

## SUR LA ROUTE DU COSMOS

### **Les routes du savoir.**

Une œuvre de Jacques Dufresne et Hélène Laberge. Six voyages dans l'histoire à l'image d'une route des vins : cosmos, vie, nourriture, santé, musique, ordinateur. Les premières versions, demeurées inédites dans leur intégralité, ont été achevées en 1989 et 1990. Nous avons conservé les textes sans les mises en page d'origine d'où les paragraphes appelés encadré ou détour. Avec un peu d'attention et l'habitude on peut s'y retrouver, mais sans les notes ; on peut même en faire un jeu et y prendre plaisir tant les surprises au bord de la route sont nombreuses et heureuses

La route sur la musique parue au format PDF donne un aperçu de cette mise en page.  
<http://agora.qc.ca/a/public/agora/fichiers/202206/musique-2020-ter.pdf>

Le rapport de l'homme moderne avec l'univers est un mélange instable d'ivresse et d'angoisse. Ivresse de la conquête de l'espace, par le télescope d'abord, par les fusées ensuite... Ivresse des grandes énigmes dénouées: éloignement des galaxies qui permet de situer le big bang, l'explosion initiale, il y a 15 milliards d'années; découverte des trous noirs, des quasars.

Le prochain sommet de cette ivresse sera vraisemblablement atteint dans quelques années, quand les Américains auront placé en orbite un télescope qui permettra de repousser plus loin encore la limite de l'explorable.

Mais déjà au XVIIe siècle, avant même que Newton n'ait établi la mécanique céleste sur des bases solides, l'angoisse apparaissait comme la face cachée de l'ivresse: «Le silence éternel des espaces infinies m'effraie!» avoue Pascal. Le poète Paul Valéry lui fera écho au XXe siècle lorsqu'il fera dire à la jeune Parque:

Détour: \* Tout puissants étrangers, inévitables astres

Qui daignez faire luire au lointain temporel  
Je ne sais quoi de pur et de surnaturel;  
Vous qui dans les mortels plongez jusques aux larmes  
Ces souverains éclats, ces invincibles armes,  
Et les élancements de votre éternité,  
Je suis seule avec vous, tremblante, ayant quitté  
Ma couche; et sur l'écueil mordu par la merveille,  
J'interroge mon coeur quelle douleur l'éveille  
Quel crime par moi-même ou sur moi consommé?... FIN

Et pendant que les astronomes accèdent aux milliards d'années lumière, les astrologues proposent aux humains solitaires leurs remèdes millénaires contre l'angoisse. Une astronomie nouvelle, plus que jamais audacieuse et l'astrologie traditionnelle représentent les deux pôles du rapport de l'homme contemporain avec l'univers. Est-il possible, est-il souhaitable de rapprocher ces deux pôles? Pour en décider il faut aller au-delà des idées reçues sur cette question.

Sous-titre: Dialogue entre l'astronome et l'astrologue.

Astrologue: Vous, les astronomes, estimez être les seuls détenteurs de la vérité sur l'univers. Quand vous ne nous attaquez pas directement, vous nous reléguez parmi les ombres du passé de l'intelligence: magiciens, sorciers, préposés aux superstitions de tous genres. Vous devez au moins reconnaître que nous sommes des ombres bien vivantes, qui ont plus d'adeptes que vous, y compris dans cet Occident qui célébrait déjà le triomphe définitif de la science il y a deux siècles.

Astronome: Je reconnais que nos ancêtres du siècle des Lumières ont sous-estimé la résistance des superstitions et de la mentalité archaïque.

Astrologue: Là où vous voyez une mentalité archaïque, je vois un besoin profond qui transcende les lieux et les époques, qui est indissociable de la condition humaine. La science étant incapable de satisfaire ce besoin, les gens se tournent vers l'astrologie. Notre succès est à la mesure de la faillite de la science.

Astronome: Je crois que vous vous méprenez sur la science. Elle établit les lois de la nature et nous apprend, par exemple, que, selon toute probabilité, l'univers a commencé il y a quinze milliards d'années, qu'il est depuis en expansion, que le temps est relatif... Il ne lui appartient pas de satisfaire les besoins psychologiques ou métaphysiques des êtres humains.

Astrologue: Dans l'analyse froide et austère des forces à l'oeuvre dans l'univers, y a-t-il quelque chose qui donne sens à l'existence humaine au coeur du Grand Tout? Le grand physicien contemporain Werner Heisenberg déplorait que «l'homme se trouve désormais seul avec lui-même» face à un univers-miroir, à une nature qui ne peut que lui renvoyer, confirmées ou infirmées, les formules mathématiques à l'aide desquelles il l'interroge. Ne ressentons-nous pas tous, à

des degrés divers, cette angoisse et cette solitude? Il n'est pas exclu que ces sentiments négatifs soient à l'origine de bien des états dépressifs, de bien des suicides même. Et pour ma part, je vais jusqu'à penser que l'omniprésence de la musique dans la vie quotidienne des Occidentaux, fait banal à première vue, s'explique par le besoin qu'ont les gens d'échapper au silence oppressant de l'univers.

Astronome: La science n'est pas une thérapie. Oseriez-vous prétendre que l'astrologie en est une?

Astrologue: Une pratique qui conserve la faveur de la majorité malgré les démentis de la science mérite autant de considération qu'une science qui fabrique la bombe H et menace les équilibres de la biosphère.

Astronome: ...et dont les applications techniques ont adouci la vie de milliards d'êtres humains. Quant à la preuve par la majorité... Pendant des millénaires, les hommes ont cru, majoritairement, que la terre était plate. Était-ce une preuve?

Astrologue: La science nous explique tout sauf le plus important: nous-mêmes. L'astrologie comble cette lacune.

Astronome: Les fondements mêmes de l'astrologie sont incompatibles avec les données de la science. Les constellations auxquelles sont rattachés les traits du caractère doivent leurs noms aux Assyrio-Babyloniens. Ces derniers voyaient dans le ciel des figures en rapport avec leurs préoccupations: le taureau... le bélier, l'ours, etc. Imaginons que ces mêmes constellations aient été baptisées au XXe siècle. Nous y verrions une navette spatiale, une montre-bracelet ou un jeu vidéo... Toute la psychologie du monde ne suffirait pas à prêter des traits de personnalité à ces objets. Si j'étais né sous le signe de l'Ordinateur plutôt que sous celui du Bélier, serais-je un être froid, logique et calculateur plutôt que fougueux et dynamique?

Et au-delà de tout cela, peut-être ignorez-vous qu'en raison d'une particularité dans le mouvement de la terre, particularité qu'on appelle précession des équinoxes, les signes ne coïncident plus avec les constellations que nous traversons. Nous naissons tous en réalité sous le signe qui précède le nôtre. Je ne suis pas Bélier mais Poisson. Je devrais donc être d'un tout autre tempérament... La génétique nous en apprendrait davantage sur notre nature. Les rayons cosmiques atteignent et modifient le patrimoine génétique des

espèces, assurant ainsi la variété parmi les êtres vivants. Voilà la principale influence du cosmos sur notre destinée.

Astrologue: La génétique a beau m'assurer que je suis unique par l'arrangement de mes gènes, tout cela reste abstrait. L'analyse de mon ADN ne me dit pas qui je suis, qui je pourrais aimer... où est la rose dont je suis responsable...

Astronome: Dans ces conditions, plutôt que de vous en remettre aux astres, vous devriez consulter un psychologue. Et si le dépaysement et le retour aux origines vous aident à mieux vous connaître vous-même, pourquoi ne vous adresseriez-vous pas à l'un de ces psychologues jungiens qui cherchent des images de l'homme éternel dans les mythologies? Il vous conduira dans l'Olympe où, en vous comparant à des divinités comme Apollon, Gaia, Héphaïstos ou Aphrodite, vous découvrirez peu à peu votre identité.

Astrologue: Mais l'astrologie va beaucoup plus loin que la mythologie grecque ou la psychologie. Non seulement elle m'aide à mieux me connaître, mais elle me prépare à ce qui peut survenir, elle me permet de faire jouer en ma faveur des forces qui me dépassent. Tibère avait ses astrologues à Capri. Ronald Reagan, deux millénaires plus tard, consultait les siens en Californie. Pourquoi pensez-vous que de grands chefs d'État ont recours à l'astrologie? Les forces les plus déterminantes sont peut-être celles qu'on connaît le moins. «Avoir une bonne étoile». Les expressions de ce genre ne se sont sûrement pas imposées par hasard.

Astronome: Mais monsieur l'astrologue, le scepticisme à l'égard de l'astrologie a aussi son histoire. Cicéron, un jour, s'est écrié; «tous ceux qui ont péri à la bataille de Cannes étaient-ils donc nés sous le même astre?» Shakespeare, au XVI<sup>e</sup> siècle, s'est élevé contre ceux qui mettent «leurs penchants lascifs à la charge des étoiles». Au XX<sup>e</sup> siècle, le philosophe Alain s'est fait l'écho de Cicéron et de Shakespeare: «Méfiez-vous des Cassandres, âmes couchées. L'homme véritable se secoue et fait l'avenir».

On devine la suite du débat entre l'astrologue et l'astronome. Retenons l'idée essentielle qui se dégage de l'ébauche que nous en avons donnée. L'homme moderne se sent en exil dans l'univers. Le succès de l'astrologie témoigne chez lui d'un refus obstiné de rompre les dernières amarres qui le rattachent à l'univers.

Pour le regard non guidé par la science, la terre est plate, le soleil tourne autour d'elle, le ciel étoilé est une voûte. A ces réalités, fausses mais concrètes, on a peu à peu substitué des réalités vraies, mais abstraites. La terre tourne sur elle-même et autour du soleil! Comment le croire? Et quand l'univers est redevenu concret grâce au télescope, il cessa d'être à l'échelle humaine. Quand nous aperçûmes les plus lointaines galaxies, ce fut pour découvrir qu'elles étaient en fuite vers l'infini. Une autre phrase prophétique de Pascal prenait alors tout son sens: «L'univers a son centre partout et sa circonférence nulle part». Le sentiment de sécurité que l'homme éprouvait sous la voûte étoilée ne pouvait que disparaître devant les galaxies en fuite.

Certes, la science se renierait si elle se livrait à des extrapolations abusives pour donner du monde une image conforme aux désirs des hommes. Comme le dit avec humour William Alfred Fowler, Prix Nobel de physique en 1983, «la terrible tragédie de la science, c'est le meurtre horrible de superbes théories par des faits hideux». Mais l'astrologue nous rappelle une chose: l'univers ne se réduit pas à ce que la science nous en dit. L'astronome le plus rigoureux ne saurait en disconvenir.

Encadré: La qualité et la quantité

«Entre le regard de l'astronome et le regard de l'astrologue sur les étoiles, écrivait Jünger, il y a la même différence qu'entre le regard de Newton et celui de Goethe sur le monde des couleurs. Il s'agit là de mesure quantitative, ici de qualité non mesurable. Cela vaut pour les couleurs, et pour le temps également. Et il se trouvera toujours des hommes qui tiennent la qualité du temps pour plus importante que sa mesurabilité. Il n'est personne au fond qui l'ignore. Le temps ne fournit pas seulement le cadre de la vie; il est aussi le vêtement du destin. Il ne marque pas seulement ses limites à la vie, il est aussi sa propriété. A la naissance de chaque homme surgit le temps qui est le sien.

C'est pourquoi, quand bien même toutes les données de l'astrologie seraient erronées, elle garderait son sens, celui d'une tentative en vue de sonder le monde à une profondeur que nulle pensée, nul télescope ne peuvent atteindre». FIN

Mais hélas, pour celui qui est en quête d'un sens intelligible, qui cherche dans l'univers une chaleur qui soit aussi lumière, l'astrologie, toute irrationnelle, est une solution bien décevante. Comment réenchanter le monde sans l'obscurcir?

En décembre 1817, lors d'un dîner littéraire qui réunissait de brillants artistes britanniques, certains conclurent qu'Isaac Newton, «en réduisant l'arc-en-ciel à ses couleurs prismatiques en avait détruit toute la poésie»\*. Comment lui rendre sa poésie sans lui enlever sa vérité? Ou plutôt comment harmoniser sa vérité quantitative et sa vérité qualitative? Comment éviter que la rencontre de ces deux dimensions ne tourne en duel?

Détour: \* Ces artistes auraient donné leur adhésion à ces vers de Hugo:

Restons loin des objets dont la vue est charmée.  
vapeur, le nuage est fumée.

L'arc-en-ciel est

L'idéal tombe en poudre au toucher du réel. FIN

Dans ce contexte, les grandes cosmologies du passé prennent un intérêt inattendu pour celui qui serait tenté de n'y voir que de maladroites préfigurations des connaissances d'aujourd'hui. Certes, sur un plan étroitement scientifique, les doctrines comme celles de Pythagore, d'Aristote, des stoïciens et de Ptolémée n'ont qu'un intérêt historique limité. Dès lors cependant qu'on se soucie de présenter une vision globale et unifiée de l'univers, de donner un sens aux faits observés, ces mêmes cosmologies ne sont plus seulement les premiers barreaux d'une échelle qui monte vers les trous noirs, elles sont, comme l'Hermès de Praxitèle, des sources intemporelles d'inspiration.

TITRE: Le cosmos selon Pythagore

L'Évolution est la loi de la Vie  
Le Nombre est la loi de l'Univers  
L'Unité est la loi de Dieu

«Pythagore fut le premier à appeler cosmos l'enveloppe de toute chose, à cause de l'ordre qui s'y trouve».

Sous-titre: L'ordre et les nombres

En grec ancien le mot cosmos signifie ordre. Les Pythagoriciens croyaient que l'Un, l'Achévé, (qu'on peut identifier à Dieu) avait façonné un monde organisé, structuré, à partir d'une matière initiale qu'on appelait l'Inachévé, ou la Dyade, (deux).

L'homme vivait alors au rythme du Grand Tout, lui-même vivant, intelligent, doué d'une âme. Le mouvement des astres et le cours des saisons, telle une musique familière, marquaient le rythme du travail, du repos et des réjouissances. La terre, centre du monde, était un parc enchanteur au sein duquel l'homme pouvait s'ébattre\* sous le regard bienveillant de Dieu.

Détour: \* Poème d'Hadrien

Le célèbre poème de l'empereur Hadrien sur la mort, sur sa mort évoque un univers où par-delà la Nécessité, le Jeu demeure possible.

Aninula vagula blandula,  
Hospes comesque corporis,  
Quae nunc abibis in loca,  
Pallidula, rigida, nudula,  
Nec, ut soles, dabis iocos.

Petite âme, errante, caressante,  
Hôtesse et compagne du corps,  
Qui maintenant disparais dans des lieux,  
Livides, dénudés, figés,  
Tu ne pourras plus, selon ton habitude,  
T'abandonner à tes yeux. FIN

Encadré: Le Géocentrisme

Nous savons désormais que la terre n'est pas le centre du monde. La connaissance du monde par les sens et le géocentrisme, l'anthropocentrisme naïfs qui en découlent, n'en constituent pas moins une expérience bien réelle,

même pour l'homme moderne comme en témoignent ces vers de Hugo écrits trois siècles après la révolution copernicienne.

Parfois, lorsque tout dort, je m'assieds plein de joie  
Sous le dôme étoilé qui sur nos fronts flamboie;  
J'écoute si d'en haut il tombe quelque bruit;  
Et l'heure vainement me frappe de son aile  
Quand je contemple, ému, cette fête éternelle  
Que le ciel rayonnant donne au monde la nuit.

Souvent alors j'ai cru que ces soleils de flamme  
Dans ce monde endormi n'échauffaient que mon âme;  
Qu'à les comprendre seul j'étais prédestiné;  
Que j'étais, moi, vaine ombre obscure et taciturne,  
Le roi mystérieux de la pompe nocturne;  
Que le ciel pour moi seul s'était illuminé! FIN

On attribue souvent à Pythagore une théorie avant-gardiste selon laquelle la terre, comme tous les autres astres, tournent sur une orbite circulaire autour d'un feu central, qu'il faut bien se garder de confondre avec le soleil. C'est le disciple le plus célèbre de Pythagore, Philolaos, qui, en réalité, est à l'origine de cette théorie. On a tout lieu de croire cependant que ce sont des considérations métaphysiques et non des raisonnements scientifiques qui ont ainsi amené Philolaos à devancer les astronomes modernes. Le cercle était pour les Pythagoriciens la forme parfaite, le symbole de la plénitude. La terre et les autres astres créés par les dieux ne pouvaient être en conséquence que des sphères et leur orbite que des cercles à vitesse uniforme. Ce culte de la sphère et du cercle survivra à tous les autres aspects de la cosmologie pythagoricienne.

Pour les Pythagoriciens, une vision du monde excluant l'homme n'aurait pas été une vision du monde. A leurs yeux, l'homme était intégré au monde comme l'oeil à l'ensemble du corps. Le sens de l'existence humaine découlait de ce sentiment d'appartenance au grand Tout, lequel était appelé macrocosme (grand cosmos), par analogie à l'homme qui était considéré comme un microcosme.

On devine la joie du musicien qui, le premier, a tiré des sons harmonieux du chaos des bruits, de la cacophonie; et celle de l'architecte qui a créé les premières proportions plaisant à l'esprit autant qu'à l'oeil. Tel était le sentiment de Pythagore devant l'univers. Derrière le mouvement ordonné des astres, il voyait

le rayonnement de l'Un, de l'Achévé. Un mot résume cet émerveillement: «...Sans lui (le nombre), nous ne pourrions rien penser ni connaître».

Même si l'on sait que la pensée de Pythagore, qui elle-même a ses racines dans les plus vieilles traditions méditerranéennes, imprègne toute la pensée grecque, on ne la connaît que de façon indirecte. Elle n'est pas un ensemble de textes signés par Pythagore, mais une vision du monde qu'on doit reconstituer à partir d'indications attribuées parfois à Pythagore lui-même mais le plus souvent à l'un ou l'autre de ses disciples, dont les deux principaux sont Philolaos et Archytas\*.

