scientists towards religion*, James & James, 1991.
- PEACOCKE Arthur, *Path from science towards God*, Oneworld, 2001.
- PERRIER Pierre, *La Science des cœurs et de la nature*, Désiris, 2001.
- PELT Jean-Marie, *Dieu et l'univers*, Fayard, 1995.
- PETERS Ted (dir.), *God's action in nature's world : essays in honour of Robert John Russell*, Ashgate Publishing, 2006.
- RICARD Matthieu, XUAN THUAN Trinh, *L'infini dans la paume de la main*, Fayard, Nil, 2000.
- THÉOBALD Christoph, GRÉSILLON Dominique, LE MAIRE Marc, LEROY Jean, SAUGIER Bernard, *L'univers n'est pas sourd : pour un nouveau rapport science et foi*, Bayard Centurion, 2006.
- WARD Keith, *God chance and necessity*, Oneworld, 1996.

Philosophie et épistémologie

- BRICMONT Jean, SOKAL Alan, *Impostures intellectuelles*, Odile Jacob, 1997.

BIBLIOGRAPHIE THÉMATIQUE

COLLECTIF, *La société en quête de valeurs*, Éditions Maxima, Laurent Mesnil, 1996.

COMTE-SPONVILLE André, *L'esprit de l'athéisme*, Albin Michel, 2006.

COMTE-SPONVILLE André, FERRY Luc, *La sagesse des modernes*, Robert Laffont, 1998.

DAWKINS Richard, *The God delusion*, Houghton Mifflin, 2006.

DEBUSSY Jean et LECOINTRE Guillaume, *Intrusions spiritualistes et impostures intellectuelles en science*, Éditions Syllepse, 2001.

DEBUSSY Jean et LECOINTRE Guillaume, *Les matérialismes et leurs détracteurs*, Éditions Syllepse, 2004.

ESPAGNAT Bernard d', *Implications philosophiques de la science contemporaine*, tomes 1, 2, 3, PUF, 2002.

FERRY Luc, *L'homme Dieu ou le sens de la vie*, Grasset, 1996.

FERRY Luc et VINCENT Jean-Didier, *Qu'est-ce que l'homme ?*, Odile Jacob, 2000.

FEYERABEND Paul, *Contre la méthode. Esquisse d'une théorie anarchiste de la connaissance*, Seuil, 1983.

FOUCAULT Michel, *Naissance de la clinique*, PUF, 2003.

FOURASTIÉ Jean, *Ce que je crois*, Paris, Grasset, 1981.

FRANCK R. (dir.), *Les sciences et la philosophie, quatorze essais de rapprochement*, Vrin, 1985.

HUXLEY Aldous, *Le meilleur des mondes*, Pocket, 2002.

KUHN Thomas, *La structure des révolutions scientifiques*, Flammarion, 1983.

LASZLO Erwin, *Aux racines de l'univers*, Fayard, 1992.

LENOIR René, *À la recherche du sens perdu*, Éditions Michalon, 2003.

LUBAC Henri de, *Le drame de l'humanisme athée*, Cerf, 1998.

NICOLESCU Basarab, *La science, le sens et l'évolution*, Éditions du Félin, 1988.

—, *La transdisciplinarité*, Éditions du Rocher, Monaco, 1996.

ONFRAY Michel, *Traité d'athéologie*, Grasset, 2005.

PETIT Jean-Pierre, *Les enfants du diable*, Albin Michel, 1995.

SAINT-EXUPÉRY Antoine de, *Le Petit Prince*, Gallimard, 1999.

—, *Pilote de guerre*, Le Livre de Poche, 1963.

STAUNE Jean (dir.), *L'homme face à la science*, Critérion, 1992.

—, *Science et quête de sens*, Presses de la Renaissance, 2005.

VAUTHIER Jacques, *La science entre image et réalité*, Eska, 1994.

Glossaire

Pour faciliter la recherche, nous avons regroupé les termes de ce glossaire en fonction de la partie de l'ouvrage dans laquelle ils apparaissent.

Qu'est-ce que le réel ?

Corps noir : Corps en équilibre thermodynamique avec le rayonnement électromagnétique qu'il émet et absorbe. Il devient rouge puis blanc quand il est chauffé.

Décohérence : Phénomène nous permettant de comprendre pourquoi le monde qui nous entoure a un aspect « normal » alors qu'il est constitué de particules qui, elles, obéissent à des lois quantiques.

Effet photoélectrique : Interaction entre une particule de lumière (le photon) et un électron qui permet de créer de l'électricité à partir de la lumière.

Effet tunnel : Phénomène par lequel une particule peut passer à travers un obstacle.

Flèche du temps : Direction d'écoulement du temps. *A priori* irréversible à notre niveau mais pas forcément au niveau microphysique.

Idéalisme : Système philosophique pour lequel la pensée ou l'esprit sont les seules réalités sensibles.

Inégalités de Bell : Inégalités portant sur le résultat de mesures effectuées sur des couples de particules et qui définissent la limite de validité de certaines des conceptions classiques du monde. Leur violation entraîne l'existence de la non-localité (ou de la non-séparabilité selon les interprétations).

Non-localité : Situation dont la réalité a été démontrée expérimentalement et dans laquelle deux particules restent en contact quelle que soit la distance qui les sépare de telle façon que ce qui se produit sur l'une a un impact instantané sur l'autre.

Non-séparabilité : Variante de la non-localité dans laquelle on considère que les deux particules forment un seul et unique objet quelle que soit la distance qui les sépare.

Objectivité faible : Un énoncé concernant une composante de la réalité observable est à objectivité faible s'il fait référence à la notion d'observation lorsqu'il définit les caractéristiques de cette composante.

Objectivité forte : Un énoncé est à objectivité forte si on peut l'interpréter comme portant sur la réalité elle-même sans tenir compte de la façon dont on l'a mesurée.

Opposition de phases : Quand des phénomènes de type ondulatoire (des vagues, des ondes radio) interfèrent entre eux, ils peuvent dans certains cas se renforcer l'un l'autre (on dit qu'ils sont en phase), ou s'annuler (on dit alors qu'ils sont en opposition de phase).

Polarisation : État que peut avoir la lumière (et les particules qui la composent, les photons), après être passée dans un filtre. Elle est alors orientée dans une direction donnée.

Positivisme : Position niant que la question de l'existence de la réalité ou de sa non-existence puisse avoir un sens.

Potentiel quantique : Entité postulée par une théorie alternative à l'interprétation commune de la mécanique quantique. Ce potentiel serait non local, et ce qui se produirait en un point pourrait immédiatement en affecter un autre.

Principe d'incertitude : Énoncé par Werner Heisenberg, il nous dit qu'une incertitude irrémédiable existe lorsque l'on veut connaître simultanément certaines propriétés des particules élémentaires comme leur position et leur vitesse.

Réalisme physique : Réalisme classique dans lequel la réalité véritable correspond à celle que nous observons. Est associé en général à l'objectivité forte.

Réalisme non physique : Conception du réalisme dans laquelle la réalité véritable n'est pas constituée de matière et d'énergie et n'est pas immergée dans l'espace-temps. Est associé en général à l'objectivité faible.

Réel voilé (ou lointain) : Conception du réalisme non physique selon laquelle cette réalité ne sera jamais entièrement connaissable, et où cette réalité est *conceptuellement* lointaine (et non pas physiquement lointaine).

Scientisme : Système philosophique dans lequel la science peut fournir une explication complète de la réalité.

Superlumineux : Se dit d'un signal ou d'un objet qui irait plus vite que la vitesse de la lumière.

Superposition des états : Situation quantique dans laquelle une particule possède en même temps deux états *a priori* contradictoires pour nous.

Téléportation : Possibilité d'utiliser un couple de particules non séparables pour transmettre à l'une les propriétés d'une troisième particule que l'autre membre du couple a rencontrée.

D'où venons-nous ? Où allons-nous ?

Année-lumière : Distance que la lumière parcourt en une année : 9 460 milliards de kilomètres.

Big bang : Théorie selon laquelle tout l'Univers que nous pouvons observer aujourd'hui a commencé par une singularité initiale (un état infiniment dense et chaud).

Conjecture de protection chronologique : Hypothèse selon laquelle le voyage dans le temps serait impossible de façon que le passé ne soit pas perturbé.

Constante cosmologique : Constante qui peut intervenir dans les équations de la gravité d'Einstein et qui modifie l'énergie totale que contient l'Univers.

Densité critique : Densité pour laquelle l'Univers en expansion évite à la fois de se diluer trop rapidement et de s'effondrer sur lui-même.

Énergie noire : Énergie d'origine inconnue dont la présence provoque une accélération de l'expansion de notre Univers. Elle représenterait 70 % du contenu total en masse et en énergie de l'Univers. La constante cosmologique agit comme une énergie noire.

Étoiles à neutrons : État final (après explosion et effondrement) d'une étoile dont le cœur avait en fin de vie une masse de 1,4 à 5 fois la masse de celui du Soleil. D'une densité incroyable, 10^{14} grammes par centimètre cube et d'un rayon de 10 kilomètres, cet objet est composé essentiellement de neutrons. Certaines étoiles à neutrons tournent sur elles-mêmes en émettant un signal comme un phare, signal qui, vu depuis la terre, apparaît comme une pulsation, raison pour laquelle on les appelle des pulsars.