\* Détour: Archytas

«Parfait Pythagoricien, il garda dans sa vie la synthèse de tous les arts; ses contemporains l'admirèrent comme métaphysicien et moraliste, comme le musicien qui énonça la théorie des harmoniques, comme le géomètre qui définit la duplication du cube, comme le technicien, inventeur de la vis et de la poulie, et constructeur d'une machine volante; enfin comme le seul Pythagoricien devenu chef d'État: maître incontesté de Tarente, vainqueur à l'extérieur dans toutes ses entreprises militaires, il instaura dans sa cité la République des sages. A ce titre, Platon ne l'adopta pas seulement pour ami, mais pour modèle». FIN

On peut tout de même affirmer en toute certitude que chez Pythagore le mot nombre ne signifie pas chiffre ou numéro, mais plutôt proportion. Le mot grec arimos, que nous traduisons par nombre était synonyme de logos mot qui signifie proportion, en plus de désigner dans d'autres contextes, la raison, la science, le langage ou la cause.

La science moderne nous aide à comprendre la thèse suivante: nous pouvons comprendre le monde parce qu'il a été fait selon le nombre. Les Pythagoriciens soutenaient également que c'est le nombre qui rend le réel accessible à nos sens, que c'est même lui qui leur donne un corps. Si mystérieuse que demeure pour nous une telle affirmation, nous pouvons en deviner le sens en pensant à la musique ou à un édifice bien proportionné, lesquels touchent d'autant plus nos sens qu'ils sont plus imprégnés de nombres. Nous pouvons aussi songer aux formules mathématiques qui rendent compte des rapports entre les particules atomiques dont la matière est constituée.

@SOUS-TIT1 = L'Harmonie des sphères

Voici l'instrument de musique le plus simple qui soit: une corde tendue sur une caisse de résonance. Si nous pinçons la corde dans toute sa longueur, nous entendons le son X. Si nous divisons la corde en deux et si nous pinçons l'une ou l'autre de ces deux moitiés, nous obtenons un son Y dont nous remarquons qu'il est en parfaite consonnance avec le son X. Il s'agit en réalité de l'octave. Il correspond au rapport  $1\backslash 2$ . La quarte (SOL) correspond au rapport  $3\backslash 4$ , la quinte (FA) au rapport  $2\backslash 3$ . D'où vient que les accords les plus beaux pour l'oreille correspondent aux rapports numériques les plus simples?

Émerveillé, Pythagore a fait l'hypothèse que tout ce qui est beau dans l'univers, et d'abord l'univers lui-même dans son ensemble, s'explique par des rapports musico-mathématiques entre des nombres.

Imaginons une corde de 1 m, une seconde de 50 cm, une troisième de 66 cm et une quatrième de 75 cm, au bout desquelles on aurait attaché une sphère. Imaginons ensuite qu'on fasse tourner ces quatre cordes simultanément et que le vent ou une autre force invisible pince tantôt l'une tantôt l'autre. Il en résulterait une musique analogue à celle qu'on peut tirer d'une corde tendue sur une caisse de résonance. C'est sans doute ainsi que Pythagore a été amené à faire l'hypothèse de l'harmonie des sphères.

Dans son univers, la terre est une sphère autour de laquelle tournent en cercles concentriques le soleil, la lune, les cinq planètes alors connues - Mercure, Vénus, Mars, Jupiter, Saturne - et la sphère des étoiles fixes. Les révolutions de ces astres produisent dans l'air des notes distinctes qui sont à l'orbite ce que les sons d'un instrument sont à la longueur de la corde.

Les Pythagoriciens faisaient en outre l'hypothèse que l'ensemble des intervalles entre les orbites étaient soumis aux lois de l'harmonie de telle sorte que le tout formait une immense lyre aux cordes circulaires produisant des sons agréables: l'harmonie céleste.

Quand on faisait observer à Pythagore que cette merveilleuse musique avait l'inconvénient d'être silencieuse, il répondait qu'il en est de l'harmonie des sphères à nos oreilles comme du bruit de l'enclume à l'oreille du forgeron: l'habitude nous empêche de l'entendre.

Puisque, pour un pythagoricien, l'univers ne pouvait être pensé sans l'homme, ni l'homme sans l'univers, l'harmonie universelle englobait les rapports des hommes entre eux et avec les divinités. La métaphysique était indissociable de la physique. Platon, lui-même pythagoricien, a formulé cette intuition dans les termes suivants: «les sages, ô Kalliklès, disent que l'amitié, l'ordre, la raison et

la justice tiennent ensemble le ciel et la terre, les dieux et les hommes; voilà pourquoi ils appellent cet ensemble le Cosmos, c'est-à-dire le bon ordre».

Nous pensons aujourd'hui que le monde est non pas un ordre, mais un ensemble informe de forces auquel il nous appartient de donner une forme, opération que nous appelons transformer le monde. Les Pythagoriciens pensaient que c'est l'homme qui est un ensemble informe de forces et que par suite, avant de songer à transformer le monde, il doit s'imprégner de sa forme en le contemplant. Tel était le sens des longues années de silence, de méditation et de réflexion que Pythagore exigeait de ses disciples.

Encadré: LA DANSE COSMIQUE

A la fin du XIXe siècle et au début du XXe, l'Allemagne comptait un grand nombre d'éminents hellénistes qui étaient en même temps philosophes et hommes de science. Parmi eux, il y a M. Diels, qui a rassemblé les fragments des penseurs présocratiques dont Pythagore, et M. Théodar Gomperz à qui nous devons cette admirable reconstitution de la cosmologie de Philolaos: FIN

Encadré: La tétrade

«Oui, par celui qui a transmis à notre âme la tétrade». Ce fragment est l'allusion à Pythagore la plus souvent citée. Il s'agit sans doute de la formule du serment que prêtaient les membres de l'Hétairie, la communauté que Pythagore fonda à Croton. Le maître y était présenté comme celui qui transmettait la connaissance de la tétrade, mot dérivé du grec tetras, quatre. C'est tantôt le nombre quatre, tantôt le nombre dix (la décade) que les Pythagoriciens considèrent comme l'essence de toute chose. La tétrade et la décade sont en réalité indissociables, la première étant l'ensemble des quatre premiers nombres, dont la somme est dix.

A 1 correspond le point, à 2 la ligne, à 3 la surface et à 4 le volume.

Il y a aussi quatre éléments: le feu, l'eau, la terre et l'air. C'est d'eux que naît le monde, lequel est animé, intelligent, sphérique, et contient en son milieu la terre, elle-même sphérique et habitée dans son pourtour». FIN

Sous-titre: Fragments attribués à Pythagore

Stobée, Plutarque, Aristote, de même que Diogène Laërce sont quatre des nombreux auteurs anciens qui ont cité ou commenté Pythagore ou ses disciples.

«Pythagore dit que le monde est né de la pensée, et non pas du temps». [Stobé]

«Pythagore enseigne que la naissance du monde trouve son origine dans le feu et dans un cinquième élément». [Plutarque]

«Ceux qui procèdent de Pythagore disent qu'il y a hors du monde un vide vers lequel et duquel le monde respire». [Plutarque]

«Héraclite et les Pythagoriciens disent que chacun des astres est un monde renfermant une terre et de l'air, et situé dans un éther illimité». [Plutarque]

«Comme le pensaient les Pythagoriciens, le mal est le fait de l'Inachevé, le bien est le fait de l'Achévé». [Aristote]

Sous-titre: Le paradoxe d'Ulysse et de la tortue

Les Pythagoriciens étaient d'autant plus enclins à voir de l'ordre dans le monde et à trouver le fondement de cet ordre dans les nombres, qu'à l'origine du moins, ils s'intéressaient surtout aux nombres que nous appelons rationnels. Les rapports ou proportions dont ils faisaient état étaient toujours entre des entiers positifs:  $1\sqrt{2}$ ,  $2\sqrt{3}$ ,  $3\sqrt{4}$ , etc. Ils furent conséquemment amenés à supposer l'existence de cette chose bien difficile à concevoir: une totalité infinie de nombres entiers finis. Qu'allaient donc devenir les nombres entiers finis à l'échelle de l'infiniment petit?

Les Pythagoriciens supposaient qu'il n'y avait alors aucun écart entre eux. Ils demeuraient donc distincts, par définition, mais formaient un ensemble continu, à l'instar de la droite qui était à leurs yeux un ensemble de points demeurant distincts bien qu'il n'y ait aucun espace entre eux.

Mais autant ces mathématiques conduisaient tout naturellement à une vision claire et hiérarchisée du monde, autant il était difficile de les utiliser pour faire cette analyse du mouvement qui deviendra l'élément central de la vision

moderne du monde. La première réfutation du système pythagoricien en tant qu'instrument d'analyse du mouvement a été imaginée par le philosophe Zénon d'Élée sous la forme du paradoxe d'Achille et de la tortue.

Supposons que la tortue part une heure avant Achille. Au bout d'une heure elle aura parcouru, disons, 10 m. Achille, par hypothèse dix fois plus rapide que la tortue mettra  $1/10$  d'heure ou 6 min. pour atteindre cette première borne de 10 m; mais pendant ce temps, la tortue aura avancé de 1 m atteignant la borne de 11 m. Il faudra 36 sec. ( $1/10$  de 6 min.) à Achille pour atteindre cette seconde borne, mais pendant ce temps la tortue aura progressé de 10 cm. Ainsi de suite, à l'infini. Jamais Achille ne rejoindra la tortue. C.Q.F.D.

On est conduit à de telles conclusions quand on considère le mouvement comme un phénomène discontinu et divisible à l'infini plutôt que comme un phénomène continu et indivisible.

Faut-il en conclure que Zénon ne comprenait pas le mouvement? Il faut plutôt supposer qu'il se proposait de faire apparaître les limites du langage: notre langage est constitué d'éléments discontinus, de mots qui ressemblent à des îlots. Comment pourrions-nous, avec un tel outil, rendre compte d'un phénomène continu comme le mouvement?

Le paradoxe d'Achille et de la tortue s'inscrit dans un vaste débat qui semble avoir été vécu comme une tragédie par les Pythagoriciens. Au centre de ce débat se trouve les nombres irrationnels du genre  $\sqrt{2}$ .

Les Pythagoriciens, avons-nous dit, avaient une prédilection pour les nombres entiers; mais voici que la géométrie, science qu'ils cultivèrent eux-mêmes avec bonheur, les a mis sur la piste d'une découverte troublante. Le théorème de Pythagore est connu de tous les écoliers du monde. Dans un triangle rectangle, l'hypothénuse au carré est égale à la somme des carrés des côtés de l'angle droit.

Dessin du triangle

Dans le triangle ABC:  $AC^2 = AB^2 + BC^2$

Mais qu'arrive-t-il dans le cas où  $AB = BC$  et où on donne à chacun la valeur 1.

$$\begin{aligned}\text{Alors: } AC^2 &= 2 \\ AC &= \sqrt{2}\end{aligned}$$

Voici donc une grandeur finie dont on peut démontrer l'existence par un raisonnement géométrique parfaitement rigoureux, mais à laquelle on ne peut assigner aucune limite.  $\sqrt{2} = 1.41\dots$

Grandeur à la fois finie et illimitée, ce nombre est une contradiction, un nombre non nombre, un logos alogos, comme disaient les Pythagoriciens. Par rapport aux nombres entiers, il s'agit d'un monstre. D'un monstre que les Pythagoriciens pourraient très bien avoir perçu comme une menace pour leur système parfaitement rationnel, ce qui expliquerait une opinion assez répandue selon laquelle la découverte des irrationnels aurait été tenue secrète par les Pythagoriciens.

Cette interprétation n'est toutefois pas la seule possible. Vue sous un certain angle, la géométrie n'est rien d'autre que l'étude des rapports entre des grandeurs incommensurables. Les nombres 2 et 5 sont des grandeurs incommensurables. On ne peut pas dire que 2 est contenu un nombre entier de fois dans 5. L'arithmétique suffit à l'étude des rapports entre des grandeurs pouvant être mesurées l'une par l'autre. Pour l'étude des grandeurs incommensurables, il fallait une nouvelle science. Cette science, pour les Pythagoriciens, c'était la géométrie, qu'ils définissaient ainsi: «Ce qu'on nomme ridiculement en géométrie (littéralement mesure de la terre) est l'assimilation des nombres non naturellement semblables entre eux, assimilation rendue manifeste par la destination des figures planes».

Pourquoi les Pythagoriciens se seraient-ils donné la peine d'exceller dans une telle science si les grandeurs irrationnelles avaient constitué une menace pour leur système? On peut penser qu'au contraire la découverte de ces nombres fut pour eux une révélation. Telle est l'interprétation qui fut retenue par Simone Weil, philosophe contemporaine passionnée par les mathématiques et les sciences. «La notion de nombre réel, écrit-elle, fournie par la médiation entre un nombre quelconque et l'unité, était matière à des démonstrations aussi rigoureuses, aussi évidentes que celles de l'arithmétique, et en même temps incompréhensibles par l'imagination. Cette notion force l'intelligence à saisir

avec certitude des rapports qu'elle est incapable de se représenter. C'est là une introduction admirable aux mystères de la foi».

Encadré: Pythagore (572 av. J.-C. - 497 av. J.-C.)

Pythagore a vécu en même temps que Lao-Tsé en Chine, Bouddha, en Inde et Zarathoustra en Perse. Qu'est-ce qui avait préparé dans chacune de ces civilisations l'avènement simultané de ces grandes figures?

Pythagore fut d'abord l'homme de la Méditerranée. S'il est né dans l'île grecque de Samos, c'est à Crotona au sud de l'Italie, qu'il passa la majeure partie de sa vie, non sans avoir fait auparavant de nombreux voyages, dont un en Égypte, voyages qui lui ont permis de se familiariser avec les plus grandes traditions religieuses, philosophiques et scientifiques de son époque.

Fut-il d'abord un maître spirituel, un savant ou un philosophe? Ces trois vocations s'harmonisaient en lui, se tempérant entre elles, ce qui explique pourquoi en tant que maître de l'Hétairie, qu'il fonda à Crotona, il put avoir sur ses disciples un ascendant considérable, sans laisser le souvenir de la tyrannie, sans empêcher l'éclosion de fortes personnalités comme devaient l'être le pugiliste Milon, Philolaos ou Archytas.

Les disciples devaient d'abord faire un noviciat de 5 ans pendant lequel ils s'initiaient au silence. On les appelait alors acoustiques ou auditeurs. Ce n'est qu'à la fin de leur période de formation qu'ils entamaient des études concrètes comme l'astronomie, la géographie ou la médecine.

Par son succès même, obtenu notamment à l'occasion de la guerre contre la cité voisine de Sybaris, la communauté pythagoricienne s'attira des déboires qui devaient l'obliger à se disperser. Pythagore se retira à Métaponte et c'est là qu'il mourut. Il croyait dit-on à la métempsychose. S'est-il réincarné, nul ne le sait mais la plupart des penseurs anciens de quelque importance, parmi lesquels Platon et Aristote, en Grèce et Cicéron chez les Romains, ont indiqué clairement, par leurs témoignages, que sa pensée vivait en eux. FIN

Encadré: Le pythagorisme vu par un poète romantique, Gérard de Nerval

Voici un poème datant du XIXe siècle qui, sans être un commentaire de la doctrine de Pythagore, n'en restitue pas moins l'esprit en évoquant la parenté entre l'âme du monde, celle de l'homme, celle des animaux et même celle des choses.

Eh quoi! Tout est sensible!  
Pythagore

Homme! libre penseur te crois-tu seul pensant  
Dans ce monde, où la vie éclate en toute chose:  
Des forces que tu tiens ta liberté dispose,  
Mais de tous tes conseils l'univers est absent.

Respecte dans la bête un esprit agissant...  
Chaque fleur est une âme à la Nature éclosée;  
Un mystère d'amour dans le métal repose:  
«Tout est sensible!» - Et tout sur ton être est puissant!

Crains dans le mur aveugle un regard qui t'épie:  
A la matière même un verbe est attaché...  
Ne la fais pas servir à quelque usage impie!

Souvent dans l'être obscur habite un Dieu caché:  
Et, comme un oeil naissant couvert par ses paupières,  
Un pur esprit s'accroît sous l'écorce des pierres! FIN

Titre: Les Stoïciens

«Il faut toujours se souvenir de ceci: quelle est la nature du Tout? Quelle est la mienne? Comment celle-ci se comporte-t-elle à l'égard de celle-là? Quelle partie de quel Tout est-elle? Noter aussi que nul ne peut t'empêcher de toujours faire et dire ce qui est conforme à la nature dont tu fais partie».

Aux yeux des stoïciens\*, l'homme, pour accéder au bonheur, doit non seulement comprendre le monde mais s'efforcer de l'imiter. Macrocosme. Microcosme! Le principe directeur dans l'homme est l'écho de l'âme du monde. D'abord soucieux de la paix intérieure, qu'il appelle l'ataraxie, le penseur stoïcien ne s'intéresse

guère à l'observation minutieuse des faits. Pour acquérir la certitude qu'une pensée lie entre eux les phénomènes dans le monde, il lui suffit d'embrasser d'un même regard le ciel étoilé, le mouvement régulier des astres et les actions humaines, aussi prévisibles, à bien des égards, que le mouvement des astres.

\* Détour: Le stoïcisme

Les origines de la pensée stoïcienne remontent à Zénon, né à Citium, dans l'île de Chypre vers 335 av. J.-C. L'Empereur Romain Marc Aurèle (121-180) est le dernier des grands de l'École, à laquelle il faut aussi rattacher Cicéron (106 - 43 av. J.-C.) et Sénèque (4 av. J.-C. - 65 apr. J.-C.). FIN

«Embrasse du regard le cours des astres, comme s'ils t'emportaient dans leurs révolutions, et considère sans cesse comment les éléments se transforment les uns en les autres. Ces contemplations purifient des souillures d'ici-bas».

«Quoi qu'il t'arrive, cela était préparé de toute éternité et la trame serrée des causes liait depuis toujours ta substance à cet accident».

L'ordre du monde témoigne d'une Intelligence, tout ordre découlant d'une pensée. Dieu, ainsi qu'on le pensait dans la tradition grecque, n'a pas créé le monde ex nihilo, à partir de rien. Il a organisé une matière qui était déjà là, lui insufflant ordre et beauté. Il n'est pas tout-puissant. Il est aussi puissant que possible et l'univers représente la limite de sa puissance, ce qu'il a pu faire de mieux.

Dieu n'est pas seulement l'Intelligence organisatrice, il est aussi au coeur même du monde. Lui et le monde sont une seule et même chose. Les stoïciens sont panthéistes. «La nature, se demande Sénèque, est-elle autre chose que Dieu et la raison divine qui a pénétré l'univers dans sa totalité ainsi que dans ses parties?».

L'homme est le chef-d'oeuvre de la nature, mais loin d'être isolé au coeur du cosmos, il participe par la pensée à l'Intelligence universelle organisatrice. Le lien entre lui et toutes les choses dans la nature est parfois appelé Destin, Fatalité. Plutôt cependant que d'être à l'image de celui qui lie entre elles les pièces d'une machine, l'ordre du monde vu par les Stoïciens rappelle la nécessité qui lie entre eux les éléments d'une oeuvre d'art. Cette nécessité n'est pas désespérante parce qu'elle n'est que la dimension rationnelle d'une beauté d'origine divine. Le

monde a une âme. La nécessité en est le corps. L'ensemble qu'ils forment est beau.

«Considère sans cesse que le monde est comme un être unique, contenant une substance unique et une âme unique; comment tout aboutit à une seule et même perception, la sienne; comment il fait tout d'une seule impulsion première; comment toutes choses causent à la fois ce qui arrive et quelle sorte de trame serrée, compliquée, elles produisent».

On retrouve ici le pythagorisme. Morale, métaphysique et cosmologie sont indissociables, comme en témoigne cette pensée où les connaissances du monde, de l'homme et de Dieu sont unies dans un même acte d'abandon: «Je m'harmonise ô monde, à tout ce qui est harmonie en toi. Rien ne me paraît prématuré ni tardif, de ce qui arrive en son temps pour toi. Tout est fruit pour moi de ce que m'apportent tes saisons, ô nature! Tout vient de toi, tout réside en toi, tout retourne en toi».

Encadré: Marc Aurèle empereur de Rome

Il est le dernier grand de la lignée des Antonins, à qui le monde dut la Pax Romana. On l'appelait de son vivant le divin Marc. Il avait déjà sans doute je ne sais quoi de divin quand, alors qu'il n'avait que 17 ans, Hadrien l'a adopté avec l'espoir de lui confier un jour l'empire. Sa bonté était déjà manifeste. Elle lui vaudra d'être le personnage le plus souvent sculpté de toute l'antiquité. Encore récemment on a découvert des statues de lui dans les ruines des cités les plus reculées de l'empire.

On l'aimait. On l'aimait par-delà les sectes et les écoles, les gauches et les droites. Chrétiens et païens eurent chacun leurs raisons de s'attacher à son souvenir même si les nécessités de l'État et de la guerre l'obligèrent parfois à poser à l'endroit des uns et des autres des actes dont il aurait souhaité pouvoir s'abstenir. Cet ami des dieux a trouvé grâce jusqu'aux yeux de Nietzsche qui considérait les Pensées comme le 5<sup>ème</sup> évangile... Jamais une oeuvre n'aura été aussi éloignée de la littérature et par suite aussi vraie. Ces pensées écrites souvent sous la tente du guerrier, entre deux batailles non souhaitées ou des délations honteuses, ont le poids et la limpidité de l'idée qui engage, qui conduira au succès ou à la paix intérieure si elle est vraie, à l'échec ou au tourment si elle est fausse.

Marc Aurèle, âme de l'empire, auteur des Pensées est lui-même, en tant que microcosme humain, une image de ce macrocosme au centre duquel il apercevait une âme.

A l'époque contemporaine, quelques admirateurs de Marc Aurèle, dont Ernest Renan, déplorèrent la faiblesse de son éducation scientifique. Gabriel Germain, auteur d'un ouvrage sur la spiritualité stoïcienne devait répliquer à Renan en une page qui a le mérite de situer parfaitement la cosmologie stoïcienne par rapport à la nôtre. «Il (Renan) a tellement raison qu'il passe à côté de la vraie question. Je ne reprocherai pas aux stoïciens d'avoir donné du cosmos une vision plutôt poétique. C'est preuve qu'ils ont le sens cosmique: le cosmos ne s'aplatit pas sous leurs yeux en tracés géométriques, convergents peut-être ou tout aussi bien divergents. Il est vie, organisme, unité; notre frère par conséquent. Un souffle, chaleur et pensée, circule de cellule en cellule et, de toutes, nous sommes les plus évoluées, les plus réceptives: la «matière grise de l'Univers». Cette pensée enveloppante et pénétrante, en même temps qu'elle nous dépasse de tous côtés, entre en nous; elle est nous, si nous ne sommes pas totalement elle». FIN

TITRE: Le système de Ptolémée

Pour les stoïciens comme pour les pythagoriciens donc, morale, cosmologie et métaphysique ne faisaient qu'un. Et dans cet ensemble, le matériel était subordonné au spirituel. Rien n'est plus étranger à l'esprit moderne qu'une telle vision globale et hiérarchisé des choses.

C'est ce qui nous permet de comprendre, a posteriori, pourquoi ce n'est ni le système de Pythagore ni celui des stoïciens qui s'imposa dans la chrétienté, mais celui de Ptolémée, dont la principale caractéristique est que Dieu se trouve dissocié de l'univers, d'un univers dont il devient dès lors plus intéressant d'analyser le fonctionnement, fût-ce à partir de prémisses fausses. Les rouages dont parle Ptolémée\* qui n'ont de toute évidence rien de divin en eux-mêmes, sont une préfiguration des idées modernes sur le monde.

\* Détour: Ptolémée (v. 90 - v. 168)

L'oeuvre de Ptolémée couvre la philosophie, les mathématiques, l'optique, la géographie ou l'astronomie. On connaît même de lui un poème, le seul qui soit resté jusqu'à nous;

Moi qui passe et qui meurs, je vous contemple, étoiles!

La terre n'étreint plus l'enfant qu'elle a porté.  
Debout, tout près des dieux, dans la nuit aux cent voiles,

Je m'associe, infime, à cette immensité;  
Je goûte, en vous voyant, ma part d'éternité. FIN

Sous-titre: La cosmologie de Ptolémée

Ptolémée\* était encore cité comme une autorité au XVIIe siècle. Lui-même tirait sa propre autorité d'Aristote dont il avait achevé le système.

\* Détour: Ptolémée et Galien

La bonne fortune du système de Ptolémée en cosmologie rappelle celle de la doctrine de Galien en médecine. De même que Ptolémée dissocia Dieu de l'univers, faisant de ce dernier un objet d'étude distinct et déjà un peu profane, de même Galien poussa à sa limite la distinction entre le mal moral et le mal physique déjà établie par Hippocrate. Ainsi, bien qu'ils soient apparus comme les principaux symboles d'une tradition figée, Ptolémée et Galien peuvent être considérés comme les artisans d'une lente transition entre l'antiquité et la modernité. FIN

Aristote place la terre, immobile, au centre de l'univers. Neuf sphères transparentes et concentriques l'entourent: la lune, Vénus, Mercure, le soleil, Mars, Jupiter, Saturne, les étoiles fixes et Dieu. Dieu, lui-même immobile, est le premier moteur: il fait tourner l'ensemble dans un mouvement circulaire éternel.

Contrairement au Dieu de Pythagore au coeur du monde, le Dieu d'Aristote lui est extérieur et demeure étranger aux mortels qui ne peuvent en attendre aucun secours. Pour rendre compte des phénomènes observés dont on savait déjà qu'ils ne permettent pas de conclure à l'existence d'un mouvement circulaire uniforme, Aristote faisait l'hypothèse qu'il existe des dizaines de sphères tournant autour d'axes différents, comme emboîtées les unes dans les autres. La perfection d'un astre était inversement proportionnelle au nombre de sphères qui l'animaient. Et l'honneur des formes parfaites était sauf.

Le monde sublunaire, c'est-à-dire la terre et l'espace circonscrit par le mouvement de la lune est imparfait et altérable par opposition au monde situé au-delà du domaine lunaire, lequel est éternel et inaltérable. Alors que le monde sublunaire est composé de quatre éléments - l'air, le feu, l'eau et la terre -, au-delà de la lune, l'éther remplace les quatre éléments. Ainsi donc, le cosmos aristotélicien est hiérarchisé et, bien qu'elle en soit le centre, la terre en est la partie la plus imparfaite.

Comme Aristote, Ptolémée situe la terre au centre du monde et les astres autour d'elle. Il conserve aussi l'idée d'un monde céleste parfait superposé à un monde sublunaire imparfait, mais pour expliquer le mouvement circulaire des astres à vitesse uniforme, il rattache les planètes à des roues non à des sphères, ce qui l'amène à supposer l'existence d'une quarantaine de roues décentrées auxquelles sont attachés les corps qui tournent comme dans des engrenages.

L'idée de la terre immobile au centre de l'univers et celle du mouvement circulaire et uniforme étaient destinées à défier les siècles, à résister à une critique fondée sur des faits dont certains étaient connus déjà du vivant de Ptolémée.

Encadré: Les idées et les astres

La certitude qu'il existe un monde supralunaire parfait a imprégné toute la culture occidentale, y compris bien entendu la poésie comme en témoigne le grand chef d'oeuvre de la littérature italienne, La Divine Comédie de Dante. Le poète qui visite successivement l'Enfer, le Purgatoire et le Ciel décrit tout ce qu'il voit en s'inspirant du système de Ptolémée. Voici comment il évoque la hiérarchie entre les mondes:

«Mais, dans le monde sensible, les sphères tournent, plus divines à mesure qu'elles s'éloignent de leur centre.

Ce temple admirable et angélique a pour seul confins la lumière et l'amour [...]

Les cercles matériels sont amples ou étroits, selon le plus ou moins de vertus et penchés sur eux.

Une plus grande vertu produit un plus grand bien, et un plus grand bien s'enferme dans un plus grand corps, si une égale perfection anime toutes ces parties.

Donc le cercle en traînant avec lui tout le haut univers, correspond au cercle des intelligences les plus embrasées par la science et l'amour.

Considère la vertu, non la forme apparente de ces sphériques substances;

Tu reconnaîtras un rapport admirable, dans leur gradation successive, entre chaque ciel et son intelligence motrice».

Au XXe siècle, un admirateur de Dante, méditerranéen lui aussi, Charles Maurras, reprendra à son compte l'analogie entre les Idées et les astres incorruptibles:

«Beauté, raison, vertu, tous les honneurs de l'homme,  
Ces visages divins qui sortent de ma nuit». FIN

TITRE: Le soleil de la modernité

Quel est l'événement le plus important de l'histoire de l'humanité? La découverte du feu? La mort du Christ? L'enseignement de Boudha? La découverte de l'Amérique? La Révolution française? L'invention de l'ordinateur?

Parce qu'il est l'acte fondateur de la modernité, on est en droit d'affirmer que l'événement le plus important est la révolution copernicienne, ou plutôt, pour être plus précis, la révolution que Copernic a mis en branle et dont Newton a signé l'acte final. Un soleil abstrait, construit par la pensée, s'était substitué à la terre comme centre du monde. De son poste d'observation, désormais relatif et en mouvement, l'homme allait progressivement découvrir l'infinité de l'espace. Cette apparente humiliation allait coïncider chez lui avec la découverte de la puissance de son esprit. Une seconde révolution copernicienne, inversée, allait commencer avec Descartes et Spinoza pour s'achever avec le philosophe allemand Emmanuel Kant. Pendant que le soleil se substituait à la terre comme centre du monde physique, l'esprit humain se substituait à Dieu comme centre de l'univers intellectuel.

Copernic fit tourner la terre sur elle-même et autour du soleil. Kepler transforma les orbites circulaires en orbites elliptiques. Galilée, bien que demeuré attaché à l'orbite circulaire, découvrit les principes de la dynamique: un projectile suit deux mouvements à la fois: l'un est propre à l'objet et l'autre est une chute au sol. La synthèse des deux épouses la forme d'une parabole. Sur cette base Newton pouvait établir la mécanique céleste.

## Sous-titre: COPERNIC

En 1543, paraissait le livre des Révolutions des orbés célestes, de Copernic. Le soleil tel qu'il apparaît au début de cet ouvrage est immobile au centre d'un univers fini, borné par la sphère fixe des étoiles. Les planètes tournent autour du soleil en un mouvement circulaire, comme la lune tourne autour de la terre. Pour la première fois l'alternance des jours et des nuits est expliquée par la rotation de la terre sur son axe plutôt que par le mouvement de la sphère des étoiles fixes. Le système de Copernic demeure toutefois marqué par ce qu'on pourrait appeler le géométrisme, c'est-à-dire le culte des figures parfaites. Il contient encore plus d'épicycles que celui de Ptolémée.

Bien qu'au début de son ouvrage, Copernic fasse du soleil le centre de l'univers, dans la démonstration qui suit, il prend plutôt comme centre un point vide dans l'espace situé près du soleil; quant aux plans des orbites des planètes, il les met en rapport avec la position de la terre plutôt qu'avec celle du soleil. On finit par se demander si ce n'est pas malgré lui qu'il a amorcé la grande rupture d'avec la cosmologie antérieure.

Quoi qu'il en soit, la terre est devenue une planète quelconque. Un nouveau regard se pose sur l'univers. La vision globale se déstabilise comme une roue qu'on décentre perd sa symétrie et sa régularité. L'étalon-cercle n'est plus reconnu. Les sphères qui entourent la terre éclatent les unes après les autres. «Copernic, écrit Arthur Koestler, renversa un courant de pensée inconscient en faisant graviter la Terre au lieu du Ciel. Tant que l'on imagina le Ciel en giration, on était amené automatiquement à le concevoir comme une sphère solide et finie: autrement, comment aurait-il tourné en bloc toutes les vingt-quatre heures? Mais une fois la ronde quotidienne du firmament expliquée par la rotation de la Terre, les astres pouvaient reculer indéfiniment; il devenait arbitraire de les situer sur une sphère solide. Le Ciel n'avait plus de limites, l'infini entrouvrait sa gueule immense...».

En réalité, ce n'est pas une mais mille gueules immenses que l'infini allait entrouvrir. L'équivalent de la voûte céleste existait dans tous les domaines du savoir et de l'expérience humaine. Le monde lui-même avait ses bornes. On affirmait qu'il avait été créé en l'an 4004 av. J.-C. Les textes sacrés contenaient la réponse définitive aux grandes questions sur le sens de l'existence. L'ordre social était à l'image de l'ordre cosmique. Les déplacements étaient difficiles; la

plupart des êtres humains passaient leur vie dans un espace ne dépassant guère 100 km<sup>2</sup>. Le champ assigné aux désirs était aussi nettement circonscrit\* que l'espace vital. C'est l'ensemble de ces limites qui a commencé à reculer quand le cordon ombilical rattachant la sphère céleste à la terre a été rompu. John Donne, philosophe et poète anglais (1573-1631) a témoigné du désarroi créé par les idées de Copernic. C'était en 1611.

\* Détour: L'idée de limite

Dans la grande tradition grecque, la limite n'était pas seulement un fait accepté, elle était un idéal. Le mot utilisé le plus souvent pour désigner le mal est Ubris, qui signifie démesure. Le désir mauvais évoque une planète sortie de son orbite. Les autres mots pour désigner le mal sont l'inachevé, l'informe. Ils évoquent la matière première, l'argile en qui on ne distingue aucun contour précis, aucune limite.

Souvenons-nous de la querelle au sujet des nombres irrationnels comme  $\sqrt{2}$ . Si ces nombres ont fait scandale en certains milieux, si on a mis du temps à leur assigner une place dans l'ensemble du système pythagorien, c'est parce qu'ils étaient sans limite, sans contour précis, par opposition aux nombres entiers auquel on pouvait faire correspondre des ensembles de points parfaitement clairs et distincts. FIN

...Et la philosophie nouvelle sème partout le doute,  
Le feu primordial est éteint,  
Le Soleil perdu de vue, ainsi que la Terre, et nulle intelligence  
N'aide plus l'homme à les trouver.  
Les hommes admettent volontiers que notre monde est épuisé  
Lorsque dans les planètes et le firmament  
Ils cherchent tant de nouveautés, puis s'aperçoivent que  
Telle chose est à nouveau brisée en ses atomes.  
Tout est en pièces, sans cohérence aucune [...]  
Et dans les constellations alors s'élèvent  
Des étoiles nouvelles, tandis que les anciennes disparaissent à nos yeux.

Copernic lui-même n'en est pas moins demeuré plus près des Anciens que des Modernes.

Encadré: NICOLAS COPERNIC

«Copernic voulut interpréter Ptolémée plutôt que la Nature». [Kepler]

En réaction à un mathématicien qui avait mis en doute certaines observations de Ptolémée, Copernic a écrit; «il convient de suivre strictement les méthodes des Anciens et de nous tenir à leurs observations qui nous ont été transmises comme un Testament. Et celui qui pense qu'ils ne sont pas entièrement dignes de foi à cet égard, les portes de notre Science lui sont certainement fermées. Il demeurera devant ces portes à faire des rêves de dément à propos du mouvement de la huitième sphère; et il aura ce qu'il mérite pour avoir cru défendre ses hallucinations en calomniant les Anciens».