Force électromagnétique : Force s'exerçant entre des particules chargées électriquement et qui est responsable des phénomènes électriques et magnétiques.

Force nucléaire faible : Force responsable des phénomènes de désintégration des atomes, de l'existence de la radioactivité et de la fission nucléaire.

Force nucléaire forte : Force qui assure la cohérence des noyaux d'atome. Intervient dans les phénomènes de fusion nucléaire.

Fission nucléaire : Phénomène amenant un atome à se désintégrer en libérant de l'énergie. Principe de la bombe A et des réacteurs nucléaires.

Fusion nucléaire : Phénomène amenant deux noyaux d'atomes à fusionner, ce qui libère de l'énergie. Principe du fonctionnement de la bombe H, des étoiles et du futur réacteur expérimental Iter qui sera construit en France.

Grande unification : Théorie qui unifierait la mécanique quantique et la relativité générale. Si en plus une telle théorie était capable d'expliquer la raison pour laquelle l'Univers a les caractéristiques qui sont les siennes, ce serait une « théorie du tout ».

Horizon cosmologique : Horizon délimitant la totalité de l'Univers que nous pouvons observer aujourd'hui.

Inflation : Période commençant 10^{-35} secondes après le big bang pendant laquelle l'Univers se dilate de façon exponentielle en un temps très court. Parfois considérée comme le « deuxième bang » du big bang.

Matière noire : Matière de nature inconnue n'émettant pas de lumière dont l'existence est déduite du mouvement des galaxies et du mouvement des étoiles dans les galaxies. Elle représentait 26 % de la masse de l'Univers.

Mirages gravitationnels : Mirages créés par la déformation que les masses, par leur gravité, infligent à l'espace.

Neutrino : Particule neutre électriquement émise lors des réactions nucléaires. Interagit très peu avec la matière au point que la plupart des neutrinos qui atteignent la Terre la traversent sans problème.

Naine blanche : État final, après effondrement sur elle-même, de l'évolution d'une étoile d'une masse comparable à celle du Soleil. Cet objet est très dense et d'une taille comparable à la Terre.

Principe de médiocrité : Principe selon lequel notre situation, dans l'espace comme dans le temps, n'aurait rien de particulier.

Principe anthropique : L'Univers a les propriétés nécessaires pour que des observateurs puissent y exister. Dérivé du grec *anthropos* (« homme »).

Quasar : Objet très éloigné et très lumineux ayant l'apparence d'une étoile (d'où le nom « quasi-star »). On pense qu'il s'agit de galaxies primitives contenant un trou noir géant.

Rayonnement de fond : Rayonnement radio qui baigne tout l'Univers. Il a été émis à une époque où l'Univers n'avait que 300 000 ans environ. Il constitue l'une des principales preuves du big bang.

Supernova : Explosion d'une étoile ayant brûlé son « carburant ». Produit une étoile à neutrons ou un trou noir selon la masse de l'étoile.

Trous noirs : Résultat de l'effondrement de la matière sur elle-même créant un champ de gravité si intense que rien, même pas la lumière, ne peut s'en échapper. Ces trous noirs sont en général créés par l'effondrement sur lui-même du résidu de l'explosion d'une étoile dont le cœur, à la fin de sa vie, a une masse de plus de cinq fois la masse totale du Soleil.

Trous de ver : Objets hypothétiques rendus possibles par la relativité générale et qui constitueraient des « raccourcis » entre deux points très éloignés de l'Univers.

Univers parallèles : Univers hypothétiques qui existeraient sans avoir aucune connexion avec le nôtre.

Univers virtuels : Univers créé par simulation informatique ayant des caractéristiques différentes du nôtre.

Sommes-nous ici par hasard ?

Anticorps : Protéine que produit le système immunitaire en réaction à la présence d'un antigène et qui a la propriété de se combiner à cet antigène, pour le neutraliser ou le détruire, ce qui contribue à la défense de l'organisme.

Antigène : Substance généralement étrangère à l'organisme susceptible de déclencher une réaction du système immunitaire qui conduira à la production d'anticorps.

Auto-organisation : En biologie, désigne le fait que les propriétés des systèmes physico-chimiques expliquent certains aspects des êtres vivants sans qu'il soit nécessaire de recourir à un programme génétique pour cela. Plus généralement, concerne des systèmes complexes pouvant se former grâce à une dynamique interne.

Cellules germinales : Cellules appartenant aux lignées des cellules reproductrices (ovules et spermatozoïdes).

Cellules somatiques : Toutes les cellules du corps en dehors des cellules germinales.

Contrainte de développement : Effet des interactions se produisant au cours du développement de l'embryon pouvant conduire à limiter le nombre de formes adultes possibles.

Cladisme : Méthode de classification des espèces qui consiste à rechercher les innovations évolutives (apomorphies) qu'elles ont en commun, pour les regrouper dans un clade, qui est un ensemble regroupant un ancêtre et tous ses descendants.

Créationniste : Personne affirmant que les différentes espèces ont été créées séparément par Dieu et que, donc, nous n'avons ni un singe, ni un batracien, ni un poisson parmi nos ancêtres.

Darwinisme : Explication de l'évolution par des variations aléatoires dues à des mutations triées par la sélection naturelle. Il faudrait en fait parler de néodarwinisme car à l'époque de Darwin la génétique était inconnue mais, la plupart du temps, les deux termes sont confondus hors des cercles des spécialistes.

Embryogenèses (ou ontogenèses) fondamentales : Processus de développement commun à toutes les espèces formant un même type ou un même plan d'organisation.

Epigénétique : Ensemble des processus (embryonnaires et postembryonnaires) qui ne sont pas entièrement déterminés par

des gènes, et qui gouvernent certaines caractéristiques des êtres vivants.

Évolutionniste : Personne affirmant que tous les êtres vivants ont un ancêtre commun et que nous avons donc bien des singes, des batraciens, des poissons, des êtres unicellulaires parmi nos ancêtres.

Gènes de régulation (ou gènes hox) : Gènes qui contrôlent la formation des organes chez les êtres vivants. Existant de façon identique dans de nombreuses espèces, ils sont parfois interchangeables. Un gène suscitant la formation d'un œil chez la souris peut susciter la formation d'un œil de mouche chez la mouche quand on le transfère de la souris à la mouche.

Génétique des populations : Discipline qui étudie la variabilité génétique des populations.

Gradualisme : Conception selon laquelle il n'y aurait jamais de « sauts importants » au cours de l'évolution, mais une accumulation graduelle de petites variations.

Hominidés : Famille de primates qui, définie au sens strict, inclut seulement l'homme et tous ses ancêtres bipèdes. Définie au sens large, il faut y rattacher les singes anthropoïdes actuels (chimpanzé, gorille, orang-outang) et leurs ancêtres communs avec l'homme.

Hypogénétique : Désigne des mécanismes plus fondamentaux que les mécanismes génétiques, qui interviendraient dans le développement d'un embryon. Les mécanismes génétiques seraient donc soumis ou contraints par les mécanismes hypogénétiques.

Intelligent Design : Mouvement rassemblant des créationnistes, des néocréationnistes et des évolutionnistes unis par l'idée que la complexité des êtres vivants prouve l'existence d'un concepteur.

Lignée phylétique : Désigne tous les descendants d'un ancêtre commun (synonyme : *phylum*, *clade*).

Macromutation : Changement brusque dans le génome qui produirait des descendants nettement différents de leur ancêtre, voire un nouveau plan d'organisation.

Néocréationniste : Personne tentant de ménager la chèvre et le chou en n'acceptant pas complètement l'évolution sans soutenir ouvertement le créationnisme.

Non-linéarité : Situation dans laquelle une toute petite variation des conditions initiales peut entraîner une modification majeure de l'état final d'un système. On ne peut donc pas connaître exactement l'état futur à partir d'une série d'états antérieurs.

Orthosélection : Théorie selon laquelle des changements allant toujours dans la même direction ont été systématiquement favorisés par la sélection naturelle donnant l'image d'une évolution dirigée, alors que ce n'est pas le cas.

Paysages évolutifs : Ensemble de tous les chemins évolutifs possibles pouvant mener d'un ancêtre à tous ses descendants potentiels. Ces chemins sont en nombre d'autant plus limité que l'on admet que des contraintes fortes s'exercent sur l'évolution.

Plan d'organisation : Structure fondamentale commune à une série d'espèces, peut correspondre à un archétype ou à une embryogenèse fondamentale.

Prognathisme : Projection de la face vers l'avant. Se réduit au cours de l'évolution des primates menant à l'homme, ce qui fait que nos dents sont quasiment dans l'alignement de notre front.

Téléonomie : Concept que les darwiniens appliquent à des systèmes semblant avoir une finalité qui serait en fait illusoire.

Téléologie : Étude de la finalité.