Arthur Koestler n'est pas tendre à l'endroit de Copernic; «de loin, Copernic fait figure d'intrépide héros révolutionnaire. A mesure que l'on s'approche on le voit peu à peu se transformer en un morne pédant, dénué du flair et de l'intuition de somnambule des vrais génies; c'est un homme qui, s'étant emparé d'une bonne idée, en fait un mauvais système, besognant patiemment à entasser des épicycles et des déférents dans le plus triste, le plus illisible des livres célèbres». Copernic est né à Torun, en Pologne en 1473. Il est mort en 1543. FIN

Sous-titre: L'infini et la pluralité des mondes

Koestler avait bien raison de rappeler qu'en plaçant le soleil au centre de l'univers, Copernic a fait éclater les limites de ce dernier, mais on pourrait tout aussi bien dire, tant le besoin de dépasser les limites était répandu à la Renaissance, que Copernic a tout simplement fait entrer l'astronomie dans une ère de l'infini que les grandes découvertes avaient d'autre part amorcée. Plusieurs grands esprits de la Renaissance ont anticipé les idées actuelles sur les dimensions et la composition de l'univers. Le plus audacieux d'entre eux fut l'italien Giordano Bruno.

Dans un livre intitulé L'infini, l'univers et les mondes, paru en 1584 il écrivait:

«Mais nous savons qu'il existe un champ infini, un espace contenant qui embrasse et pénètre le tout. En lui se trouve une infinité de corps semblables au nôtre. Aucun d'eux n'est au centre de l'univers, car l'univers est infini et par conséquent sans centre ni limite, bien que ces derniers appartiennent à chacun

de ces mondes, qui sont au sein de l'univers de la façon que j'ai déjà expliquée en d'autres occasions, en particulier lorsque nous avons démontré qu'il existe certains centres définis déterminés, à savoir les soleils, des corps de feux autour desquels tournent toutes les planètes, les terres et les eaux, comme nous voyons sept planètes décrire leur trajectoire autour du soleil. De même, nous avons montré que chacun de ces astres ou mondes tournant sur son propre centre semble un monde solide et continu qui s'empare, en raison de sa force, de toute chose visible, susceptible de devenir un astre et fait tourner ces choses autour de lui-même comme s'il s'agissait du centre de son univers. Ainsi, il n'existe pas seulement un monde, une terre, un soleil, mais autant de mondes que nous pouvons voir de lumières briller autour de nous, qui ne sont pas plus dans un seul ciel, un seul espace, un seul contenant sphérique que notre terre ne se trouve dans un seul univers contenant, un seul espace ou un seul ciel. De sorte que le ciel, à savoir cet air qui s'étend infiniment, bien que partie de l'univers infini, n'est pas un monde ou une partie de monde. Mais c'est le sein, le refuge, et le champ où tous ces mondes se meuvent et vivent, où ils croissent et rendent effectives les différentes actions de leurs vicissitudes. C'est là où ils produisent, nourrissent et préservent leurs habitants et leurs animaux».

Nous n'allons pas en conclure que Bruno appartenait à la même famille d'esprit que ceux qui dissertent aujourd'hui sur la pluralité des mondes habités. Il n'était ni astronome ni mathématicien, mais philosophe et poète. C'est la tradition hermétique, à laquelle il était rattaché, qui l'a incité à repousser les limites de l'univers jusqu'à l'infini... et à se séparer de l'Église, dont il encourut l'anathème.

Insoumis, il refusa d'abjurer ses idées, comme le lui ordonnait le Saint-Office. Il fut en conséquence condamné à mort par le pape Clément VIII et brûlé le 17 février 1600.

Sous-titre: KEPLER

«Voilà que j'ai jeté les dés et que j'écris un livre soit pour mes contemporains, soit pour la postérité. Cela m'est égal. Il peut attendre cent ans un lecteur, Dieu a attendu six mille ans un témoin...». Kepler n'a pas attendu cent ans un lecteur. Ses trois lois sont la base de l'astronomie moderne. On n'y retrouve aucune trace des rouages et des sphères de Ptolémée.

Encadré: JOHANNES KEPLER (1571-1630)

«Je mesurais les cieux, je mesure à présent les ombres de la terre. L'esprit était céleste, ci-gît l'ombre du corps». [Épithaphe de Kepler]

Kepler est né dans le Wurtemberg, une région de la République fédérale allemande d'une famille plutôt dégénérée. Son père, sans métier stable était un homme brutal. A 23 ans, Kepler devint professeur de mathématiques et d'astronomie mais sa réputation était surtout fondée sur ses talents d'astrologue. Que pensait-il au fond de l'astrologie, à laquelle il a consacré plusieurs ouvrages? Il semble osciller à son sujet entre le mépris et le respect. Tantôt il évoque ses «singerie à sortilèges», tantôt il la définit ainsi: «de quelle manière la configuration du ciel au moment de la naissance détermine-t-elle le caractère? Elle agit sur l'homme pendant sa vie comme les ficelles qu'un paysan noue au hasard autour des courges dans son champ: les noeuds ne font pas pousser les courges mais ils en déterminent la forme. De même le Ciel: il ne donne pas à l'homme ses habitudes, son histoire, son bonheur, ses enfants, sa richesse, sa femme... mais il façonne sa condition...».

En 1600, Kepler rencontre l'astronome danois Tycho Brahé alors âgé d'une cinquantaine d'années. Brahé, monstrueusement vaniteux vivait comme un roi, avait sa propre cour avec banquets fastueux et amuseurs. Moins théoricien que Kepler, Brahé avait rassemblé une foule de données d'observation qui permirent à Kepler d'énoncer ses fameuses lois. FIN

Kepler précise dans sa première loi que toutes les planètes se déplacent sur des orbites elliptiques dont l'un des foyers est occupé par le soleil. N.B.: Cette loi s'applique à tout satellite artificiel ou vaisseau spatial qui gravitent autour de notre globe. La terre occupe alors un des foyers de l'ellipse.

La deuxième loi a trait à la vitesse des planètes. Contrairement à ce qu'on avait cru jusque là, nous dit Kepler, les planètes ne se déplacent pas autour du soleil à une vitesse uniforme mais leur mouvement s'accélère lorsqu'elles s'en approchent puis ralentit lorsqu'elles s'en éloignent. Elles balayent des aires angulaires égales en des temps égaux.

La troisième loi précise le rapport entre la distance moyenne qui sépare une planète du soleil et la période\*. Le carré de la période d'une planète est proportionnel au cube de la distance moyenne qui sépare cette planète du soleil.

Détour: \* Période

Période: temps d'une révolution complète d'une planète autour du soleil. FIN

$$P^2 = a^3$$

$P$  est ici la période mesurée en années;  $a$  est la distance de la planète au soleil, mesuré en unités astronomiques\*.

Détour: \* Unité astronomique

L'unité astronomique est la distance qui sépare la terre du soleil. FIN

Comme nous le révèle cette formule, la période d'une planète est d'autant plus longue que la dite planète est plus éloignée du soleil. Jupiter, qui se situe à environ cinq unités astronomiques du soleil, a une période de onze ans, à peu près la racine carrée de 125 (5 au cube).

Fin: ...

On est en un sens très injuste à l'égard de Kepler quand on considère ces trois lois comme l'essentiel de son oeuvre. Certes un raisonnement mathématique simple et rigoureux est enfin appliqué à l'étude du cosmos et Kepler est sans doute le premier à le démontrer, mais, peut-être parce qu'il ne faisait pas de différence entre le raisonnement mathématique et les figures géométriques parfaites, il a lui-même attaché moins d'importance à ses célèbres lois, qu'aux constructions qu'il a déduites de la considération des figures géométriques parfaites de Pythagore et de Platon: le tétraèdre (pyramide), le cube, l'octaèdre (8 triangles équilatéraux), le dodécaèdre (12 pentagones) et l'icosaèdre (20 triangles équilatéraux). Kepler pensait que ces solides parfaits s'imbriquaient par la volonté de Dieu dans les orbites des six planètes alors connues. Idée sublime, mais fausse.

Les trois lois de Kepler, principes mathématiques logiques en harmonie avec les fruits de l'observation sont les premières lois naturelles modernes.

Sous-titre: GALILÉE OU LA RÉFUTATION D'ARISTOTE

On connaît la place de la terre dans l'univers, de même que la forme de son mouvement autour du soleil: une ellipse. Mais pourquoi se meut-elle, quelles forces la poussent, ces questions sont encore sans réponse au moment où naît Galilée.

Encadré: GALILEO GALILÉE

Italien (1564-1642). Arrogant, sarcastique, coléreux, provocateur, tel était Galilée. Qu'en est-il de sa légende?

Il n'a inventé ni le télescope, ni le microscope ou le thermomètre.  
Il n'a découvert ni la loi d'inertie, ni les taches du soleil.

Il n'a pas laissé tomber de poids du haut de la Tour de Pise.

Il n'a pas démontré la vérité du système de Copernic.

Il n'a pas dit: «et pourtant elle tourne».

Il n'a pas été emprisonné dans un cachot mais plutôt assigné à résidence chez un Grand-Duc et au luxueux Palais d'un Archevêque.

Mais il a fondé la dynamique et cela suffit à sa gloire. FIN

Gardons-nous surtout de les confondre. Le problème du pourquoi, de la finalité du mouvement est en fait celui du sens de l'univers. Il est une variante de la question fondamentale: pourquoi l'univers existe-t-il? Il pourrait très bien ne pas exister. Mais pour des êtres humains conscients qui ont besoin de connaître le sens de leur propre existence, cette contingence de l'univers - existe, n'existe pas, pile ou face! - est la cause d'une angoisse insupportable.

L'univers est beau, d'une beauté telle que lorsque l'être humain la contemple d'un regard pur et abandonné, il peut connaître une extase, une union au principe divin qui lui donne la certitude absolue de son accomplissement. C'est là une façon d'en évoquer le sens. Le pourquoi du mouvement et des autres aspects particuliers de l'univers devient secondaire dans ces conditions. On

pourra dire que le mouvement des astres introduit dans le ciel une variété, une vie même sans laquelle la beauté de l'univers ne serait pas complète.

Aristote, celui qui fut le maître à penser de l'Occident pendant deux mille ans expliquait le mouvement en prêtant aux objets des caractéristiques que l'on s'attend à trouver chez une personne. Les humains avaient selon lui une âme intellectuelle, les animaux une âme sensitive et les plantes une âme végétative. Aristote prolonge ce mouvement descendant en attribuant aux objets, non pas une âme à proprement parler, mais une tendance, l'équivalent d'un désir. Si la pomme qui se détache de l'arbre tombe par terre, c'est qu'elle aspire à retrouver son lieu d'origine. Comme l'oiseau migrateur. Le monde physique apparaît dans ces conditions comme peuplé d'objets-êtres mus par quelque chose d'analogue à l'instinct et à l'amour. Qu'importe dans ces conditions de vérifier l'impression selon laquelle les pommes lourdes tombent plus rapidement que les pommes légères?

On s'entend généralement pour rattacher cette physique d'Aristote à l'animisme qui caractérise les visions du monde des cultures primitives. C'est la principale raison pour laquelle on accuse Aristote d'obscurantisme. On lui fait reproche d'avoir été suffisamment intelligent, logique, cohérent pour donner à l'ensemble de son système une vraisemblance telle qu'on l'a longtemps préférée, jusque dans ses moindres détails, aux résultats d'une observation attentive.

Une fois qu'on a admis que ce système n'explique pas les phénomènes, on se priverait toutefois d'une belle poésie si on n'en retenait pas l'aspect positif: le sens qu'il introduit dans la pensée humaine. Souvenons-nous du monde sublunaire imparfait qu'Aristote opposait au monde supra lunaire parfait, incorruptible. Si la pomme tombe vers la terre, c'est qu'elle appartient tout entière au monde sublunaire, c'est qu'elle tend vers le bas, au sens métaphysique comme au sens physique du terme. Mais voici la plante qui tend vers la lumière d'en haut, voici l'animal qui se meut lui-même et qui se dresse parfois vers le ciel et voici enfin l'homme, qui se tient debout et se plaît à contempler les étoiles. Par son regard, par son intelligence n'appartient-il pas au monde supralunaire?\*

\* L'homme est le seul être vivant dont le visage soit tourné vers le Ciel. [Ovide, Les Métamorphoses].FIN

Ces métaphores sont si belles, et si innocentes, qu'une fois éliminée toute prétention à l'explication des phénomènes, ce serait folie que de les frapper d'interdit. Montaigne s'est bien gardé de le faire, Montaigne qui pourtant n'a pas craint de critiquer les dogmes aristotéliens, Montaigne le sceptique, l'humaniste, le moderne. De l'homme en qui loge la philosophie il nous dit qu'il se tient debout avec une espèce d'ivresse, qu'il a une contenance contente et débonnaire, une gracieuse fierté, un maintien actif et débonnaire. Mais voici la marque la plus expresse de sa sagesse, le signe de son esjouissance constante: «son estat est comme des choses au-dessus de la lune, toujours serein».

Il n'empêche qu'Aristote se trompe quand il affirme que la pomme lourde tombe plus vite que la pomme légère et que, tant que de telles faussetés ont été la norme, il a été impossible d'expliquer le mouvement des astres et des autres corps inanimés, de répondre à notre seconde question: quelles sont les forces qui les poussent.

C'est Galilée, qui sur ce point précis, réfuta Aristote. Réfuter est le bon mot, car tout s'est passé non sur le plan de l'expérience\* mais sur celui de la logique, de la logique aristotélienne qui plus est. Galilée n'a pas eu à s'imposer de fastidieuses mesures dans un laboratoire. Il lui a suffi d'un raisonnement par l'absurde. Le voici. Il mérite un respect particulier. Le philosophe des sciences Karl Popper le considère comme «l'un des arguments les plus simples et des plus ingénieux dans l'histoire de la pensée rationnelle relative à notre univers».

«Étant donné deux corps en mouvement ayant des vitesses naturelles inégales, ... il est évident que si nous les mettons ensemble-le plus lent et le plus rapide-ce dernier sera partiellement retardé par le plus lent, lequel sera partiellement accéléré par le plus rapide... Si une grosse pierre se déplace à une vitesse de 2, 5 m et une plus petite à une vitesse de 1, 25 m, par exemple, alors, après qu'on les ait mises ensemble le système composé se déplacera à une vitesse inférieure à 2, 5 m. Or les deux pierres mises ensemble forment une pierre plus grosse que la première, laquelle se déplaçait à une vitesse de 2, 5 m. Le corps composé (bien plus gros que le première pierre seule), se déplacera donc plus lentement que la première pierre seule ce qui contredit ton hypothèse».

Galilée\* démontrait ainsi par l'absurde que les corps en chute libre ont, indépendamment de leur «pesanteur», une même accélération qui demeure constante tout au long de la chute.

Détour: \* Galilée expérimentateur.

Bien que Galilée, «le père de la physique moderne» soit considéré comme le premier véritable expérimentateur, la précision même de certains de ses résultats obtenus au moyen d'une technique plutôt rudimentaire amène les historiens des sciences à douter de la réalité des expériences relatées dans son ouvrage *Discours sur deux sciences nouvelles* de 1638! C'est notamment l'opinion que Pierre Thuillier a exposé dans la Revue La Recherche. FIN

La physique d'Aristote, en tant qu'explication des phénomènes, ne pouvait résister longtemps à de telles critiques. Elle était discréditée à l'avance par le seul fait qu'on veuille désormais répondre à des questions comme celles qui portent sur les forces expliquant le mouvement plutôt qu'à des questions sur le pourquoi et le sens des phénomènes.

Qu'ils soient lourds ou légers, les corps tombent à la même vitesse, soit. Telle est la pesanteur, mais comment l'expliquer? Galilée parle à ce propos de la répugnance, l'inclination ou de l'indifférence des objets les uns par rapport aux autres et il renoue ainsi avec l'animisme d'Aristote.

Sur ce terrain, c'est moins aux idées d'Aristote qu'il convenait de s'attaquer qu'à d'autres idées en vogue à l'époque de Galilée, à l'idée d'impetus. En lisant le mot impetus, on songe bien sûr au mot impulsion et l'on songe à la corde de l'arc qui en se détendant va donner son mouvement à la flèche. On distinguait deux sortes d'impetus: l'impetus naturel qui fait tomber l'objet et l'impetus violent qui le projette vers le haut. Le mouvement était considéré comme la résultante de ces deux types d'impetus.

Mais qu'est-ce au juste qu'un impetus? La vitesse de chute d'un corps s'accélère. Faut-il en conclure que l'impetus s'accroît? Quelle est alors la cause de cet accroissement? Plutôt que de faire fond sur cette notion rappelant les tendances d'Aristote, Galilée se contenta d'analyser le mouvement dans le cadre général du principe d'inertie: un corps au repos ou en mouvement demeure dans son état à moins qu'une force extérieure ne le modifie.

Un projectile, précise-t-il, suit à la fois deux mouvements; l'un est propre à l'objet alors que l'autre est une chute au sol à une vitesse uniformément accélérée. La synthèse des deux mouvements épouse la forme parabolique.

Voilà un bel exemple de ces mystérieuses rencontres entre les idées et les faits dont sont constitués les grands moments de la science. La parabole certes n'est pas une forme aussi pure que le cercle. Elle appartient tout de même au monde des idées géométriques. Elle est belle, elle correspond à une équation simple,  $y=x^2$ ; elle n'existe parfaitement que dans l'esprit. Et pourtant toutes les fontaines du monde en produisent une image approchante.

«Même en l'absence d'analyse mathématique subtile la contempler est une expérience sensorielle plaisante, bien qu'il soit très difficile aux psychologues d'expliquer ce plaisir. Certes la courbe est symétrique, mais toutes les lettres majuscules de l'alphabet sont symétriques et on ne saurait revendiquer pour elles le même degré de beauté que pour la parabole. On pourrait peut-être dire que la parabole s'enrobe d'un parfum d'infinité au fur et à mesure qu'elle s'élève au-dessus de l'espace quadrillé, ce qui contraste fort avec l'odeur locale et coutumière que l'on respire aux abords du foyer S. Mais que valent ces explications? L'attrait esthétique n'est pas douteux, mais sa source reste cachée.

La parabole est aussi un locus d'une grande simplicité: elle est la trace laissée sur une surface par un point qui se meut en respectant une loi simple que l'on peut formuler ainsi: le point P est équidistant d'un point fixe S (le foyer) et d'une ligne fixe, ZM (la directrice). Si l'on voulait remonter à l'origine de l'attrait esthétique, on la trouverait dans la simplicité de l'idée d'une courbe et dans la netteté de la méthode permettant de la produire».

Entre les ellipses de Kepler et la parabole la parenté est frappante. La parabole est une section conique située entre l'ellipse et l'hyperbole.

ellipse : PSIPM < 1

parabole: PSIPM= 1

hyperbole : PSIPM > 1

L'eau de la la fontaine qui semble dessiner une parabole en retombant dessine en fait une ellipse allongée dont le centre de la terre est l'un des foyers.

Galilée aurait pu appliquer aux mouvements des planètes l'analyse qu'il faisait des mouvements d'un projectile. Il n'aurait sans doute eu aucune difficulté à faire correspondre ses paraboles et les ellipses de Kepler. Il ne l'a pas fait. Il s'en est tenu, comme Pythagore et Aristote, à l'idée que seul le mouvement circulaire était digne des planètes et il présentait ce mouvement comme le résultat d'une tendance inhérente à la pesanteur et de l'effet d'un mouvement circulaire perpétuel.

Descartes, qui avait eu l'intuition du principe d'inertie avant Galilée, soutenait qu'un corps isolé en mouvement suit une ligne droite. Cette position pouvait être accordée à celle de Kepler. Pour en arriver à l'idée du mouvement elliptique des planètes, il aurait suffi à Descartes de démontrer que le mouvement premier en ligne droite est transformé en mouvement elliptique par une force quelconque. Cette synthèse du mouvement elliptique de Kepler, de l'inertie selon Descartes et de la dynamique de Galilée, c'est Newton qui le fera.

TITRE: De la forme à la force  
comme principe explicatif de l'univers

En choisissant le cercle, la forme parfaite comme principe explicatif de l'univers, Galilée a été le dernier des Anciens alors qu'il avait été le premier des modernes par ses théories sur le mouvement. Après lui il n'y aura plus de partisan de la forme; c'est la force qui deviendra le principe explicatif de l'univers. On verra certes encore de belles figures dans les raisonnements scientifiques; toutefois leur raison d'être ne sera pas leur beauté intrinsèque, mais, comme dans le cas de la parabole, le fait qu'elles illustrent des lois et traduisent des faits d'observation.

Nous disions précédemment que la révolution copernicienne peut être considérée comme l'événement le plus important de l'histoire de l'humanité. L'essence de cette révolution qui s'est poursuivie depuis Galilée jusqu'à Newton c'est précisément le passage de la forme à la force. «Je suis une force qui va» dit un personnage du théâtre de Victor Hugo. Si l'univers tel que nous le concevons depuis trois siècles pouvait parler, c'est en ces termes qu'il parlerait.

Le monde supralunaire, immuable dans sa perfection, a disparu. L'univers tout entier est soumis au devenir du monde sublunaire. A l'homme fixe contemplant un univers fixe se substituera un homme en mouvement évoluant sur une

trajectoire parallèle à celles des images changeantes qu'il se donne de l'univers à mesure qu'il avance dans l'analyse des forces multiples qui y sont à l'oeuvre.

L'univers perd sons sens, son unité; l'homme y gagne en puissance sur lui. Et moins il aura de raisons profondes de l'aimer, plus il lui sera facile de le transformer pour satisfaire des idéaux, non plus métaphysiques, mais terrestres: le bien-être pour le plus grand nombre.

\* De la nature mère à l'univers machine

Utilisation plutôt que contemplation. L'Occidental moderne est bien familier avec cette nuance... L'émerveillement cède à la curiosité technique. Un tel état d'esprit ne peut apparaître, comme le précise Lenoble que si l'homme, dans sa conception du monde, substitue à l'image d'une mère celle d'une machine. On aime sa mère, on ne l'utilise pas ! Les idées de Galilée amorcent la mathématisation du monde. «Où nous mettons une géométrie, les hommes du Moyen Age et de la Renaissance voyaient des valeurs. La Nature n'est donc pas pour eux un système de quantités mais une hiérarchie de qualités». L'idée de machine suppose aussi une altérité radicale qui introduit un tout nouveau rapport avec le monde. Les aspirations de l'homme ne peuvent plus être projetées sur le cosmos.

Dans Les Dialogues sur les Deux principaux Systèmes du Monde, les deux principaux personnages sont des ingénieurs. «1632. Galilée demande à des ingénieurs de nous découvrir le vrai système du monde. Vous voyez que cette date mérite d'être retenue: la structure de la Nature et conjointement la structure de la société vont subir un remaniement complet; l'ingénieur conquiert la dignité du savant, parce que l'art de fabriquer est devenu le prototype de la science. Ce qui comporte une nouvelle définition de la connaissance, qui n'est plus contemplation mais utilisation, une nouvelle attitude de l'homme devant la Nature: il cesse de la regarder comme un enfant regarde sa mère, prend modèle sur elle; il veut la conquérir, s'en rendre maître et possesseur». FIN

Sous-titre: Force et Forces

En employant le mot force au singulier comme nous l'avons fait nous avons commis un grave contresens. Bien que certains savants prétendent qu'ils

pourront un jour unifier les forces connues, la science en est actuellement à l'analyse de forces multiples, au nombre de quatre.

La première, dite interaction forte, est aussi appelée force nucléaire forte. Elle assure la cohésion du noyau atomique en maintenant associés les protons et les neutrons qui le composent tout comme elle lie les particules élémentaires appelées quarks qui constituent les protons et les neutrons. Elle est la plus puissante des forces connues. Pour la situer par rapport aux autres forces, nous supposerons qu'elle a la valeur 1.

L'interaction faible, ou force nucléaire faible est la moins bien connue des quatre forces. Elle intervient dans la transformation des protons en neutrons et vice-versa; elle serait aussi présente dans la radioactivité de quelques éléments chimiques. Elle est d'une puissance approximative de  $10^{-13}$ .

La force électromagnétique explique les interactions entre les particules chargées électriquement. C'est elle qui maintient les électrons autour du noyau tout comme elle relie les atomes qui composent les molécules. La force électromagnétique se rattache au phénomène de la lumière et des autres formes de radiations telles les ondes radio, les rayons X ou les rayons gamma. La puissance de la force électromagnétique serait à peu près de 10. La force gravitationnelle consiste en l'attraction universelle de toutes les particules de matière. Elle lie l'ensemble des astres de l'univers. Elle représente  $10^{-38}$  de la force nucléaire forte.

Actuellement des théories de grande unification proposent une synthèse des forces nucléaires forte et faible et de la force électromagnétique en une force électro-nucléaire. Il resterait à réaliser une plus grande unification encore, celle de la force gravitationnelle et de la force électro-nucléaire pour relever l'ultime défi de la science contemporaine.

Pour comprendre la nature et la signification précise de ce défi, il nous faut d'abord étudier une à une les quatre forces identifiées, en commençant, bien entendu par celle que Copernic, Kepler et Galilée avaient entrevue et à laquelle Newton attachera son nom: la force gravitationnelle. Elle fut la première des forces connues. Elle est aussi la plus faible.

Sous-titre: FORCE GRAVITATIONNELLE

«Nous sommes des nains montés sur les épaules des géants». [Newton]

Supposons qu'on admette le principe d'inertie; tout corps en mouvement continue à se mouvoir en ligne droite à moins qu'une force extérieure ne s'exerce sur lui. Supposons qu'on admette d'autre part la découverte de Kepler selon laquelle le mouvement des planètes est elliptique. Il resterait alors à préciser la nature de la force qui s'exerce sur le mouvement du corps de telle sorte qu'il devienne elliptique plutôt que de demeurer linéaire. Telles étaient les données du problème dont la solution fut la découverte de la force gravitationnelle.

Au même moment, Huyghens étudiait la force centrifuge: une corde reste tendue lorsqu'elle tourne alors qu'un caillou est attaché à son extrémité. Si on lâche la corde le caillou s'en va en ligne droite, comme l'avait prévu Descartes. La lune devrait se mouvoir en ligne droite à moins qu'une force émanant de la terre ne s'exerce sur elle! C'est ici que se situe l'intuition géniale de Newton. La pomme tombe par terre lorsqu'elle se détache de l'arbre. C'est donc qu'une force l'attire vers le bas. Et si la même force s'exerçait sur la lune, mais pas suffisamment pour la faire tomber sur terre, juste assez pour qu'elle dessine une ellipse?

Nous voici au seuil d'une découverte qui modifiera à jamais la vision que les hommes se font du monde.

Suivons Newton pas à pas:

1<sup>ère</sup> loi

Tout corps au repos ou animé d'un mouvement rectiligne uniforme garde cet état à moins qu'une force n'agisse sur lui. Il s'agit d'une reformulation du principe d'inertie.

2<sup>ème</sup> loi

La deuxième loi de Newton, la loi fondamentale de la dynamique, introduit les notions de masse d'inertie et de masse gravitationnelle qui permettront d'expliquer le fait que tous les corps terrestres tombent avec une accélération égale et uniforme.

La masse d'inertie d'un corps est l'effort fourni pour donner à un corps une accélération précise. Elle est en d'autres termes la résistance qu'offre un corps à un changement de mouvement.

$$F = m a$$

F: force

m: masse d'inertie (masse inerte)

a: accélération

La masse gravitationnelle (le poids) est l'effet de la force gravitationnelle sur un corps.

Newton a posé le principe que ces deux masses sont égales\*, ce que l'expérimentation confirme.

Détour: \* Comme la masse d'inertie est équivalente à la masse gravitationnelle, un même étalon de masse, le kilogramme, est utilisé par commodité dans le monde entier. Il est conservé précieusement au Bureau International des Poids et Mesures à Sèvres sous la forme d'un cylindre en alliage de platine. Avec la seconde et le mètre, le kilogramme est une des unités fondamentales de la physique. FIN

Les deux types de masse permettent de comprendre pourquoi tous les corps en chute libre tombent à la même vitesse; le rapport entre la résistance au changement (masse d'inertie) et la force d'attraction (masse gravitationnelle) est toujours le même (=1). La résistance au changement d'un corps «léger» est moindre que celle d'un corps «lourd»; l'attraction qu'exerce la terre sur le corps «léger» (sous réserve de la troisième loi de Newton) est aussi moindre que celle qu'elle exerce sur un corps lourd. Les deux tomberont donc à la même vitesse.

Sur terre, les corps tombent avec une accélération d'environ 9.8 mètres/seconde par seconde.

Encadré: L'accélération est la même, peu importe la direction du mouvement de l'objet. Une balle lancée d'un point arrivera au sol en même temps qu'une balle en chute libre verticale du même point. FIN

On peut admettre que la terre exerce sur la lune une force d'attraction qui transforme le mouvement linéaire de cette dernière en un mouvement différent. Mais pourquoi ce mouvement est-il elliptique plutôt que circulaire? La troisième loi de Newton contient la réponse à cette question.

Précisons d'abord que la force d'attraction de la terre n'est pas absolument identique sur toute sa surface. Elle est légèrement plus forte par exemple au Pôle Nord qu'à l'équateur. La masse gravitationnelle varie en conséquence. La force gravitationnelle est ainsi définie:

$$F = m \cdot g$$

g

m: masse gravitationnelle

g

g: force d'attraction par unité de masse

g peut varier légèrement d'un endroit à l'autre sur terre, mais il est toujours le même évidemment pour toutes les masses qui sont au même endroit.

La troisième loi

A toute action correspond une réaction égale à elle en grandeur et de sens opposé.

Cette loi nous met sur la voie de l'attraction universelle. Toute masse exerce une force gravitationnelle sur une autre. La force qu'exerce la masse  $m_1$  sur  $m_2$  est la même que celle qu'exerce  $m_2$  sur  $m_1$ . La lune et la terre s'attirent l'une l'autre avec une force proportionnelle au produit des masses et inversement proportionnelle au carré de la distance qui les sépare, selon la formule suivante:

$$F = G \frac{m_1 m_2}{R^2}$$

----

2

R

F: la force gravitationnelle

G: la constante de gravitation universelle

$m_1$ : la masse du corps

1

$m_2$ : la masse du corps 2

R: la distance qui sépare les deux masses

Newton démontre par la suite qu'une telle attraction ne peut engendrer qu'une orbite elliptique dont l'un des foyers est occupé par le centre d'attraction, ce qui confirme la théorie de Kepler. Ses calculs ultérieurs ont corroboré les deux autres lois de Kepler.

Newton avait d'abord calculé les distances entre les corps célestes comme si toute leur masse était concentrée en leur point centre. Pour surmonter la difficulté qui en est résultée, il inventa, tout simplement, un nouvel outil mathématique, le calcul différentiel, qu'il appelait la méthode des fluxions.

Nous sommes en 1687: Newton pouvait publier Les Principes Mathématiques de la Philosophie Naturelle.

Le mot philosophie présent dans ce titre ne doit pas nous induire à penser que Newton expliquait la cause de la gravitation universelle. Certes il décrit les forces d'attraction avec précision, mais l'attraction elle-même demeure aussi mystérieuse que les tendances d'Aristote.

Newton n'en demandait pas plus à la science. Dans les Principes, il écrit: «Je n'ai pas été capable de découvrir la cause des propriétés de la gravitation d'après les phénomènes et je ne construis aucune hypothèse (hypotheses non fingo); car tout ce qui n'est pas déduit des phénomènes doit être appelé hypothèse; et les hypothèses, fussent-elles physiques ou métaphysiques, occultes ou mécaniques, n'ont point de place dans la philosophie expérimentale. Dans celle-ci, des propositions particulières sont déduites des phénomènes, et ensuite généralisées par induction. Ainsi furent découvertes l'impénétrabilité, la mobilité, la force impulsive des corps, ainsi que les lois du mouvement et de la gravitation. Et à nos yeux, il est suffisant de savoir que la gravitation existe vraiment, fonctionne selon les lois que nous avons expliquées et sert abondamment à rendre compte de tous les mouvements des corps célestes, et de notre mer».

Par cette déclaration Newton indiquait la voie que la science allait prendre ensuite. Au milieu du siècle suivant, Jean d'Alembert\* précisera cette idée d'une science rationnelle, claire et étrangère à toute considération intuitive ou métaphysique: «Tout ce que nous voyons bien distinctement dans le mouvement d'un corps, c'est qu'il parcourt un certain espace et qu'il emploie un certain

temps à le parcourir. C'est donc de cette seule idée que l'on doit tirer tous les principes de la mécanique quand on veut les démontrer d'une manière nette et précise».

Détour: \* Jean Le Rond d'Alembert (1717-1783)

physicien, mathématicien et philosophe français, auteur de nombreuses publications, il a été co-directeur avec Denis Diderot de l'Encyclopédie, oeuvre publiée de 1751 à 1780 en France dont l'influence sur la pensée fut considérable. FIN

Telle sera la science désormais. Au moyen de lois qui résultent de l'observation et de l'expérimentation, elle cherche à décrire et à prédire les phénomènes; elle abandonne la recherche des causes à la métaphysique et reste étrangère à d'autres approches, de type intuitif, esthétique, éthique ou globalisant.

Une telle science ne pouvait que proposer une vision mécaniste du monde dont un célèbre contemporain de Newton, Leibniz, pressentit les conséquences avec angoisse. «Je commence en philosophe et je finis en théologien» disait Leibniz. Il estimait que la science devait nécessairement déboucher sur une métaphysique, qu'elle devait éclore en une philosophie totale. Chose impensable dans la perspective newtonienne. Un cosmos décrit en terme de force d'attraction n'a que faire de l'homme et de ses aspirations. «La théorie de Newton ne nécessite aucun ensemble:exacte pour (Univers + observateur) elle demeure tout aussi exacte pour (Univers - observateur). C'est pour cela que l'homme ne peut la généraliser à l'Univers afin de s'y comprendre lui-même: aucune éthique particulière n'est attachée à la gravitation universelle...».

«L'accord entre ce que l'on savait et ce que l'on sentait n'était plus guère réalisable, car on savait qu'on n'aurait pas dû sentir. L'idée ne s'imposa que lentement, mais l'opposition entre croire et connaître ne fait que s'accentuer».

Encadré: Leibniz

Précisons que Leibniz est tout le contraire d'un philosophe au sens péjoratif, qu'il ne se tourne pas vers la métaphysique par inappétence ou inaptitude pour la physique et les mathématiques. On reconnaît généralement qu'il a découvert le calcul intégral et différentiel avant Newton, même si la controverse sur cette question dure toujours. Par sa découverte du système binaire et de la logique

du même nom, il est à l'origine des ordinateurs. Il a abordé ainsi avec la même souveraine aisance les principaux domaines du savoir. Par sa théorie des petites perceptions, il introduit en psychologie l'analyse infinitésimale que Newton avait réservée à l'étude du monde physique. Il a été le véritable fondateur de la psychologie dynamique, le premier à employer le mot inconscient tel que nous l'entendons aujourd'hui. On ne se déshonorerait pas en prétendant que Leibniz est un plus grand esprit que Newton. La distance qui les sépara n'en est que plus significative et plus instructive pour nous qui avons de plus en plus de raisons de ne plus nous satisfaire d'un monde machine. FIN

N'en concluons pas cependant qu'il n'y a pas de science en dehors de la méthode inductive de Newton. Einstein, on le verra, eut plutôt recours à la déduction, comme les pythagoriciens.