Saltationnistes : Personne affirmant que des sauts ont dû se produire lors de certaines étapes de l'évolution, celle-ci ne pouvant se dérouler uniquement grâce à des transitions graduelles.

Sélection quantique : Au niveau quantique les états possibles d'un système sont discrets et non pas continus. Cela limite les mutations pouvant se produire dans une molécule et donc le nombre d'états.

Singes anthropoïdes : Les grands singes tels que les chimpanzés, les gorilles et les orangs-outangs.

Sociobiologie : Application de certains concepts darwiniens à l'étude du comportement social des animaux, et aussi (pour certains chercheurs) de l'homme.

Transfert de fonction : Concept selon lequel un système biochimique ou un organe a changé de fonction au cours de l'évolution, par exemple en se regroupant avec d'autres systèmes ou d'autres organes pour créer quelque chose ayant une fonction nouvelle.

Traits ancestraux : Caractéristiques d'un animal actuel.

Qui sommes-nous ?

Aire somato-sensorielle : Aire de projection sur le cortex des neurones sensitifs.

Antédating de la perception : Mécanisme dont l'existence a été postulée à la suite de certaines expériences et selon lequel la conscience effectuerait un saut en arrière dans le temps pour synchroniser nos perceptions conscientes avec la réalité.

Axone : Prolongement du corps cellulaire neuronal transmettant l'influx à une ou plusieurs cellules réceptrices (des cellules nerveuses ou musculaires). Il se termine par un bouton qui contient des neurotransmetteurs.

Causalité descendante : Action d'un système d'un niveau supérieur sur ses composants de niveau inférieur. Par exemple : action de la pensée sur les neurones.

Conscience : Sentiment de présence à soi-même qui amène le sujet à éprouver des contenus de conscience – les *qualia*.

Conscience pure : État dans lequel le sujet est conscient sans que sa conscience contienne un contenu, alors que selon l'expérience commune on est toujours conscient de quelque chose. État décrit aussi bien par des méditants orientaux que par certains malades neurologiques.

Dendrites : Prolongements d'un neurone portant des « épines » contenant des récepteurs, qui sont activées par les neurotransmetteurs provenant du bouton terminal d'un axone.

Dualisme : Conception selon laquelle la pensée n'est pas uniquement (ou pas du tout) produite par le cerveau et peut exister indépendamment de lui.

Émergentiste : Personne pour laquelle les états mentaux qui résultent de l'activité neuronale ne sont pas de même nature que les activités neuronales qui en sont le support.

Exocytose : Phénomène par lequel le bouton terminal d'un axone décharge des neurotransmetteurs pour permettre le passage de l'influx nerveux d'un neurone à un autre.

Identité : Conception selon laquelle les états mentaux sont identiques aux états neuronaux.

Lobes frontaux : Aires situées à l'avant des hémisphères cérébraux. Des lésions dans ces aires entraînent parfois de graves modifications du comportement des personnes atteintes. On associe donc ces aires aux fonctions mentales supérieures.

Mentaliste : Personne qui, sans être dualiste, croit que les phénomènes mentaux ne sont pas réductibles aux processus neuroaux.

Neurone : Cellule nerveuse recevant des stimulations ou des inhibitions de la part d'autres neurones ou organes sensoriels et émettant des signaux grâce à son axone et aux neurotransmetteurs vers des cellules réceptrices nerveuses, musculaires ou autres à une fréquence qui dépend de son degré de stimulation.

Neurotransmetteur : Molécule permettant de faire transiter l'influx nerveux d'un neurone à un autre en traversant l'espace

GLOSSAIRE

qui sépare le bouton terminal d'un axone et les récepteurs situés sur l'épine de la dendrite d'une autre cellule.

Potentiel évoqué : Variation transitoire de l'activité électrique du cerveau couplé à un événement sensoriel moteur ou cognitif.

Potentiel de préparation motrice : Potentiel électrique se développant principalement dans l'aire motrice supplémentaire, près d'une seconde avant l'exécution d'un mouvement volontaire.

Qualia : Contenu de la conscience associé à notre expérience subjective (voir du rouge, sentir du froid, sont des *qualia*).

Rétroaction ou feed-back : Mode de régulation d'un système du fait même de son activité.

Split brain : Cerveau dont on a sectionné les fibres reliant entre eux les deux hémisphères (le corps calleux).

Synapse : Région de contact entre deux neurones comprenant d'un côté la terminaison de l'axone et de l'autre, une dendrite (ou parfois le corps cellulaire d'un autre neurone).

Thalamus : Noyau de neurones servant de relais à de nombreux circuits et en particulier aux voies sensitives.

Index alphabétique

A

AAAS : 464
 Abrams Nancy : 197-198, 466, 496
 Adaptationnisme : 223, 230
 ADN : 198, 213, 220, 253, 261, 280, 306, 309, 313, 319, 332, 334, 336, 368
 Âge de l'Univers : 143
 Aire motrice supplémentaire : 403, 514
 Aire somato-sensorielle : 373, 512
 Alexander Denis : 463, 500, 527
 Algorithme : 108, 221-222, 257, 310, 313-315, 331, 335, 429
 Altruisme : 30, 220, 347, 406
 Antédattage de la perception : 436, 512
 Anticorps : 260, 508-509
 Antigènes : 260-261, 508-509
 Archéoptéryx : 297
 Archétype : 256, 260, 280, 330, 335, 337, 344, 352, 412, 454, 511
 Aristote : 37, 245, 247, 427, 472, 484
 Aristotélisme : 466
 ARN : 213, 280
 Arnould Jacques : 464
 Aspect Alain : 67, 92, 106
 Athéisme : 101, 124, 199, 219, 245, 493, 502
 Atome primitif : 140-141
 Attracteurs : 240, 309

Australopithèque : 251, 293-294, 299, 330, 349
 Auto-organisation : 211, 241, 246-247, 258, 317, 509
 Axe Doug : 265
 Axion : 190
 Axone : 366-367, 379, 512-514

B

Barbour Ian : 463, 493, 500
 Barrière de Weismann : 339
 Barrow John : 147, 158, 163-164, 176, 496
 Bauer Edmond : 82
 Beauregard Mario : 385, 492, 499, 527
 Beck Frederik : 379, 411, 448
 Behe, Michael : 265, 299, 327, 497
 Bell John : 65-66, 68-69, 110-112, 495, 504
 Bennett Charles : 108-109
 Berthelot Marcelin : 436
 Bethell Tom : 249
 Bifurcation : 331, 436
 Bipédie : 250, 293, 295, 309, 330
 Bohm David : 84-86, 92, 98-99, 445, 495
 Bois Éric : 464, 496, 527
 Boson de Higgs : 171
 Bouddha : 29, 458-459
 Brassard Gilles : 108-109, 113, 527

INDEX ALPHABÉTIQUE

Bricmont Jean : 68, 70, 72-73, 84,
88, 451, 460, 501
Broglie Louis de : 56, 84

C

Cairns John : 260, 283, 340
Cambridge : 233, 239, 418, 464,
495, 497, 499
Capacité à évoluer : 299-300,
303-304, 331, 336
Carter Brandon : 158-159
Causalité : 51, 73, 93, 111-112,
125, 236, 457
Causalités descendantes : 366, 512
Cellules germinales : 339, 509
Cellules somatiques : 339, 509
Céphéides : 139-140, 190-191
Cerveau : 22, 26, 37, 43, 46, 65,
96, 158, 162-163, 220-221, 308,
361-366, 368-387, 389-395,
397-402, 404, 407-415, 420,
424, 429, 431-432, 436, 450,
454, 464, 480, 482, 484, 488,
492, 499, 513-514
Chaline Jean : 254-255, 294, 307,
309, 326, 333-334, 497
Chalmers David : 364, 375-377,
414, 499
Chandebois Rosine : 253, 309, 355,
497
Changeux Jean-Pierre : 26, 30,
47, 373-374, 380, 405, 420-421,
423, 436, 440, 482, 499-500
Chat de Schrödinger : 81-82, 89,
114, 121-122
Chauve-souris : 294-299, 303,
314, 330, 335, 341, 349
Chiao Raymond : 80, 115, 117,
119-120, 527
Chréodes : 329
Chrétiens : 24-25, 33-34, 236-237,
245, 349, 351-353, 355, 406
Churchland Patricia : 396-398
Cladisme : 509