Et Newton lui-même fut-il à ce point fidèle à sa déclaration sur les hypothèses qu'on doive le considérer comme irréductiblement opposé à toute spéculation métaphysique, à toute réflexion sur le pourquoi et les fins? En réalité, il n'a jamais cessé de s'interroger sur les causes de la gravitation, si bien que certains historiens, Luce Pietri et Marc Venard par exemple, n'hésitent pas à le présenter comme un visionnaire. «Il serait inexact de voir chez lui un renoncement à pénétrer sur le plan des causes, pour s'en tenir à celui des lois. Au contraire, Newton est un visionnaire, tout imbu de théologie. L'ordre du monde est pour lui l'oeuvre d'un Etre tout-puissant et souverainement intelligent, dont l'intelligence humaine est le reflet».

Encadré: NEWTON

«Newton est le plus grand homme qui ait jamais été, mais le plus grand, de façon que les géants de l'Antiquité sont auprès de lui des enfants qui jouent à la fossette... Jouons sous les bras de cet Atlas qui porte le ciel, faisons des drames, des odes, des guenilles! Aimez-moi, consolez-moi d'être si petit». [Voltaire à l'abbé d'Olivet]

«Newton fut peut-être le plus grand génie scientifique qui vécut jamais». [Carl Sagan]

Qui est donc l'homme qui substitua la force à la forme comme principe explicatif de l'univers?

Newton est né en Angleterre en 1642 d'une famille simple de fermiers à peu près analphabètes, comme s'il avait voulu narguer ceux qui tentent de saisir le mystère insondable du génie. Son père meurt quelque temps avant sa naissance. A l'âge de trois ans, le jeune Isaac est pris en charge par sa grand-mère maternelle. A 19 ans, il entre au Trinity College de Cambridge mais la peste, qui sévit en Angleterre en 1665 et 1666, le contraint à quitter l'Université. Il revient alors dans sa région natale. En 1666, ses méditations solitaires l'amènent à établir les assises de la spectroscopie et à amorcer les réflexions qui mèneront à ses découvertes ultérieures. La seule année comparable à celle-ci dans l'histoire de la physique, pense Carl Sagan, est 1905, «l'année-miracle d'Einstein».

Newton retourne à Cambridge en 1667 et deux ans plus tard, il est nommé titulaire d'une chaire de mathématiques, poste qu'il occupera pendant trente ans. C'est en 1687 que fut publié son grand ouvrage, Les Principes Mathématiques de la Philosophie Naturelle dans lequel il introduit l'idée de la gravitation universelle. Ses travaux en mathématiques, en astronomie ou en optique, parmi lesquels l'invention du télescope à réflexion, sont la signature incontestable d'un génie scientifique. Il était cependant d'un tempérament plutôt mystique comme le révèlent ses travaux en alchimie ou en théologie. Il a laissé à sa mort des milliers et des milliers de pages sur des questions bibliques où l'on trouve entre autres une argumentation contre la doctrine de la Sainte-Trinité, des réflexions sur les Prophéties et des travaux sur l'interprétation de l'Apocalypse. Il cherchait la confirmation littérale dans la Bible de datations astronomiques et pensait que le monde avait été créé récemment, probablement pas avant l'an 4004 av. J.-C. date qu'avait fixée l'Archevêque Usher d'après l'Ancien Testament.

Newton était solitaire et ombrageux. On ne lui connaît aucune aventure sentimentale. Il n'a cessé sa vie durant de revendiquer, parfois avec âpreté, la paternité de découvertes scientifiques. Sa querelle avec Leibniz au sujet de la découverte du calcul différentiel et intégral est demeurée célèbre. Elle nous fait découvrir un grand homme capable de petites intrigues. Pour trancher la question, Newton, loin de faire appel à un Salomon, fit nommer une commission impartiale dont il rédigea lui-même les conclusions après en avoir nommé les membres! La justice ainsi rendue ne le satisfaisant pas, il a continué jusqu'à sa mort, à s'acharner contre Leibniz, non sans quelque sadisme.

Mort en 1727, il a été enterré en grandes pompes à l'Abbaye de Westminster «comme un roi qui aurait fait du bien à ses sujets».

Il aura fallu l'univers dans sa totalité pour le contraindre à la douceur et à l'humilité. Il écrivait à la fin de ses jours: «Je ne sais pas ce que je puis représenter aux yeux du monde; mais quant à moi, je me fais l'impression de n'avoir été qu'un enfant jouant sur la plage et s'y amusant à trouver de temps en temps un galet particulièrement lisse ou un coquillage plus joli que les autres, tandis que s'étendait devant moi, inconnu, le grand océan de la vérité». FIN

Encadré: Le système de référence galiléen

Parmi les nombreuses notions définies par Newton, il en est un qui est d'une importance particulière pour la compréhension des développements ultérieurs de l'astro-physique, celle du système de référence galiléen.

Rappelons tout d'abord le principe d'inertie: un corps sur lequel aucune force n'agit est soit en repos, soit animé d'un mouvement rectiligne à vitesse constante.

Imaginons qu'une balle repose sur la plate-forme arrière d'un camion. Que le camion soit immobile ou qu'il roule en ligne droite à vitesse constante, le principe d'inertie est respecté (pour les fins de l'illustration, on imagine évidemment la route sans aspérités et parfaitement plane). Mais si le camion accélère, freine brusquement ou vire à droite, il est évident que la balle ne restera pas immobile sur la plate-forme. Newton, qui avait saisi ce lien entre le système de référence - le camion - et le principe d'inertie, précisa en 1687 que les mouvements des corps dans un espace donné sont les mêmes, que cet espace soit au repos ou se déplace à vitesse constante en ligne droite. En d'autres termes, le principe d'inertie ne s'applique que si le lieu dans lequel se produit le phénomène est au repos ou à vitesse rectiligne constante. C'est ce qu'on appelle le système de référence galiléen.

Notons que le concept de force centrifuge s'analyse en fonction du système de référence galiléen. Si une voiture emprunte un virage à grande vitesse, les passagers sentent qu'une force tend à les ramener dans le sens de la courbe alors qu'ils ont l'impression d'être projetés par une seconde force hors de la courbe, en ligne droite. Cette seconde force, centrifuge, est imaginaire. Seule s'exerce la première force, centripète. Dans un système de référence galiléen, la force centrifuge n'existe pas.

La terre, qui tourne autour de son axe en une journée, n'est pas à strictement parler un système de référence galiléen mais plutôt un système de référence en rotation. C'est dans ce contexte que l'on doit comprendre la force centrifuge de la lune. FIN

Sous-titre: EINSTEIN

L'univers de Newton est une force qui va, et non une forme qui dure; cette force évolue toutefois dans un cadre qui, par sa fixité, rappelle aussi bien les figures parfaites de Pythagore que le monde supralunaire d'Aristote. Ce cadre c'est l'espace et le temps absolus.

Ne nous laissons pas impressionner par ces mots, ils correspondent à l'interprétation que nous donnons spontanément à nos expériences courantes. Un mètre pour nous est la fraction d'une grandeur bien réelle que nous pourrions parcourir si nous en avons les moyens et le temps; quant à l'heure ou à la minute, elles sont des fractions d'une ligne bien réelle également. Le temps et l'espace absolus ne sont rien d'autre que cette grandeur et cette ligne.

A la réflexion toutefois, il apparaît vite que l'existence d'une telle ligne et d'une telle grandeur ne va pas de soi. Newton, conscient de l'énigme, ne put la résoudre par des arguments proprement scientifiques. Il s'appuya plutôt sur des arguments théologiques, associant l'espace à l'idée d'un Dieu omniprésent qui assure la cohérence du Grand Tout et le temps absolu à l'émanation du Dieu éternel dans un univers infini\*. Ces idées allaient être balayées dans le cadre de la théorie de la relativité d'Einstein.

Détour: \* La relativisation

Quand on considère l'évolution des conceptions du monde depuis Ptolémée dont le système était rempli de cercles qui étaient autant de manifestations de formes pures, incorruptibles et par là absolues, jusqu'à Newton qui ne retient qu'un temps et un espace absolus, il devient clair que cette évolution est une relativisation progressive. FIN

Sous-titre: La relativité restreinte

Lorsqu'on songe à la vitesse d'un mobile, il faut un point de référence. Comment le passager d'un vaisseau spatial dans un espace totalement vide pourrait-il savoir s'il se déplace ou s'il est immobile? Par rapport à quoi?

On supposait avant Einstein que l'espace était composé d'un éther qui propageait la lumière - considérée à cette époque comme un phénomène ondulatoire -, à l'image de l'eau qui propage les vagues de la mer. Cependant une expérience réalisée aux États-Unis en 1881 jetait un doute sur l'existence de cet éther tout en démontrant que la vitesse de la lumière restait constante indépendamment de la vitesse de la source émettrice. Mouvement relatif, absolu, vitesse de la lumière indépendante de la source, éther, la physique était incohérente, dans une impasse qui fait songer à celle de l'époque précédent Newton.

Einstein propose en 1905 dans sa théorie de la relativité restreinte une synthèse révolutionnaire. Il postule tout d'abord que toutes les lois de la nature, non seulement mécaniques, comme l'avait suggéré Newton mais aussi électromagnétiques ou autres, s'appliquent de la même façon dans un système de référence galiléen. L'idée, qui semble anodine est en fait le fondement même de la relativité. L'espace n'est pas absolu mais devient l'ordre possible des objets matériels ou la relation de ces objets entre eux. Sans objet, il n'y a rien. Il n'existe pas de repos ou de mouvement absolu uniforme en soi dans l'espace. Il est impossible de savoir expérimentalement si on est dans un système en repos ou à vitesse uniforme. Et il n'est pas du tout nécessaire de poser l'existence d'un espace absolu.

Einstein énonce ensuite que la vitesse de la lumière  $C$  (environ 300,000 km. ou 186,000 milles à la seconde) est une constante universelle dans tous les systèmes de référence galiléen, indépendante de tout mouvement de la source émettrice. Rien dans l'univers ne peut être connu sans l'intermédiaire d'un médium, signal lumineux ou électromagnétique. C'est ainsi que lorsqu'on observe une étoile située à cent années lumière, l'étoile apparaît telle qu'elle était il y a cent ans. L'information transmise par la lumière est parvenue jusqu'à nous après un voyage d'un siècle.

De la même façon, lorsque le peintre A fait le portrait de son ami B situé à quelques mètres de lui, il le voit non pas comme B est au moment précis où il le regarde mais tel qu'il était il y a une infime fraction de seconde, le temps requis

pour que la lumière réfléchi sur l'un parvienne à la rétine de l'autre. Le "maintenant" de A n'est pas le «maintenant» de B. Il est séparé par le temps que la lumière met à franchir la distance entre A et B. Généralisons: le «maintenant» de A est distinct de celui du reste de l'univers. Il lui est propre et chaque système a son temps particulier\*.

Détour \* Mon temps n'est pas le vôtre

«Mais le temps? Il n'a pas d'existence en soi. Ce sont les choses et leur écoulement qui rendent sensibles le passé, le présent, l'avenir. A personne, il le faut avouer, le temps ne se fait sentir indépendamment du mouvement des choses ou de leur repos».

Lucrece, poète latin (env. 98 av. J.-C. - env. 55 av. J.-C). Livrons-nous à un exercice simple. Il consiste à éliminer par l'imagination toutes les horloges, tout ce par quoi nous mesurons le temps: le jour et la nuit, les battements du coeur, les saisons, la naissance et la mort. A la fin de cet exercice, il ne resterait plus qu'une conscience pure, enveloppée, si la chose est possible dans un corps incorruptible et habitant un lieu lui-même incorruptible. Pour cette conscience, il n'y aurait plus de temps. FIN

L'univers entier n'étant perceptible que par un signal soumis au temps, le temps fait donc partie des conditions d'existence des choses. Aux trois dimensions de l'espace, il faut ajouter une quatrième donnée A: le temps.

A la place du temps et de l'espaces absolus de Newton, voici donc l'espace-temps.

S'il est facile de reproduire un univers à trois dimensions, (par exemple pour un avion, longitude, latitude et altitude) il est par contre tout à fait illusoire d'essayer de se représenter visuellement ce continuum espace-temps à quatre dimensions. Bien que chaque observateur ait son propre système temporel ou spatial, les différents systèmes n'existent pas indépendamment les uns des autres mais constituent un cadre universel d'espace-temps. Tous partagent mais chacun à sa manière le temps et l'espace du grand ensemble de l'espace-temps.

Ce ne sont là toutefois que les aspects les moins déroutants de la théorie restreinte.

Au début du XXe siècle Lorentz\* savait déjà que tout corps se contracte dans le sens de son mouvement et qu'à la limite, un corps dont la vitesse atteindrait celle de la lumière aurait une longueur égale à zéro. De tels phénomènes ne sont évidemment pas perceptibles à l'échelle de l'expérience quotidienne. La physique classique de Newton n'est contredite en fait que lorsque l'on passe à une autre échelle.

Détour: \* Lorentz

Physicien néerlandais (1853-1928), prix Nobel de physique en 1902 avec Zeeman. FIN

Comment croire que la masse d'un objet s'accroît lorsqu'il s'approche de la vitesse de la lumière et que le temps s'écoule alors plus lentement. Einstein précise même qu'aucun objet matériel ne peut voyager à la vitesse de la lumière, puisqu'il aurait alors théoriquement une masse infinie.

C'est en 1907 qu'il publia l'équation la plus connue de toute l'histoire de la science ;

2

$E = m c^2$

E: l'énergie

m: la masse d'un objet

c: la vitesse de la lumière

Cette formule établit un principe d'équivalence, un rapport entre la masse et l'énergie. Tout corps qui absorbe ou libère de l'énergie E gagne ou perd une valeur de masse égale à:

E

-----

2

c

Cette loi nous révèle que toute masse recèle une effarante quantité d'énergie. Ainsi, un kilogramme de charbon converti entièrement en énergie produirait 25 milliards de kilowatts/heure d'électricité\*.

Détour: \* Trente-six milliards de kilowatts/heure équivaut à la consommation d'une ville de quatre millions d'habitants. FIN

Ce rapport entre masse et énergie a permis de comprendre une foule de phénomènes qui restaient jusqu'alors mystérieux: la radioactivité, la force nucléaire ou la combustion particulière des étoiles émettrices de lumière.

Encadré: ALBERT EINSTEIN  
Allemand, naturalisé suisse puis américain  
(1879-1955)

«Moi, on m'acclame parce que tout le monde me comprend et vous on vous acclame parce que personne vous comprend!»

Charlie Chaplin à Albert Einstein alors que tous les deux, côte à côte, étaient acclamés par la foule.

Einstein dont les paradoxes font aujourd'hui partie du bon sens de la science, était lui-même un paradoxe: on se sentait bien près de lui quoiqu'il fût inaccessible. Il inspirait une admiration inversement proportionnelle à la compréhension qu'on avait de ses idées.

Lors de sa première conférence au Collège de France, le 31 mars 1922, la presse parisienne fit état de «sa belle tête», de sa «bouche sensuelle», de ses yeux dont «on dirait que l'habitude de scruter les profonds secrets de l'univers y a laissé une trace ineffable». Un tel être est pourtant devenu une vedette hollywoodienne. On lui a offert des sommes fabuleuses pour mousser la vente de produits commerciaux et ses posters se vendent aujourd'hui à côté de ceux de James Dean ou de Marilyn Monroe.

Voici le jugement d'un analyste des mythes contemporains, Roland Barthes: «A la fois mage et machine, chercheur permanent et trouveur incombé, déchaînant le meilleur et le pire, cerveau et conscience, Einstein accomplit les rêves les plus contradictoires, réconcilie mythiquement la puissance infinie de l'homme sur la nature, et la «fatalité» d'un sacré qu'il ne peut encore rejeter». FIN

## Encadré: LES PARADOXES DE LA RELATIVITÉ

Au fur et à mesure que la physique et l'astronomie progressent, on s'éloigne d'une part du témoignage des sens et d'autre part des figures parfaites avec lesquelles on est familier et qui, pour cette raison, facilitent la compréhension des phénomènes. Pour se faire une représentation du monde et des lois qui le gouvernent, on dépend de plus en plus de constructions abstraites. A partir d'Einstein on en vient même à trouver suspects les énoncés que l'on comprend, ou plutôt que l'on croit comprendre. Si je crois comprendre, ce doit être que, sans le savoir, j'ai interprété à l'aide d'images dépassées des raisonnements qui ne sont pleinement intelligibles qu'en termes de mathématiques avancées. Une telle science est une école de détachement. Ne vous fiez pas à vos représentations semble-t-elle nous dire constamment, elles sont toujours fausses.

Voici deux exemples du détachement auquel nous oblige la relativité restreinte.

Rien ne peut dépasser la vitesse de la lumière

Vous êtes au coin d'une rue. Un véhicule A vient vers vous du nord au sud. Un véhicule B roule de l'ouest vers l'est. Une collision est imminente. Maintenant, imaginez que ces deux véhicules ont atteint la vitesse de la lumière.

Comme la lumière réfléchi par le véhicule A devrait s'ajouter à la vitesse propre du véhicule, puisqu'elle est de même direction, vous devriez donc voir le véhicule A appliquer les freins ou tenter une manoeuvre d'évitement alors que vous ne voyez pas le véhicule B puisque sa vitesse propre ne s'ajoute pas à celle de la lumière. Vous verriez donc tout d'abord le véhicule A et plus tard le véhicule B alors que les deux conducteurs tentent de s'éviter. Tout ceci est absurde et démontre bien qu'il est impossible d'ajouter à la vitesse de la lumière.

«Le temps, en effet, c'est quoi? Allez donc fournir sur ce point une explication facile et brève! Allez, pour en dire le moindre mot, saisir la chose, ne fût-ce qu'en pensée!» [Saint-Augustin]

---

Sous-titre: Le temps compressible

Un vaisseau spatial quitte la terre pour une étoile située à 1000 années-lumière. Le vaisseau accélère jusqu'à ce qu'au bout de cinq ans et demi (selon le temps mesuré à bord du vaisseau), il ait atteint une vitesse égale à 99.9999% de la vitesse de la lumière. Il voyage alors à cette vitesse jusqu'à destination. Combien d'années lui faudra-t-il alors pour atteindre l'étoile? Eh bien non, la réponse n'est pas à peu près 994.5 années terrestres. Il lui faudra cinq ans et demi en fait pour atteindre l'étoile. Le voyage aura duré onze ans. Mais pendant ce temps, il se sera écoulé mille ans sur terre. Imaginons que le vaisseau spatial revienne sur terre avec les mêmes données de vitesse. Vingt-deux ans auront passé pour les voyageurs alors qu'ils se retrouveront sur terre deux mille ans après leur date de départ!

Le voyageur dans le vaisseau ne s'apercevrait nullement de la contraction du temps. Tout ce qui est rythme en lui et autour de lui, y compris le rythme cardiaque ralentirait à mesure que la vitesse s'accroîtrait. Il serait toutefois impossible de vérifier la chose dans le vaisseau même puisque la montre dont notre voyageur se servirait aurait elle-même ralenti.

Le terrien conclura évidemment que l'horloge du voyageur a retardé par rapport à la sienne, mais le plus extraordinaire, c'est que le voyageur aura la même impression; selon lui, ce sera l'horloge du terrien qui aura retardé par rapport à la sienne! On peut illustrer ces impressions par un fait courant; deux personnes, dos à dos, s'éloignent l'une de l'autre. Après quelques minutes, elles se retournent et se regardent. Chacune apparaîtra à l'autre plus petite par l'effet de la perspective. Il en est de même si une seule personne s'éloigne d'une autre qui demeure immobile. Imaginons qu'il n'y a dans l'espace que la terre et le vaisseau spatial. Le mouvement d'un des deux corps n'existe que par rapport à l'autre objet. Si on prenait comme point de référence le vaisseau, on pourrait affirmer que c'est la terre qui s'en éloigne ou, d'une façon plus générale, que les deux objets s'éloignent l'un de l'autre.

Le physicien Jean Charon pour sa part se fonde sur ce caractère relatif du mouvement pour affirmer que l'idée suivant laquelle le temps ralentit lorsqu'on approche de la vitesse de la lumière est absurde. Selon lui, le fait de voler à une telle vitesse a pour effet de réduire la distance entre la terre et l'étoile dans l'exemple ci-haut, la distance dépendant «notamment de la vitesse de l'observateur qui fait la mesure par rapport» à la terre et à l'étoile.

Le décalage a pourtant été confirmé par des expériences. Des physiciens américains ont comparé le temps d'une personne restée sur terre au temps d'une autre voyageant en avion en direction est et d'une troisième voyageant aussi en avion mais en direction ouest. L'horloge située dans l'avion allant en direction est a retardé de quelques dizaines de milliardièmes de seconde sur l'horloge au sol conformément à la théorie d'Einstein, puisque l'avion volait alors dans le même sens que la rotation de la terre. L'horloge de l'avion volant vers l'ouest avait retardé de 273 milliardièmes de seconde par rapport à l'horloge au sol.

«Il n'y a pas de temps universel, et chacun emporte avec soi son horloge, à nulle autre pareille».

Je vais te dire un grand secret  
Le temps c'est toi  
Le temps est femme Il a  
Besoin qu'on le courtise et qu'on s'asseye  
A ses pieds le temps comme une robe à défaire  
Le temps comme une chevelure sans fin  
Peignée  
Un miroir que le souffle embue et désembue  
Le temps c'est toi qui dors à l'aube où je m'éveille  
C'est toi comme un couteau traversant mon gosier  
Oh que ne puis-je dire ce tourment du temps  
Qui ne passe point [Elsa de Louis Aragon]

Sous-titre: La relativité générale

La théorie de la relativité générale est «une des plus grandes victoires remportées par le génie humain sur la multitude chaotique de ses perceptions».

Einstein, tout en énonçant le principe suivant lequel les lois de la nature sont les mêmes dans un système de référence galiléen refusait de croire cependant que ces lois pouvaient être différentes par le simple fait que le système de référence était accéléré. C'est ainsi que pendant des années, il a cherché à généraliser sa théorie. Einstein doutait que l'équivalence de la masse d'inertie et de la masse gravitationnelle soit le simple fait d'une coïncidence de la nature comme on le supposait depuis Newton. De plus, il était devenu impossible en vertu des principes même de la relativité restreinte que la force gravitationnelle puisse s'exercer instantanément. C'est ainsi qu'il poursuivit ses réflexions.

Il est évident que si l'on ne peut distinguer le repos d'un mouvement à vitesse constante en ligne droite, l'accélération par contre ou quelque accroc à l'uniformité du mouvement est facile à percevoir. Il suffit de songer à un arrêt brusque dans un wagon de métro pour s'en convaincre !

Einstein a imaginé l'expérience d'un observateur dans un ascenseur. Si l'ascenseur tombe en chute libre, une balle lâchée par l'observateur tombera à la même vitesse que lui et que l'ascenseur suivant les lois de Newton. La balle lui apparaîtra alors immobile. Si l'observateur enfermé ignore où il est, il peut tout aussi bien penser qu'il tombe vers le sol ou encore qu'il est hors de toute influence gravitationnelle, c'est-à-dire en état d'apesanteur.

Mais, si l'ascenseur est dans l'espace et qu'il est tiré par le haut avec une accélération égale à la pesanteur terrestre, une balle lâchée de l'ascenseur tombera exactement comme si l'observateur était sur terre dans un ascenseur au repos. Les effets d'une accélération égale à la pesanteur terrestre sur un vaisseau spatial sont exactement les mêmes que si le vaisseau était soumis à la gravitation terrestre.

Ce sont ces expériences imaginaires qui ont inspiré Einstein lorsqu'il a formulé le principe d'équivalence de la gravitation et de l'inertie; il est impossible de distinguer un mouvement produit par une force d'inertie telle l'accélération, par exemple, d'un mouvement produit par une force gravitationnelle. Tout changement de vitesse ou de direction peut être décrit aussi adéquatement en terme de fluctuation du champ gravitationnel qu'en terme d'inertie. Einstein ébranlait ainsi l'idée que l'on se faisait alors de la gravitation. Elle n'est pas distincte de l'inertie mais en est comme une composante. Einstein substitue au concept mécanique newtonien de force et d'attraction le concept de champ.

L'effet d'un corps dans l'espace serait grossièrement comparable à une petite boule de quille qui serait au centre d'un drap tendu aux quatre coins. La boule détermine alors le relief du drap qui serait déformé au milieu un peu à l'image d'un entonnoir.

Si on place un petit plomb en bordure du drap, il aura tendance à aller vers le centre, comme s'il était attiré par la plus grande masse. Mais en fait, c'est la boule elle-même qui modifie le relief comme un astre modifie, courbe, déforme l'espace. La gravitation est comme une tendance des corps célestes à emprunter les ondulations de l'espace-temps provoquées par les astres.

Einstein a précisé les relations entre la masse d'un corps et la structure du champ autour de lui. Il a de plus prévu des lois qui analysent les mouvements des corps qui empruntent les «chemins» des champs gravitationnels. Les lois de champ gravitationnel donnent des résultats comparables aux principes de Newton. Les deux systèmes, pourtant très différents décrivent la même réalité. Einstein, cependant réussit là où Newton échoue; l'explication de faits astronomiques plus subtils tel par exemple, le comportement de la planète Mercure autour du soleil. Einstein intègre Newton tout en le dépassant\*.

Détour: \* «La science est un acquêt de l'homme, la science est une échelle, un savant monte sur l'autre... Elle est série. Elle procède par épreuves superposées l'une à l'autre et dont l'obscur épaissement monte lentement au niveau du vrai». [Victor Hugo] FIN

La théorie de la relativité générale n'est pas cependant que formules mathématiques. Elle donne une image qualitative de l'espace-temps tout à fait différente de ce qu'avait imaginé Newton. Loin d'être immuable, rigide et simple réceptacle indépendant et froid d'astres et de corps indépendants dans un temps indépendant, le continuum espace-temps est plutôt plastique, malléable, constamment modifié et sujet à distorsions telle la surface d'un étang poissonneux. La structure géométrique même de l'univers, vu comme un tout, est influencée par la matière qu'il contient. Dans l'univers d'Einstein, l'espace, bien que fini, est sans borne. On pourrait le comparer à une bulle de savon. L'univers n'est pas l'intérieur de la bulle mais sa surface, non à deux dimensions comme celle de la bulle mais à quatre. Ici, le plus court chemin entre deux points n'est pas la droite comme le postulait Euclide\*\*. Un rayon de lumière qui traverserait l'univers reviendrait à son point de départ après des centaines de

milliards d'années. Cette idée d'un univers fini mais sans borne fait encore l'objet de discussions parmi les scientifiques.

Détour: \*\* Euclide

Mathématicien grec du IIIe siècle av. J.-C. FIN

Encadré: BARUCH SPINOZA (1632-1677)

«Je crois au Dieu de Spinoza, qui se révèle dans l'harmonie ordonnée de ce qui existe...». [Albert Einstein]

Il existe entre certains génies frères des affinités telles qu'on ne peut comprendre l'un sans connaître l'autre. Que sait-on par exemple de Dante si on ignore tout de Virgile? Un lien analogue unit le physicien Albert Einstein et le philosophe Baruch Spinoza. Le premier considérait le second comme «l'une des âmes les plus pures et les plus profondes qu'aient produites le peuple juif».

La pureté de Spinoza transparait dans des raisonnements calqués sur ceux du géomètre; la profondeur dans des coups de sonde qui tantôt, comme dans les considérations sur la connaissance du troisième genre, atteignent le niveau de la mystique, tantôt, comme dans les propos sur la nécessité, fondent une vision du monde préfigurant celle qu'imposera une science achevée.

Spinoza (1632-1677) est né à Amsterdam. Fait rare, il était - et il le demeura toute sa vie - un travailleur manuel, plus précisément un polisseur de verres de lunettes et de microscopes. Cette activité exigeant une attention parfaite n'est pas étrangère au fait que chaque pensée de Spinoza possède la luminosité, la géométrie... et la dureté du diamant. Un polisseur de verre ne peut ni tricher, ni mentir comme peut le faire tout intellectuel qui combine des notions abstraites.

Sa philosophie vaudra toutefois à Spinoza d'être chassé de la communauté juive d'Amsterdam en 1656. Mais, il aura la consolation de recevoir la visite des plus grands esprits de son temps, celle de Leibniz en particulier, lequel voyait en lui un maître.

De son vivant il ne publiera qu'une oeuvre - et encore sous un pseudonyme -, le Traité théologico-politique, paru en 1670. Dans cet ouvrage, il s'attaque à l'interprétation littérale de la Bible, suggère une étude critique de type historique des livres de l'Ancien Testament, prône la liberté de conscience et avance l'idée d'une religion qui serait au-dessus de tous les dogmes, de toutes les confessions, liée à quelques grands principes de conduite dont, avant tout, l'amour du prochain. Spinoza s'élevait ainsi au-dessus des préjugés de son époque sans tomber dans ceux de la nôtre.

C'est toutefois dans l'Éthique que son génie apparaît à la fois dans toute sa pureté et dans toute sa profondeur. L'essentiel de la pensée antique et l'essentiel de la pensée moderne se retrouvent, unifiés, dans ce livre qui devient ainsi le plus ancien des livres modernes et le plus moderne des livres anciens.

Spinoza n'admet aucune autre substance que Dieu lui-même et rejette l'idée d'un Dieu personnel qui juge, récompense et punit. Spinoza nie la liberté de l'homme et le finalisme dans l'univers. Tout dans la nature, qu'il confond avec Dieu lui-même, procède selon lui de la plus stricte nécessité. La sagesse consiste simplement à reconnaître la nécessité éternelle de cet ordre divin. La reconnaissance de cette nécessité s'opère au niveau de ce que Spinoza appelle la connaissance du troisième genre. Ne retrouve-t-on pas dans cette connaissance une forme de liberté apparentée à ce que d'autres grands philosophes ont appelé la liberté de perfection?

Le plus bel hommage rendu à Spinoza est peut-être celui de Bergson: «Tout philosophe a deux philosophies: la sienne et celle de Spinoza».

Voici quelques pensées de ce polisseur de verre:

«Il ne peut exister et on ne peut concevoir aucune autre substance que Dieu».

«...Nous n'agissons que par la volonté de Dieu, nous participons de la nature divine...».

«...L'âme et le corps sont une seule et même chose, qui est conçue tantôt sous l'attribut de la pensée, tantôt sous celui de l'étendue».

«Il n'y a point dans l'âme de volonté absolue ou libre; mais l'âme est déterminée à vouloir ceci ou cela par une cause, qui elle-même est déterminée par une autre, et celle-ci encore par une autre, et ainsi à l'infini».

«...Les hommes ne se croient libres que parce qu'ils ont conscience de leurs actions et ne l'ont pas des causes qui les déterminent...».

«Agir selon la raison, ce n'est autre chose qu'accomplir les actions qui résultent de la nécessité de notre nature considérée en elle-même».

«La béatitude n'est pas le prix de la vertu, c'est la vertu elle-même; et ce n'est point parce que nous contenons nos appétits que nous en jouissons, c'est parce que nous en jouissons que nous sommes capables de contenir nos appétits».

«La Nature n'agit jamais pour une fin. Cet être éternel et infini que nous nommons Dieu ou Nature agit comme il existe, avec une égale nécessité. La nécessité qui le fait être est la même qui le fait agir». FIN de l'encadré

## EINSTEIN

L'univers de Newton est une force qui va, et non une forme qui dure; cette force évolue toutefois dans un cadre qui, par sa fixité, rappelle aussi bien les figures parfaites de Pythagore que le monde supralunaire d'Aristote. Ce cadre c'est l'espace et le temps absolus.

Ne nous laissons pas impressionner par ces mots, ils correspondent à l'interprétation que nous donnons spontanément à nos expériences courantes. Un mètre pour nous est la fraction d'une grandeur bien réelle que nous pourrions parcourir si nous en avons les moyens et le temps; quant à l'heure ou à la minute, elles sont des fractions d'une ligne bien réelle également. Le temps et l'espace absolus ne sont rien d'autre que cette grandeur et cette ligne.

A la réflexion toutefois, il apparaît vite que l'existence d'une telle ligne et d'une telle grandeur ne va pas de soi. Newton, conscient de l'énigme, ne put la résoudre par des arguments proprement scientifiques. Il s'appuya plutôt sur des arguments théologiques, associant l'espace à l'idée d'un Dieu omniprésent qui assure la cohérence du Grand Tout et le temps absolu à l'émanation du Dieu éternel dans un univers infini\*. Ces idées, dernières traces de l'absolu en physique, allaient être emportées par la théorie de la relativité d'Einstein.

Détour: \* La relativisation

FIN

Sous-titre: La relativité restreinte

Lorsqu'on songe à la vitesse d'un mobile, il faut un point de référence. Comment le passager d'un vaisseau spatial dans un espace totalement vide pourrait-il savoir s'il se déplace ou s'il est immobile? Par rapport à quoi?

On supposait avant Einstein que l'espace était composé d'un éther qui propageait la lumière - considérée à cette époque comme un phénomène ondulatoire -, à l'image de l'eau qui propage les vagues de la mer. Cependant une expérience réalisée aux États-Unis en 1881 jetait un doute sur l'existence de cet éther tout en démontrant que la vitesse de la lumière restait constante indépendamment de la vitesse de la source émettrice. Mouvement relatif, absolu, vitesse de la lumière indépendante de la source, éther, la physique était incohérente, dans une impasse qui fait songer à celle de l'époque précédent Newton.

Einstein propose en 1905 dans sa théorie de la relativité restreinte une synthèse révolutionnaire. Il postule tout d'abord que toutes les lois de la nature, non seulement mécaniques, comme l'avait suggéré Newton mais aussi électromagnétiques ou autres, s'appliquent de la même façon dans un système de référence galiléen. L'idée, qui semble anodine est en fait le fondement même de la relativité. L'espace n'est pas absolu mais devient l'ordre possible des objets matériels ou la relation de ces objets entre eux. Sans objet, il n'y a rien. Il n'existe pas de repos ou de mouvement absolu uniforme en soi dans l'espace. Il est impossible de savoir expérimentalement si on est dans un système en repos ou à vitesse uniforme. Et il n'est pas du tout nécessaire de poser l'existence d'un espace absolu.

Encadré: LES PARADOXES DE LA RELATIVITÉ

Au fur et à mesure que la physique et l'astronomie progressent, on s'éloigne d'une part du témoignage des sens et d'autre part des figures parfaites avec lesquelles on est familier et qui, pour cette raison, facilitent la compréhension des

phénomènes. Pour se faire une représentation du monde et des lois qui le gouvernent, on dépend de plus en plus de constructions abstraites. A partir d'Einstein on en vient même à trouver suspects les énoncés que l'on comprend, ou plutôt que l'on croit comprendre. Si je crois comprendre, ce doit être que, sans le savoir, j'ai interprété à l'aide d'images dépassées des raisonnements qui ne sont pleinement intelligibles qu'en termes de mathématiques avancées. Une telle science est une école de détachement. Ne vous fiez pas à vos représentations semble-t-elle nous dire constamment, elles sont toujours fausses.

Voici deux exemples du détachement auquel nous oblige la relativité restreinte.

Rien ne peut dépasser la vitesse de la lumière

Vous êtes au coin d'une rue. Un véhicule A vient vers vous du nord au sud. Un véhicule B roule de l'ouest vers l'est. Une collision est imminente. Maintenant, imaginez que ces deux véhicules ont atteint la vitesse de la lumière.

Comme la lumière réfléchi par le véhicule A devrait s'ajouter à la vitesse propre du véhicule, puisqu'elle est de même direction, vous devriez donc voir le véhicule A appliquer les freins ou tenter une manoeuvre d'évitement alors que vous ne voyez pas le véhicule B puisque sa vitesse propre ne s'ajoute pas à celle de la lumière. Vous verriez donc tout d'abord le véhicule A et plus tard le véhicule B alors que les deux conducteurs tentent de s'éviter. Tout ceci est absurde et démontre bien qu'il est impossible d'ajouter à la vitesse de la lumière.