Clayton Philip : 170, 247, 366,
372-373, 463, 499-500, 527
Cobe (satellite) : 148-149, 191, 198
Cohérence de l'Univers : 91, 171-
173, 177, 186
Collins Francis : 463, 500
Columbia : 372, 464, 500
Comte-Sponville André : 27, 32,
97-98, 100-101, 451, 458-459,
468, 470, 493, 502, 527
Condition humaine : 23, 29-30,
33, 36
Conjecture de protection chro-
nologique : 172, 186, 506
Connes Alain : 194, 419-422, 453,
500, 527
Conscience (individuelle) : 81-
82, 88-90, 92, 94, 99, 383
Conscience collective : 89-90, 94
Conscience primaire : 370, 410
Conscience pure : 383, 389, 513
Conscience supérieure : 370-371
Constante cosmologique : 138,
147, 192, 506
Constante de Planck : 53
Constructivistes : 422
Contraintes de développement :
305, 352, 509
Convergence : 43, 237, 239-240,
279, 305, 309, 322, 329, 352, 501
Conway-Morris Simon : 162, 212,
233, 239-243, 279, 303-305,
309, 322, 326, 328-330, 334,
338-339, 352, 355, 437, 448,
453, 492, 497, 527
Copernic : 10-11, 23, 102, 196,
240, 245, 269, 322, 438, 477
Corps calleux : 407, 514
Corps noir : 52, 129, 142, 503
Costa de Beauregard Olivier : 80,
82-83, 90
Cottier Georges : 354
Coyne Georges : 160
Crapauds : 341-342
Créationnistes : 102, 130, 207,
214-215, 226, 235, 255, 264,

INDEX ALPHABÉTIQUE

269, 326, 340, 347, 349-351,
355, 479-480, 509-510
Crépeau Claude : 113
Crick Francis : 26, 30, 47, 315,
368-370, 372, 374, 377, 383,
414, 440, 482, 499
Cryptographie : 107-109
Cycle de développement : 267
Cytochrome C : 284-288, 333

D

Dalla Porta Nicola : 159
Damasio Antonio : 363, 373, 383,
499
Damasio Hanna : 363
Dambricourt Anne : 212, 249,
251-252, 304, 307, 309, 326,
333, 340, 497, 527
D'Arcy Thompson : 229, 242,
246, 258, 279, 309, 319, 329-
330, 334, 453
Darwin Charles : 10, 23, 206, 208-
210, 219, 221-222, 224-226, 241,
280, 289-290, 294-295, 317, 321,
332, 334, 345, 352, 440, 497
Darwinisme : 207-210, 212, 218,
221, 223-225, 227, 237-238,
241, 246-249, 255-257, 264,
268-273, 275-278, 282, 284,
287, 290, 299, 301, 305, 309,
312, 315, 317-318, 334, 337-
341, 343-348, 350-355, 357,
428-429, 448-450, 479-480, 492,
497-498, 509
Darwinisme neuronal : 370
Davies Paul : 80, 458, 471, 493,
501, 527
Dawkins Richard : 26, 197, 199,
212, 216-220, 222, 225, 227,
229, 257, 268, 305, 314-315,
335, 339-340, 346-348, 350-351,
492, 497, 502
Deacon Terrence : 247, 497
Décohérence : 88-90, 94, 114-
115, 121-122, 503

Déisme : 101, 473
Dembski William : 265
Dendrites : 366-368, 513-514
Dennett Daniel : 197, 210, 212,
221-227, 229, 268, 284, 335,
343-344, 346-348, 351, 365,
374-377, 380, 383, 396-398,
400, 411, 429, 497, 499
Densité critique : 155, 164, 506
Denton Michael : 212, 242-246,
254, 258, 265, 279, 288, 290,
308-309, 326, 328-330, 334-335,
338, 345, 355, 437, 448, 453,
492, 497, 527
Dérive génétique : 287, 299
Descartes : 361, 363, 411, 478,
488, 499
Desmaret Jacques : 158-159, 163,
496
Dieu : 10, 19, 21-24, 27, 31, 33,
35, 62, 95-97, 101, 123, 129,
140, 150-151, 153, 155, 165,
167, 170-174, 198-199, 219-220,
226, 238-239, 245, 269, 278,
326-327, 339, 351-352, 428,
430, 443, 447, 455-458, 462,
464-466, 473, 493, 498, 500-
502, 509
Dorst Jean : 257-258, 498
Dostoïevski Fédor : 33-35
Droits de l'Homme : 24, 33-34,
234, 489
Drosophiles : 254, 300, 303-304,
336, 413
Dualisme : 372, 375-376, 379-
380, 382, 384, 400-401, 410-
413, 420-421, 431-432, 445,
448, 454, 460, 462, 464, 492,
513
Duboule Denis : 254, 292, 330

E

Eccles John : 378-380, 382, 384,
411, 414, 448, 492, 499-500,
527

INDEX ALPHABÉTIQUE

Eddington Arthur : 101, 182, 457, 469
 Edelman Gérald : 370-371, 374, 377, 380, 400, 499
 Effet Doppler : 139, 186
 Effet papillon : 337, 436
 Effet photoélectrique : 53, 503
 Effet tunnel : 112, 115-116, 171, 503
 Ehrenfest Paul : 63
 Einstein Albert : 37, 41, 53, 55, 57, 62-67, 69, 72, 84, 89-90, 108, 113, 119, 122, 130, 133-135, 137-138, 140, 142, 145, 147, 182, 187, 192-193, 199-200, 208, 238, 270, 321-322, 382, 425-427, 436, 440, 461-463, 466, 468-469, 478, 493, 496, 500-501, 506
 Ekert Arthur : 108-109
 Électron : 53, 55-62, 65, 76, 78-79, 83, 87, 90, 114, 117, 120-121, 123, 155-156, 164, 189, 374, 447, 459, 482, 503
 Embryogenèse : 251, 509, 511
 Émergentistes : 365-366, 371, 376, 381, 400
 Énergie noire : 181, 190-193, 196, 439, 506
 Épigénétique : 254, 306, 509
 Épiphyse : 361
 Erdos Paul : 153
 Espagnat Bernard d' : 14, 61, 67, 69, 72, 76-78, 80, 85-86, 94, 96-97, 99-101, 107, 413, 444-445, 447, 453, 462-463, 467-469, 473, 491, 493, 495, 502
 Esprit : 9, 19, 22-23, 26, 31, 44-45, 65, 70-71, 77-78, 90, 97-100, 124, 138, 163, 165, 179, 187, 199, 236, 240, 249, 273, 278, 291, 303, 311, 318, 336, 353-354, 361, 365, 371-372, 374, 379-380, 383, 385, 387, 389, 399, 406, 411-412, 414-415, 417-418, 420, 429, 431-432,

439, 446, 448, 451, 454-455, 458-459, 462-465, 467-469, 471, 474-475, 478, 492-493, 496-497, 499-503
 Esprit conscient : 372
 États mentaux : 365, 373, 390, 400, 412, 513
 Étoiles à neutrons : 188, 506, 508
 Être l' : 245, 444
 Euclide : 424
 Euvé François : 463, 501
 Everett Hugh : 87, 99
 Exocytose : 379, 513

F

Felden Marceau : 450
 Fentes de Young : 53, 55, 58, 84, 87, 114-115, 120, 125
 Fermi Enrico : 175
 Ferry Luc : 32-33, 97, 451, 493, 502, 527
 Feyerabend Paul : 41, 502
 Feymann Richard : 77, 83, 495
 Finalité : 20, 209, 211, 219, 249, 255, 257, 308, 324, 443, 446-447, 456, 471, 478, 511
 Fission nucléaire : 173, 506
 Flèche du temps : 82, 503
 Fleury Vincent : 252, 305-309, 330-331, 334-335, 492, 498
 Fonction d'utilité : 219
 Fondi Roberto : 256, 498
 Force électromagnétique : 144, 506
 Force nucléaire faible : 144, 155, 506
 Force nucléaire forte : 144, 155, 157, 164, 506
 Formalistes : 422, 424
 Freeman Dyson : 179, 496, 527
 Friedmann Alexandre : 138, 140-141

G

Gage Phineas : 362-363, 373, 377
 Galeopithecus : 341

INDEX ALPHABÉTIQUE

- Galilée : 44, 71, 102-103, 205, 240, 269, 438, 481, 488
 Gamov George : 53, 141, 495
 Gell-Mann Murray : 71-72, 495
 Gène égoïste : 218, 497
 Gènes : 26, 31, 218, 220-221, 252, 254, 264, 268, 285, 287, 294-295, 307, 330, 342, 346-347, 356, 510
 Gènes de régulation : 223, 254, 294, 310, 510
 Génétique des populations : 313, 510
 Gobie marcheur (périophthalmé) : 336
 Gödel Kurt : 14, 165, 312, 385, 417, 421-432, 436, 439, 441-442, 448, 450, 453, 455, 462, 483, 493, 500
 Goldberg Jacques : 464, 501
 Goldschmidt Richard : 228, 254, 256, 292, 330, 334
 Gonzalez Guillermo : 162, 496
 Goodwin Brian : 219, 246-247, 498
 Gould Stephen Jay : 197, 206-207, 210, 212, 218, 225-238, 240, 258, 268, 270, 272, 289, 292, 298, 305, 330, 342-343, 346-348, 351, 492, 498
 Grand Inquisiteur : 33-35
 Grangier Philippe : 67, 92, 106
 Grassé Pierre-Paul : 248-249, 254, 258, 302-303, 326, 334, 498
 Gravitation : 10, 24, 78, 129, 133-135, 138, 144-145, 147, 155, 182-183, 186, 191-192, 270, 278, 401
 Greene Brian : 146-147, 191, 194, 491, 496
 Gregersen Niels : 247, 527
 Grib Andreï : 80, 82
 Guth Alan : 146-147, 165-166
- H**
- Hahn Hans : 422, 424
 Hahn Otto : 174
 Haldane John B.S. : 218
 Hall Barry : 260
 Haroche Serge : 121-122
 Harper Charles : 64, 458, 528
 Hartle Jim : 72
 Harvard : 24, 219, 260, 363, 394, 464, 499
 Hawking Stephen : 164-165, 172, 186, 496
 Heim Roger : 273
 Heisenberg Werner : 56, 60, 76, 109, 125, 423, 436, 441-442, 445, 470, 495, 505
 Heller Michael : 462-463, 468, 493, 527
 Hémisphères : 361-362, 373, 405, 407, 409-410, 513-514
 Hémoglobine : 287-288
 Henderson Lawrence : 243
 Hilbert David : 422-423, 425, 440, 483
 Ho Mae Wan : 246-247, 498
 Hoffmann Banesh : 55, 60, 93-94, 447, 495
 Hoffmann Roald : 463, 501, 527
 Hofstadter Douglas : 365, 426, 499
 Holistique : 13-14, 125, 306, 429, 470, 488
 Hominidés : 12, 249, 251, 290, 308, 355, 510
 Horloges moléculaires : 284, 288, 304, 319, 327, 333, 335, 337
 Houziaux Alain : 463, 501, 527
 Hoyle Fred : 140, 160, 458
 Hubble Edwin : 11, 139-140
 Humilité : 465-466
 Huxley Thomas : 206
 Hypogénétique : 306, 510

I

- Idéalisme : 76-77, 503
 Identitaires : 365, 371, 373, 375, 381, 485
 Illumination mathématique : 418-419

INDEX ALPHABÉTIQUE

Impermanence : 465
 Incomplétude : 14, 19, 42, 226,
 337, 372, 385, 426-427, 429,
 432, 436, 441-442, 461-462, 472
 Inégalités de Bell : 67, 110
 Inflation : 146-149, 165, 192, 197,
 507
 Inflation éternelle : 165, 197
 Inquisition : 34, 102, 426
 Intelligent Design : 168-169, 208,
 214, 246, 255, 264-265, 327,
 355, 443, 510
 Interdépendance : 256, 465
 Interprétation de Copenhague :
 75-76, 83, 88, 99
 Islam : 34, 224

J

Jammer Max : 501
 Jean-Paul II : 205, 352-354
 Jésus-Christ : 33-35, 464
 Johnson Philip : 208, 265, 498

K

Kafatos Menas : 80, 469, 495
 Kallima : 273-277, 279, 317, 319,
 327, 345
 Kammener Paul : 341-342
 Kant Emmanuel : 31, 76, 139, 423,
 474
 Kauffman Stuart : 212, 241, 246-
 247, 498
 Kelvin : 22, 51
 Kimble Jeff : 113
 Kimura Motoo : 210, 287, 498
 Kipling Rudyard : 315-318, 498
 Klein Stanley : 80, 527
 Koch Christopher : 368-369
 Kornuber Hans H : 403
 Kuhn Thomas : 39-40, 102, 269,
 275, 502

L

Lacan Jacques : 442, 484

Laget Paul : 390
 Lambert Dominique : 158, 464,
 496, 501, 527
 Lambert Jean-François : 159,
 163, 384-385, 390, 409, 412,
 414, 442, 527
 Lampsilis : 271-273, 317, 335
 Laplane Dominique : 292, 381-
 384, 389, 401, 414, 463, 478,
 482, 485, 489, 492, 499, 527
 Laszlo Ervin : 440
 Layberie Antoine : 195
 Lazorthes Guy : 463, 501
 Lemaître Georges : 138, 140, 142,
 150
 Lenoir René : 474, 502, 527
 Lésions cérébrales : 361, 432
 Leslie John : 163
 Lewis Roger : 254
 Libet Benjamin : 391, 394-398,
 400-401, 403-404, 406, 410-413,
 415, 423, 431, 436, 445, 448,
 492, 499, 527
 Libre arbitre : 26, 31, 174, 371,
 387, 402, 404-405, 412, 417,
 432, 436
 Lichnerowicz André : 422, 500
 Lignée phylétique : 296, 510
 Linde Andreï : 165-166, 171
 Lobes frontaux : 363, 513
 Logique ternaire : 469
 Logiques internes : 211-212, 248,
 252, 259
 Loi de Dollo : 303-304
 Loi de Hubble : 140
 Lois de la nature : 110, 182, 199,
 211, 234, 241-242, 304, 308,
 330, 338, 351-352, 356, 428,
 437, 469
 London Fritz : 82
 Longair Malcolm Sim : 159-160
 Luminet Jean-Pierre : 138, 140,
 151, 184, 194, 492, 496
 Lupasco Stéphane : 469

INDEX ALPHABÉTIQUE

M

Mac Grath Alister : 463, 501
 Machine de Von Neumann : 175-176
 Macromutations : 209, 211-213, 227-229, 256-257, 265, 292, 294-295, 297, 299, 304, 331-332, 511
 Magnin Thierry : 80, 463, 493, 501, 527
 Maldamé Jean-Michel : 463, 501
 Martelet Gustave : 463, 501
 Matérialisme : 35, 76-77, 95-101, 124, 161, 199, 236, 350, 372, 376, 382, 396, 400-401, 421, 427, 445-448, 450-452, 467, 469, 473, 478, 483-484, 491, 502
 Matérialisme méthodologique : 443-446, 448
 Matérialisme scientifique : 97, 447, 449, 454, 459
 Matière noire : 188-190, 192-193, 197, 439, 496, 507
 Mayor Michel : 195
 McFadden John Joe : 261-262, 283, 498
 Mentaliste : 372, 385, 513
 Mercure : 41, 137, 270, 278
 Messiah Albert : 78-79
 Michelson Albert : 52, 129-131, 133
 Miller Ken : 260, 290, 299, 351, 499
 Minkowski Hermann : 133
 Minnich Steve : 265
 Mirages gravitationnels : 181, 186-188, 507
 Modélisation : 206, 258, 313, 335, 356
 Modernité : 28, 43, 47, 77, 93, 102, 436, 458, 473
 Monde platonicien : 420-421, 453
 Monod Jacques : 13, 23, 25, 30, 47, 178-179, 225, 238, 263, 474, 499

Monothéisme : 169, 458
 Morley Edward : 52, 129, 131
 Morphologistes rationnels : 243, 246
 Moyen Âge : 43, 45, 436
 Mutations adaptatives : 261, 282-283, 327, 335, 340, 342
 Mythe de la caverne : 453

N

Naine blanche : 183, 507
 Néocréationnistes : 340, 355, 510-511
 Néolamarckiens : 213, 260-261, 319, 327-328
 Nesteruk Alexis : 80
 Neurones : 26, 28, 30-31, 96, 99, 364-370, 374, 379-381, 401, 414, 423, 432, 482, 512-514
 Neurotransmetteur : 367, 379, 385, 512-513
 Neutrino : 189-190, 507
 Newton Isaac : 10, 13, 37, 44, 52-53, 89, 93, 108, 122, 129, 134-135, 137, 199, 207-208, 245, 263, 269-270, 321-322, 382, 436, 440, 443, 466, 477
 Nicolescu Basarab : 80, 165, 469-470, 495, 502, 527
 Niels Bohr : 51, 55, 60, 62, 64, 66, 70, 75, 93-94, 444, 495
 Nimtz Gérard : 119
 Non-localité : 62, 68-70, 72, 83-84, 87, 90, 92, 105-109, 111-112, 114, 337-338, 438, 442, 450-451, 504
 Non-séparabilité : 69-70, 91-92, 110, 112-113, 121, 132, 382, 411, 504

O

Objectivité faible : 78, 80, 83, 94, 125, 504-505
 Objectivité forte : 72, 78, 80, 84-85, 90, 122-123, 125, 504-505

INDEX ALPHABÉTIQUE

Occam Guillaume : 167
 Ogryzko Vasily : 211, 262, 283
 Onfray Michel : 451, 483, 502
 Ontogenèses fondamentales : 251, 509
 Opposition de phases : 54, 504
 Ordres spontanés : 241
 Origine du vol : 297-298
 Orthosélection : 237, 308, 511
 Ortoli Sven : 59, 61, 73, 76, 100-101, 103, 105, 438-440, 450, 491, 496
 Ostrom John H : 297-298
 Oxford : 206, 216, 420, 464

P

Paldi Andras : 253-254, 263
 Paley William : 243
 Panthéisme : 238, 451, 470
 Paradigme : 39-43, 45-46, 91, 98, 123, 142, 247, 251, 267, 269, 275, 304, 311, 357, 364, 385, 413, 424, 436, 441-442, 446, 448
 Paradigme (changement) : 39, 70, 102, 338, 437
 Paradoxe d'Olbers : 142
 Paradoxe de Broglie : 78, 87, 121
 Paradoxe de Fermi : 175-176
 Paradoxe EPR : 63, 70, 84, 102, 107
 Parapsychologie : 90-92, 438
 Pauli Wolfgang : 189, 445
 Paysage évolutif : 314, 329, 331, 511
 Peacocke Arthur : 463, 501
 Pelt Jean-Marie : 435, 463, 501, 527
 Penfield Wilder : 414
 Penrose Roger : 91, 420, 431, 453, 493, 500
 Perrier Pierre : 258, 313, 315, 331, 335, 458, 463, 501, 527
 Petit Jean-Pierre : 173-174, 496, 502

Phacochère : 280-282, 317-319, 327, 342
 Pharabod Jean-Pierre : 59, 61, 73, 76, 100-101, 103, 105, 438-440, 450, 491, 496
 Photons : 14, 53, 56, 58, 65-67, 72, 84, 92, 110-111, 117-119, 121-123, 503-504
 Piveteau Jean : 248
 Planck Max : 52, 145, 193, 483
 Planète extrasolaire : 195-196
 Platon : 37, 99, 420, 453-454
 Platonisme : 99-100, 421, 453-455, 466, 472, 493
 Podolsky Boris : 63, 113
 Poincaré Henri : 133
 Polarisation : 65-67, 111, 504
 Polkinghorne John : 463, 527
 Popper Karl : 378-379, 420, 479, 500
 Positivisme : 424, 468, 504
 Potentiel de préparation : 403-406, 514
 Potentiel évoqué : 389-392, 395, 397, 514
 Potentiel quantique : 83-84, 125, 504
 Pragmatisme : 91
 Prigogine Ilya : 39, 436, 474, 489, 527
 Primack Joel : 197-198, 200, 466, 496, 527
 Principe anthropique faible : 159, 164, 169, 211, 450
 Principe anthropique fort : 159, 169, 171, 173-174, 211, 450
 Principe créateur : 167-168, 179, 200
 Principe d'incertitude : 56, 60, 62-64, 109, 125, 262, 423, 436, 441, 462, 505
 Principe de médiocrité : 196-197, 507
 Principe de mort (thanatotropic) : 173, 177

INDEX ALPHABÉTIQUE

Programme de Hilbert : 423-424, 436
 Propositions indécidables : 14, 425
 Protagoras : 472
 Protéines : 213, 242, 244, 263, 280, 284-285, 287-289, 312-313, 319, 330, 333, 437, 508
 Ptolémée : 37, 269, 321, 481

Q

Qualia : 375, 512, 514
 Queloz Didier : 195
 Quiniou Yvon : 95-97, 101, 350, 450

R

Rasoir d'Occam : 167, 179
 Rayonnement de fond : 141, 148-149, 157, 168-169, 191, 508
 Réalisme non physique : 75, 77-78, 80, 83-84, 86, 96, 99, 125, 338, 447, 505
 Réalisme physique : 78, 96, 505
 Réalité indépendante : 78-80, 92, 94, 98-99, 101, 125, 454-455, 467-469
 Réalité platonicienne : 421, 454
 Réduction du paquet d'ondes : 59-61, 81-82, 89, 121, 261
 Réductionnisme : 13-14, 42, 51, 218, 245, 369, 371, 396
 Réel voilé (ou lointain) : 14, 80, 85, 101, 467, 495, 505
 Rees Martin : 159, 170
 Reeves Hubert : 142-143, 154, 161, 163, 491, 496, 527
 Relativité générale : 133-134, 136-137, 181, 184, 186-187, 193-194, 196, 201, 208, 278, 322, 492, 507-508
 Relativité restreinte : 64, 84, 111, 133, 450
 Religion : 9, 23, 27, 33-36, 100-101, 141, 205, 220, 224, 234-235, 240, 245, 322-323, 325,

348, 428, 430, 440, 447, 451, 456-461, 463-467, 473, 483, 489, 493, 500
 Reptiles thériodontes : 300-304, 318-319, 328
 Résistances aux antibiotiques : 267, 283-284, 317
 Résonance magnétique nucléaire : 364
 Rétroaction : 370, 514
 Révélation : 30, 385, 465-466
 Rosen Nathan : 63, 113
 Russell Robert : 351, 458, 463, 501, 527

S

Sabom Michael : 413, 415, 500
 Saint-Exupéry Antoine de : 26-28, 31-33, 389, 475, 502
 Saint-Hilaire Étienne Geoffroy : 243
 Salam Abdus : 144
 Sartre Jean-Paul : 47, 484
 Schäfer Lothar : 80, 99, 262-263, 332, 334, 469, 491, 496, 527
 Schönborn : 354
 Schrödinger Erwin : 31, 81, 87, 461, 496
 Schützenberger Marcel-Paul : 292, 294, 312-313, 318, 331, 334-335, 345, 422, 500, 527
 Schwarzschild Karl : 182-183
 Science classique : 22, 40-41, 43, 68, 129, 438, 441, 446, 449, 454
 Scientisme : 92, 435, 449, 468, 472, 488, 505
 Searle John : 361, 365, 371, 376-377, 492, 500, 527
 Sélection de groupe : 220
 Sélection naturelle : 22, 31, 206, 208-211, 216-218, 220-223, 227, 231, 237, 241-242, 246-249, 252, 254-255, 258, 262-263, 270-271, 273, 275-279, 282, 284, 287-288, 295, 299, 305,

INDEX ALPHABÉTIQUE

310, 312, 314, 317-318, 326-327, 335, 343-346, 353-354, 356, 370, 436, 509, 511
 Sélection quantique : 263, 512
 Selleri Franco : 79, 84, 101, 496
 Sermoniti Giuseppe : 256-257, 498
 Shimony Abner : 107
 Singes anthropoïdes : 251, 512
 Smoot George : 149, 198-200, 497
 Sociobiologie : 24, 210, 218-221, 234, 248, 316, 499, 512
 Sokal Alan : 72-73, 460, 501
 Sophistes : 472, 484
 Sperry Roger : 372-373, 377, 400, 410, 500
 Spiritualisme : 377, 382, 448, 450, 468, 478, 484
 Split brain (cerveau coupé) : 407, 410, 514
 Stapp Henry : 80, 92-94, 386-387, 470, 527
 Stases : 289
 Steele Edmond : 260-261, 339, 499
 Suarez Antoine : 111-112
 Superlumineux : 171, 505
 Supernova : 154, 183, 189, 191, 508
 Superposition des états : 59, 81-82, 114, 120-121, 505
 Synapse : 367-368, 379, 514
 Système immunitaire : 213, 260, 327, 339, 412, 508-509

T

Téléologie : 244-245, 511
 Téléportation : 112-114, 119, 123, 171, 505
 Thalamus : 369, 514
 Théobald Christoph : 464, 501
 Théologie apophatique : 461
 Théologie cataphatique : 462
 Théorème de Fermat : 418

Théorème de Gödel : 165, 421, 425-426, 428, 432, 439, 441, 448, 450, 455, 460, 483, 493
 Théorie des supercordes : 193, 491
 Théorie du chaos : 14, 439, 441
 Théorie du tout : 164, 166, 193, 507
 Théorie M : 194, 491
 Thorne Kip : 172, 182, 184-185, 492, 497
 Tipler Frank : 153, 157-158, 162-164, 176, 496
 Traits ancestraux : 291, 512
 Transfert de fonction : 272, 301, 311, 512
 Trinh Xuan Thuan : 15, 23, 59, 141-142, 144, 153, 156, 158, 162, 165-168, 440, 465, 491, 493, 497, 501, 527
 Triton : 278-279, 302, 317, 327
 Trou de ver : 172, 181, 184-185, 508
 Trous noirs : 157, 172, 181-184, 188, 270, 278, 491-492, 496-497, 508
 Twain Mark : 153, 179
 Tycho Brahé : 240

U

Univers parallèles : 87, 99-100, 125, 165-167, 171, 439, 447, 451, 508
 Univers virtuels : 155, 508

V

Valéry Paul : 174
 Van Lommel Pim : 413
 Varela Francisco : 247
 Vauthier Jacques : 464, 502, 527
 Vérité : 37, 47, 65, 78, 95, 302, 353, 420, 422, 424-425, 428, 431-432, 436, 448, 453, 458-460, 465-467, 472-473, 479, 483, 489

INDEX ALPHABÉTIQUE

Vie après la mort : 429, 456, 464
Vigier Jean-Pierre : 84
Vitesse de la lumière : 64-67, 72,
84, 91, 106, 113, 115, 118, 122,
130-133, 171, 176, 465, 505
Von Neumann John : 82, 175-
176, 424, 426-427
Voyage dans le temps : 171-172,
174, 185-186, 398, 506
Voyageur de Langevin : 131, 133

W

Wald Georges : 469
Wang Hao : 312, 426, 428, 430,
500
Ward Keith : 463, 501, 527
Wegener Alfred : 42, 326
Weinberg Steven : 13, 25, 47,
144, 198, 497
Wells Jonathan : 264

Weyl Hermann : 424
Wheeler John : 182
Whitehead Alfred North : 239,
247
Wigner Eugène : 82, 90, 469
Wilberforce Samuel : 206
Wilczkowski Cyrille et Nicole :
35
Wiles Andrew : 418-419
Wilson Edouard : 24, 141, 219-
221, 346-347, 499
Witten Edward : 194
Wittgenstein Ludwig : 385, 442,
482
Wyard Adrian : 441

Z

Zeldovich Yakov : 183
Zurek Wojciech : 88, 90
Zwin Hervé : 96, 99, 452, 496

Remerciements

Je tiens d'abord à remercier ceux qui, dans leurs domaines, ont relu une partie de cet ouvrage et m'ont fait bénéficier de leur aide qui m'a été extrêmement précieuse (bien entendu, je suis le seul responsable des propos tenus dans ce livre et des erreurs qui pourraient y subsister) : Henri-Pierre Alberenc, Gilles Brassard, Philip Clayton, Marc Godinot, Nidhal Guessoum, Jean Kovalevsky, Jean-François Lambert, Dominique Laplane, René Lenoir, Philippe Mizrahi, Basarab Nicolescu, Vasily Ogrysko, Pierre Perrier, Trinh Xuan Thuan, Jacques Vauthier.

Au cours des dix-neuf années de recherche dont cet ouvrage est issu, j'ai rencontré des dizaines de scientifiques et de philosophes. Parmi eux, je tiens à remercier, pour les discussions stimulantes que nous avons eues : Denis Alexander, Werner Arber, Jacques Arsac, Mario Beauregard, Éric Bois, John Brooke, Rémy Chauvin, Raymond Chiao, André Comte-Sponville, Alain Connes, Simon Conway-Morris, Anne Dambricourt, Paul Davies, Michael Denton, Christian de Duve, Freeman Dyson, Luc Ferry, Niels Gregersen, Bruno Guiderdoni, Michael Heller, Roald Hoffmann, Alain Houziaux, Stanley Klein, dom Gérard Lafond, Dominique Lambert, Benjamin Libet, le Père Thierry Magnin, Jean-Marie Pelt, John Polkinghorne, Joel Primack, Hubert Reeves, Robert Russell, Lothar Schäfer, John Searle, Henry Stapp, Charles Townes, Gabriel Wackermann, Keith Ward.

Je tiens à saluer la mémoire de sir John Eccles, d'Ilya Prigogine et de Marcel-Paul Schützenberger. J'ai également eu la chance de partager de longues heures de discussion avec eux.

REMERCIEMENTS

Plusieurs personnes m'ont donné des conseils pour rendre ce livre plus accessible. Parmi elles, Patrice de Plunkett, Denis Terrien et Christophe Wasserman.

Je tiens à remercier tout particulièrement Alessia Weil pour le très grand travail de correction et de relecture qu'elle a effectué, Catherine Le Morvan, qui a saisi les 1 000 pages manuscrites de cet ouvrage et m'a apporté un soutien logistique essentiel au cours de sa réalisation, Saïd Branine, pour son aide relative à la bibliographie, aux glossaires et à l'index, et Michel Ligner pour ses conseils.

La réalisation de cet ouvrage a été rendue possible grâce à un soutien de la Fondation John Templeton. Je tiens à remercier son président John Templeton Jr, son vice-président Charles Harper et le directeur du domaine Science et Religion, Paul Wason, pour la confiance qu'il m'ont accordée et pour toutes les rencontres passionnantes que j'ai pu faire grâce aux différents colloques organisés ou soutenus par leur fondation.

La confiance d'Alain Noël, directeur des Presses de la Renaissance, a été un élément important pour que je me lance dans cette aventure.

Enfin, je tiens à remercier particulièrement Pascal Ferriot, qui a effectué la recherche iconographique de cet ouvrage, qui a conçu et réalisé la plupart de ses illustrations (et qui a inspiré la couverture), avec, pour certaines d'entre elles, le soutien de Nicolas Grégoire.

Présentation par Bernard d'Espagnat à l'Académie des sciences morales et politiques

Je dépose sur le bureau de l'Académie un livre de Jean Staune intitulé *Notre existence a-t-elle un sens ?* Sous-titre : *Une enquête scientifique et philosophique.*

Notre science est fertile en découvertes, mais la plupart sont affaire de spécialistes. Ne serait-elle intéressante que pour les personnes à tournure d'esprit plus ou moins scientifique, ne rêvant que structures de molécules ou interactions entre quarks ? Sans trop se risquer à le dire, beaucoup de non scientifiques, aujourd'hui, le pensent, et pour eux ce livre sera, je le crois, une révélation. Car Jean Staune a compris qu'à l'heure actuelle les découvertes véritablement significatives ne sont pas celles qui intéressent le plus les scientifiques. Bien au contraire il a su voir et faire voir que des découvertes scientifiques récentes remettent gravement en question tout le jeu d'idées pseudo évidentes qui durant des siècles a nourri une certaine illusion scientifique et qui, par voie d'osmose, a, petit à petit, passablement rétréci l'horizon de pensée de Monsieur Tout-le-monde. Et cela, manifestement, est philosophiquement et sociologiquement intéressant.

Pour l'établir, il fallait parcourir la science dans son ensemble. C'est pourquoi le livre se divise en quatre principaux chapitres, consacrés respectivement à la physique, l'astrophysique, la neurologie et la théorie de l'évolution. En physique, après avoir rappelé la dualité onde-corpuscule et les problèmes conceptuels – connus mais bien réels – qu'elle soulève (dont le célèbre indéterminisme quantique), il explique ce que sont le théorème de Bell et les expériences d'Aspect, lesquels, pris ensemble, nous obligent à renoncer à tout réalisme local, et en particulier – mais oui ! – à l'atomisme philosophique. Le tout, note-t-il, plaide en

faveur de l'idée que la physique nous décrit non pas le réel ultime, le réel en soi, mais seulement les apparences valables pour tous. Ce qui n'empêche aucunement la théorie correspondante d'avoir des applications étonnantes telle la construction d'une cryptographie inviolable. En astrophysique de même, après avoir rappelé l'essentiel des données actuelles, Staune analyse l'une des notions aujourd'hui les plus discutées, celle du principe anthropique, et conclut que l'existence d'un principe créateur – ou d'un programme, si l'on préfère – est vraisemblable à moins que n'existe une infinité d'univers. En ce qui concerne la théorie de l'évolution, après avoir rappelé que l'évolution est un *fait* et le darwinisme une pure et simple *théorie* (honte à qui confond l'un et l'autre !), il donne de la situation une analyse objective et approfondie, et conclut prudemment que sur la validité du néodarwinisme il est, actuellement, encore difficile de se prononcer. En neurologie, enfin, il montre, sur la base de données récentes, que le dualisme matière-esprit « redevient une hypothèse acceptable ». Je tiens à souligner que dans chacun de ces quatre domaines l'auteur s'appuie sur une documentation très abondante et très à jour, qu'il analyse avec une grande pénétration. Naturellement, il ne lui incombait, en aucun d'eux, de se livrer à un exposé exhaustif des très nombreuses découvertes qui y furent récemment faites, la plupart étant neutres relativement au problème qui l'intéresse, celui, disons, du sens de l'existence. Mais de celles susceptibles d'y jouer un rôle il tient, dans le livre, objectivement compte, qu'elles soient ou non favorables à l'idée qu'il défend. Et, de fait, le tri que son approche de la science le conduit ainsi à effectuer se trouve présenter un avantage, en quelque sorte additionnel. Celui d'offrir à « l'honnête homme » d'aujourd'hui, qu'il soit ou non soucieux de la « question du sens », une description claire et précise – débarrassée d'une foison de données adventices et centrée par là même sur l'essentiel – de la manière dont s'organisent, dans les quatre domaines en question, nos connaissances fondamentales.

Dans un chapitre de conclusion, Jean Staune émet l'idée qu'en science un nouveau paradigme est en train de s'imposer, qui peu à peu, sous la pression des faits observés, remplacera le paradigme original, lequel remonte au mécanisme cartésien et newtonien. Ce nouveau paradigme, il donne de bonnes raisons de le concevoir dans la ligne du platonisme, au sens du mythe de la caverne : il y a une réalité fondamentale, unitaire et harmonieuse

(du moins au sens où les mathématiques le sont), dont les phénomènes que nous étudions ne sont que les « ombres ». Les philosophes trouveront là, je crois, matière à réflexion. En effet, beaucoup aujourd'hui semblent voir dans l'avènement de la notion « d'un monde de forces et de chocs » (Luc Ferry, *Kant*) – avènement suscité, notent-ils, par la science moderne en remplacement de l'idée antique de *cosmos* – quelque chose de définitif, que la philosophie devrait impérativement prendre en compte parmi les données sur lesquelles elle a à construire. Or justement, ce que montre clairement le livre de Staune c'est que, à cet égard, certaines découvertes récentes ont tout changé, et que maintenant considérer, par exemple, le monde comme étant fondamentalement une collection d'objets très simples soumis à des forces et s'entrechoquant – ou comme étant quoi que ce soit de similaire – est devenu antiscientifique. Un changement de perspective qui, naturellement, légitime à nouveau des conjectures naguère tenue pour irrecevables mais n'implique de façon nécessaire ni, bien sûr, un retour au cosmos antique ni une conversion au religieux traditionnel. De fait, dans une section intitulée « Et Dieu dans tout cela ? », Jean Staune énumère avec beaucoup de lucidité sept postulats que l'on doit faire l'un après l'autre si l'on désire identifier l'ultime réalité dont il vient d'être question à un Dieu personnel sensible à nos prières.

Il me faut enfin préciser que Jean Staune a magnifiquement réussi à faire connaître toutes ces données et à développer ses arguments en un langage simple, clair, direct, amusant même à l'occasion, qui rend la lecture de ce gros livre aussi aisée que captivante et contribue à sa manière à en faire un ouvrage, à mon avis, exceptionnel.

Table

| | |
|----------------------------------|---|
| Préface : Trinh Xuan Thuan | 9 |
|----------------------------------|---|

I. LA QUESTION LA PLUS IMPORTANTE QUI SOIT

| | |
|---|----|
| 1 – Le désenchantement du monde (et de l'homme !) | 19 |
| 2 – Comment ébaucher
un « traité de la condition humaine » ? | 29 |
| 3 – Vers de nouvelles « lumières » | 39 |

II. QU'EST-CE QUE LE RÉEL ?

| | |
|--|----|
| 4 – Au-delà de cette limite,
notre vision du monde n'est plus valable | 51 |
| Des notions de base déjà étranges | 52 |
| Lorsqu'un électron se rencontre lui-même | 57 |
| La non-localité, porte ouverte vers une autre
réalité | 62 |
| 5 – Vers un réalisme non physique | 75 |
| Et si la science n'avait rien à dire sur la réalité ? | 75 |
| Le réalisme non physique | 77 |
| Notre conscience individuelle est-elle
la cause de l'apparence de notre monde ? | 81 |
| L'information peut-elle remonter le temps ? | 82 |
| Le potentiel quantique | 83 |
| La théorie des univers parallèles | 87 |

TABLE

| | |
|---|-----|
| Nouvelle physique et apparences du monde
qui nous entoure | 88 |
| Au cœur de l'inconnaissable | 92 |
| Quelques difficultés que la physique quantique
cause aux philosophes matérialistes | 95 |
| Faire connaître la physique quantique
pour faire reculer l'obscurantisme | 102 |
| 6 – Vous qui entrez ici, perdez toute espérance !
(de revenir au monde classique) | |
| La non-localité s'échappe des laboratoires | 105 |
| La non-localité dans la panoplie des agents secrets ? | 106 |
| Le temps n'existe pas ! | 107 |
| La téléportation... ça marche ! | 111 |
| Un virus peut-il être quantique ? | 112 |
| Quand la lumière va plus vite que la lumière | 114 |
| La métamorphose de l'électron | 115 |
| Requiem pour le chat de Schrödinger | 120 |
| Requiem pour les supporters du monde classique | 121 |
| | 123 |

III. D'OÙ VENONS-NOUS ? OÙ ALLONS-NOUS ?

| | |
|--|-----|
| 7 – Entendez-vous le murmure du big bang le soir
au fond des radiotélescopes ? | 129 |
| La deuxième fissure | 129 |
| Quand les jumeaux n'ont plus le même âge | 131 |
| Un monde dans lequel les masses
ont la propriété de déformer le vide | 134 |
| La genèse du big bang | 138 |
| Les autres preuves du big bang | 142 |
| Pourquoi l'Univers est-il aussi homogène ? | 146 |
| Pourquoi l'Univers n'est-il pas totalement homogène ? | 148 |
| D'où venons-nous ? | 150 |
| 8 – Dieu revient très fort | 153 |
| Pourquoi l'Univers est-il si grand ? | 153 |
| Pourquoi l'Univers est-il si bien réglé ? | 155 |
| Le principe anthropique : lorsque la science
pose ouvertement la question du sens | 158 |
| Une infinité d'univers parallèles permettent-ils
d'éviter Dieu ? | 165 |

TABLE

| | |
|---|-----|
| Quand les matérialistes sont sous la menace
d'un coup de rasoir | 167 |
| L'hypothèse d'un créateur n'est plus hors
du champ de la science ! | 168 |
| Et voici le principe anthropique superfort ! | 170 |
| Dieu et la longueur d'absorption du neutron | 173 |
| Mais où sont-ils ? | 175 |
|
9 – Là où il fait plus noir que vous ne pouvez l'imaginer | 181 |
| Les trous noirs | 181 |
| Un raccourci à travers l'espace-temps ? | 184 |
| Des mirages dans l'espace | 186 |
| Quand l'invisible devient plus important que le visible | 187 |
| L'énergie noire : une mystérieuse force répulsive ? | 190 |
| L'Unification : la quête du Graal du XXI ^e siècle | 193 |
| Combien d'autres terres dans la galaxie ? | 194 |
| Certitudes et questions ouvertes | 196 |
| La fin du principe de médiocrité | 196 |
| La religiosité cosmique | 198 |

IV. SOMMES-NOUS ICI PAR HASARD ?

| | |
|---|-----|
| 10 – Les évolutions de l'évolution | 205 |
| Les différentes écoles en présence | 205 |
| Les darwiniens forts : la sélection, rien que la sélection | 216 |
| Les darwiniens faibles : prédominance du hasard | 225 |
| Les non-darwiniens faibles : le hasard canalisé | 236 |
| Les non-darwiniens forts : au-delà du hasard
et de la sélection naturelle | 242 |
| Néolamarckisme, physique quantique et autres pistes .. | 260 |
| L' <i>Intelligent Design</i> : la complexité irréductible
de la nature implique-t-elle l'existence d'un créateur ? | 264 |
|
11 – Des « histoires comme ça » | 267 |
| Coquillages darwiniens et papillons non darwiniens | 271 |
| Quand le triton nous fait un clin d'œil | 278 |
| Le phacochère est-il lamarckien ? | 280 |
| Le darwinisme est-il dangereux pour notre santé ? | 282 |
| « Madame la protéine, c'est l'heure de votre mutation » | 284 |
| Des chaînons manquants qu'on ne cherche même plus | 289 |
| De la nécessité des monstres prometteurs | 292 |
| Connaissez-vous votre « capacité à évoluer » ? | 299 |

TABLE

| | |
|---|-----|
| Ei si l'évolution se faisait (presque) indépendamment de la sélection ? | 305 |
| Recherchons micro-ondes et téléviseurs darwiniens | 310 |
| Kipling a-t-il parodié le darwinisme ? | 315 |
| Une autre théorie de l'évolution est possible | 318 |
| 12 – Recherchons Einstein de la biologie (urgent) ! | 321 |
| Newton > Darwin > Ptolémée | 321 |
| De quels concepts disposons-nous déjà pouvant servir à ébaucher une NTE ? | 328 |
| Comment le darwinisme conserve-t-il une position hégémonique ? | 338 |
| Darwinisme et religion | 349 |

V. QUI SOMMES-NOUS ?

| | |
|---|-----|
| 13 – Dur, dur le problème... .. | 361 |
| Les identitaires : rien d'autre que les neurones | 365 |
| Les émergentistes : le tout est plus que la somme des parties | 366 |
| Le cerveau est-il un ipod ou une radio ? | 377 |
| 14 – L'homme non neuronal | 389 |
| Les moines tibétains sont-ils des morts-vivants ? | 389 |
| Nous pouvons tous remonter le temps ! | 390 |
| Libre oui, mais de dire non ! | 402 |
| L'homme, un animal porteur de sens | 406 |
| Le grand retour scientifique du dualisme | 411 |
| 15 – Une voie rationnelle vers le monde de l'esprit ? | 417 |
| Sommes-nous en contact avec un « monde des mathématiques » ? | 417 |
| Gödel ou la transcendance de la vérité mathématique . | 422 |

CONCLUSION

| | |
|---|-----|
| 16 – Une nouvelle approche de la science | 435 |
| L'émergence d'un nouveau paradigme | 436 |
| La voie de l'incomplétude : je sais pourquoi je ne sais pas | 441 |
| Le dépassement du matérialisme méthodologique | 443 |

| | |
|---|-----|
| 17 – Science et sens, raison et religion | 447 |
| L'Hiroshima du matérialisme scientifique | 447 |
| Et si les cinq grands mystères ne faisaient qu'un ? | 452 |
| Et Dieu dans tout cela ? | 455 |
| Science et religion, les éléments d'un rapprochement .. | 461 |
| Quelle réponse à « la question la plus importante
qui soit » ? | 467 |
| Postface : Dominique Laplane | 477 |
| Guide de lecture | 491 |
| Bibliographie thématique | 495 |
| Glossaire | 503 |
| Index alphabétique | 515 |
| Remerciements | 527 |
| Présentation de Bernard d'Espagnat | 529 |

Vous pouvez poser des questions à l'auteur
et réagir à cet ouvrage sur le site :
www.lesensdelexistence.fr

Le site de l'auteur est :
www.staune.fr

Le site www.uip.edu contient de nombreuses indications
sur les sujets traités ici et permet de se tenir au courant
des activités organisées autour de ces thèmes.