«Le temps, en effet, c'est quoi? Allez donc fournir sur ce point une explication facile et brève! Allez, pour en dire le moindre mot, saisir la chose, ne fût-ce qu'en pensée!» [Saint-Augustin]

-----

Sous-titre: Le temps compressible

Un vaisseau spatial quitte la terre pour une étoile située à 1000 années-lumière. Le vaisseau accélère jusqu'à ce qu'au bout de cinq ans et demi (selon le temps mesuré à bord du vaisseau), il ait atteint une vitesse égale à 99.9999% de la vitesse de la lumière. Il voyage alors à cette vitesse jusqu'à destination. Combien d'années lui faudra-t-il alors pour atteindre l'étoile? Eh bien non, la réponse n'est pas à peu près 994.5 années terrestres. Il lui faudra cinq ans et demi en fait pour

atteindre l'étoile. Le voyage aura duré onze ans. Mais pendant ce temps, il se sera écoulé mille ans sur terre. Imaginons que le vaisseau spatial revienne sur terre avec les mêmes données de vitesse. Vingt-deux ans auront passé pour les voyageurs alors qu'ils se retrouveront sur terre deux mille ans après leur date de départ!

Le voyageur dans le vaisseau ne s'apercevrait nullement de la contraction du temps. Tout ce qui est rythme en lui et autour de lui, y compris le rythme cardiaque ralentirait à mesure que la vitesse s'accroîtrait. Il serait toutefois impossible de vérifier la chose dans le vaisseau même puisque la montre dont notre voyageur se servirait aurait elle-même ralenti.

Le terrien conclura évidemment que l'horloge du voyageur a retardé par rapport à la sienne, mais le plus extraordinaire, c'est que le voyageur aura la même impression; selon lui, ce sera l'horloge du terrien qui aura retardé par rapport à la sienne! On peut illustrer ces impressions par un fait courant; deux personnes, dos à dos, s'éloignent l'une de l'autre. Après quelques minutes, elles se retournent et se regardent. Chacune apparaîtra à l'autre plus petite par l'effet de la perspective. Il en est de même si une seule personne s'éloigne d'une autre qui demeure immobile. Imaginons qu'il n'y a dans l'espace que la terre et le vaisseau spatial. Le mouvement d'un des deux corps n'existe que par rapport à l'autre objet. Si on prenait comme point de référence le vaisseau, on pourrait affirmer que c'est la terre qui s'en éloigne ou, d'une façon plus générale, que les deux objets s'éloignent l'un de l'autre.

Le physicien Jean Charon pour sa part se fonde sur ce caractère relatif du mouvement pour affirmer que l'idée suivant laquelle le temps ralentit lorsqu'on approche de la vitesse de la lumière est absurde. Selon lui, le fait de voler à une telle vitesse a pour effet de réduire la distance entre la terre et l'étoile dans l'exemple ci-haut, la distance dépendant «notamment de la vitesse de l'observateur qui fait la mesure par rapport» à la terre et à l'étoile.

Le décalage a pourtant été confirmé par des expériences. Des physiciens américains ont comparé le temps d'une personne restée sur terre au temps d'une autre voyageant en avion en direction est et d'une troisième voyageant aussi en avion mais en direction ouest. L'horloge située dans l'avion allant en direction est a retardé de quelques dizaines de milliardièmes de seconde sur l'horloge au sol conformément à la théorie d'Einstein, puisque l'avion volait alors dans le même sens que la rotation de la terre. L'horloge de l'avion volant vers l'ouest avait retardé de 273 milliardièmes de seconde par rapport à l'horloge au sol.

«Il n'y a pas de temps universel, et chacun emporte avec soi son horloge, à nulle autre pareille».

Je vais te dire un grand secret  
Le temps c'est toi  
Le temps est femme Il a  
Besoin qu'on le courtise et qu'on s'asseye  
A ses pieds le temps comme une robe à défaire  
Le temps comme une chevelure sans fin  
Peignée  
Un miroir que le souffle embue et désembue  
Le temps c'est toi qui dors à l'aube où je m'éveille  
C'est toi comme un couteau traversant mon gosier  
Oh que ne puis-je dire ce tourment du temps  
Qui ne passe point [Elsa de Louis Aragon]

Einstein énonce ensuite que la vitesse de la lumière  $C$  (environ 300,000 km. ou 186,000 milles à la seconde) est une constante universelle dans tous les systèmes de référence galiléen, indépendante de tout mouvement de la source émettrice. Rien dans l'univers ne peut être connu sans l'intermédiaire d'un médium, signal lumineux ou électromagnétique. C'est ainsi que lorsqu'on observe une étoile située à cent années lumière, l'étoile apparaît telle qu'elle était il y a cent ans. L'information transmise par la lumière est parvenue jusqu'à nous après un voyage d'un siècle.

De la même façon, lorsque le peintre A fait le portrait de son ami B situé à quelques mètres de lui, il le voit non pas comme B est au moment précis où il le regarde mais tel qu'il était il y a une infime fraction de seconde, le temps requis pour que la lumière réfléchi sur l'un parvienne à la rétine de l'autre. Le "maintenant" de A n'est pas le «maintenant» de B. Il est séparé par le temps que la lumière met à franchir la distance entre A et B. Généralisons: le «maintenant» de A est distinct de celui du reste de l'univers. Il lui est propre et chaque système a son temps particulier\*.

Détour \* Mon temps n'est pas le vôtre

«Mais le temps? Il n'a pas d'existence en soi. Ce sont les choses et leur écoulement qui rendent sensibles le passé, le présent, l'avenir. A personne, il le

faut avouer, le temps ne se fait sentir indépendamment du mouvement des choses ou de leur repos».

Lucrèce, poète latin (env. 98 av. J.-C. - env. 55 av. J.-C). Livrons-nous à un exercice simple. Il consiste à éliminer par l'imagination toutes les horloges, tout ce par quoi nous mesurons le temps: le jour et la nuit, les battements du coeur, les saisons, la naissance et la mort. A la fin de cet exercice, il ne resterait plus qu'une conscience pure, enveloppée, si la chose est possible dans un corps incorruptible et habitant un lieu lui-même incorruptible. Pour cette conscience, il n'y aurait plus de temps. FIN

L'univers entier n'étant perceptible que par un signal soumis au temps, le temps fait donc partie des conditions d'existence des choses. Aux trois dimensions de l'espace, il faut ajouter une quatrième donnée: le temps.

A la place du temps et de l'espaces absolus de Newton, voici donc l'espace-temps.

S'il est facile de reproduire un univers à trois dimensions, (par exemple pour un avion, longitude, latitude et altitude) il est par contre tout à fait illusoire d'essayer de se représenter visuellement ce continuum espace-temps à quatre dimensions. Bien que chaque observateur ait son propre système temporel ou spatial, les différents systèmes n'existent pas indépendamment les uns des autres mais constituent un cadre universel d'espace-temps. Tous partagent mais chacun à sa manière le temps et l'espace du grand ensemble de l'espace-temps.

Ce ne sont là toutefois que les aspects les moins déroutants de la théorie restreinte.

Au début du XXe siècle Lorentz\* savait déjà que tout corps se contracte dans le sens de son mouvement et qu'à la limite, un corps dont la vitesse atteindrait celle de la lumière aurait une longueur égale à zéro. De tels phénomènes ne sont évidemment pas perceptibles à l'échelle de l'expérience quotidienne. La physique classique de Newton n'est contredite en fait que lorsque l'on passe à une autre échelle.

Détour: \* Lorentz

Physicien néerlandais (1853-1928), prix Nobel de physique en 1902 avec Zeeman. FIN

Comment croire que la masse d'un objet s'accroît lorsqu'il s'approche de la vitesse de la lumière et que le temps s'écoule alors plus lentement? Einstein précise même qu'aucun objet matériel ne peut voyager à la vitesse de la lumière, puisqu'il aurait alors théoriquement une masse infinie.

C'est en 1907 qu'il publia l'équation la plus connue de toute l'histoire de la science:

$$E = m c^2$$

E: l'énergie

m: la masse d'un objet

c<sup>2</sup>: la vitesse de la lumière

Cette formule établit un principe d'équivalence, un rapport entre la masse et l'énergie. Tout corps qui absorbe ou libère de l'énergie E gagne ou perd une valeur de masse égale à:

$$\frac{E}{c^2}$$

Cette loi nous révèle que toute masse recèle une effarante quantité d'énergie. Ainsi, un kilogramme de charbon converti entièrement en énergie produirait 25 milliards de kilowatts/heure d'électricité\*.

Détour: \* Trente-six milliards de kilowatts/heure équivaut à la consommation d'une ville de quatre millions d'habitants. FIN

Ce rapport entre masse et énergie a permis de comprendre une foule de phénomènes qui restaient jusqu'alors mystérieux: la radioactivité, la force nucléaire ou la combustion particulière des étoiles émettrices de lumière.

Encadré: ALBERT EINSTEIN

Allemand, naturalisé suisse puis américain  
(1879-1955)

«Moi, on m'acclame parce que tout le monde me comprend et vous on vous acclame parce que personne vous comprend!»

Charlie Chaplin à Albert Einstein alors que tous les deux, côte à côte, étaient acclamés par la foule.

Einstein dont les paradoxes font aujourd'hui partie du bon sens de la science, était lui-même un paradoxe: on se sentait bien près de lui quoiqu'il fût inaccessible. Il inspirait une admiration inversement proportionnelle à la compréhension qu'on avait de ses idées.

Lors de sa première conférence au Collège de France, le 31 mars 1922, la presse parisienne fit état de «sa belle tête», de sa «bouche sensuelle», de ses yeux dont «on dirait que l'habitude de scruter les profonds secrets de l'univers y a laissé une trace ineffable». Un tel être est pourtant devenu une vedette hollywoodienne. On lui a offert des sommes fabuleuses pour mousser la vente de produits commerciaux et ses posters se vendent aujourd'hui à côté de ceux de James Dean ou de Marilyn Monroe.

Voici le jugement d'un analyste des mythes contemporains, Roland Barthes: «A la fois mage et machine, chercheur permanent et trouveur incombé, déchaînant le meilleur et le pire, cerveau et conscience, Einstein accomplit les rêves les plus contradictoires, réconcilie mythiquement la puissance infinie de l'homme sur la nature, et la «fatalité» d'un sacré qu'il ne peut encore rejeter». FIN

Sous-titre: La relativité générale

La théorie de la relativité générale est «une des plus grandes victoires remportées par le génie humain sur la multitude chaotique de ses perceptions».

Einstein, tout en énonçant le principe suivant lequel les lois de la nature sont les mêmes dans un système de référence galiléen refusait de croire cependant que ces lois pouvaient être différentes par le simple fait que le système de référence était accéléré. C'est ainsi que pendant des années, il a cherché à généraliser sa théorie. Einstein doutait que l'équivalence de la masse d'inertie et de la masse gravitationnelle soit le simple fait d'une coïncidence de la nature comme on le supposait depuis Newton. De plus, il était devenu impossible en vertu des principes même de la relativité restreinte que la force gravitationnelle puisse s'exercer instantanément. C'est ainsi qu'il poursuivit ses réflexions.

Il est évident que si l'on ne peut distinguer le repos d'un mouvement à vitesse constante en ligne droite, l'accélération par contre ou quelque accroc à l'uniformité du mouvement est facile à percevoir. Il suffit de songer à un arrêt brusque dans un wagon de métro pour s'en convaincre !

Einstein a imaginé l'expérience d'un observateur dans un ascenseur. Si l'ascenseur tombe en chute libre, une balle lâchée par l'observateur tombera à la même vitesse que lui et que l'ascenseur suivant les lois de Newton. La balle lui apparaîtra alors immobile. Si l'observateur enfermé ignore où il est, il peut tout aussi bien penser qu'il tombe vers le sol ou encore qu'il est hors de toute influence gravitationnelle, c'est-à-dire en état d'apesanteur.

Mais, si l'ascenseur est dans l'espace et s'il est tiré par le haut avec une accélération égale à la pesanteur terrestre, une balle lâchée dans la cage tombera exactement comme si l'observateur était sur terre dans un ascenseur au repos. Les effets d'une accélération égale à la pesanteur terrestre sur un vaisseau spatial sont exactement les mêmes que si le vaisseau était soumis à la gravitation terrestre.

Ce sont ces expériences imaginaires qui ont inspiré Einstein lorsqu'il a formulé le principe d'équivalence de la gravitation et de l'inertie; il est impossible de distinguer un mouvement produit par une force d'inertie telle l'accélération, par exemple, d'un mouvement produit par une force gravitationnelle. Tout changement de vitesse ou de direction peut être décrit aussi adéquatement en terme de fluctuation du champ gravitationnel qu'en terme d'inertie. Einstein ébranlait ainsi l'idée que l'on se faisait alors de la gravitation. Elle n'est pas

distincte de l'inertie mais en est comme une composante. Einstein substitue au concept mécanique newtonien de force et d'attraction le concept de champ.

L'effet d'un corps dans l'espace serait grossièrement comparable à une petite boule de quille qui serait au centre d'un drap tendu aux quatre coins. La boule détermine alors le relief du drap qui serait déformé au milieu un peu à l'image d'un entonnoir.

Si on place un petit plomb en bordure du drap, il aura tendance à aller vers le centre, comme s'il était attiré par la plus grande masse. Mais en fait, c'est la boule elle-même qui modifie le relief comme un astre modifie, courbe, déforme l'espace. La gravitation est comme une tendance des corps célestes à emprunter les ondulations de l'espace-temps provoquées par les astres.

Einstein a précisé les relations entre la masse d'un corps et la structure du champ autour de lui. Il a de plus prévu des lois qui analysent les mouvements des corps qui empruntent les «chemins» des champs gravitationnels. Les lois de champ gravitationnel donnent des résultats comparables aux principes de Newton. Les deux systèmes, pourtant très différents décrivent la même réalité. Einstein, cependant réussit là où Newton échoue; l'explication de faits astronomiques plus subtils tel par exemple, le comportement de la planète Mercure autour du soleil. Einstein intègre Newton tout en le dépassant\*.

Détour: \* «La science est un acquêt de l'homme, la science est une échelle, un savant monte sur l'autre... Elle est série. Elle procède par épreuves superposées l'une à l'autre et dont l'obscur épaissement monte lentement au niveau du vrai». [Victor Hugo] FIN

La théorie de la relativité générale n'est pas cependant que formules mathématiques. Elle donne une image qualitative de l'espace-temps tout à fait différente de ce qu'avait imaginée Newton. Loin d'être immuable, rigide et simple réceptacle indépendant et froid d'astres et de corps indépendants dans un temps indépendant, le continuum espace-temps est plutôt plastique, malléable, constamment modifié et sujet à distorsions telle la surface d'un étang poissonneux. La structure géométrique même de l'univers, vu comme un tout, est influencée par la matière qu'il contient. Dans l'univers d'Einstein, l'espace, bien que fini, est sans borne. On pourrait le comparer à une bulle de savon. L'univers

n'est pas l'intérieur de la bulle mais sa surface, non à deux dimensions comme celle de la bulle mais à quatre. Ici, le plus court chemin entre deux points n'est pas la droite comme le postulait Euclide\*\*. Un rayon de lumière qui traverserait l'univers reviendrait à son point de départ après des centaines de milliards d'années. Cette idée d'un univers fini mais sans borne fait encore l'objet de discussions parmi les scientifiques.

Détour: \*\* Euclide

Mathématicien grec du IIIe siècle av. J.-C. FIN

Encadré: BARUCH SPINOZA (1632-1677)

«Je crois au Dieu de Spinoza, qui se révèle dans l'harmonie ordonnée de ce qui existe...». [Albert Einstein]

Il existe entre certains génies frères des affinités telles qu'on ne peut comprendre l'un sans connaître l'autre. Que sait-on par exemple de Dante si on ignore tout de Virgile? Un lien analogue unit le physicien Albert Einstein et le philosophe Baruch Spinoza. Le premier considérait le second comme «l'une des âmes les plus pures et les plus profondes qu'aient produites le peuple juif».

La pureté de Spinoza transparaît dans des raisonnements calqués sur ceux du géomètre; la profondeur, dans des coups de sonde qui tantôt, comme dans les considérations sur la connaissance du troisième genre, atteignent le niveau de la mystique, tantôt, comme dans les propos sur la nécessité, fondent une vision du monde préfigurant celle qu'imposera une science achevée.

Spinoza (1632-1677) est né à Amsterdam. Fait rare, il était - et il le demeura toute sa vie - un travailleur manuel, plus précisément un polisseur de verres de lunettes et de microscopes. Cette activité exigeant une attention parfaite n'est pas étrangère au fait que chaque pensée de Spinoza possède la luminosité, la géométrie... et la dureté du diamant. Un polisseur de verre ne peut ni tricher, ni mentir comme peut le faire tout intellectuel qui combine des notions abstraites.

Sa philosophie vaudra toutefois à Spinoza d'être chassé de la communauté juive d'Amsterdam en 1656. Mais, il aura la consolation de recevoir la visite des plus grands esprits de son temps, celle de Leibniz en particulier, lequel voyait en lui un maître.

De son vivant il ne publiera qu'une oeuvre - et encore sous un pseudonyme -, le Traité théologico-politique, paru en 1670. Dans cet ouvrage, il s'attaque à l'interprétation littérale de la Bible, suggère une étude critique de type historique des livres de l'Ancien Testament, prône la liberté de conscience et avance l'idée d'une religion qui serait au-dessus de tous les dogmes, de toutes les confessions, liée à quelques grands principes de conduite dont, avant tout, l'amour du prochain. Spinoza s'élevait ainsi au-dessus des préjugés de son époque sans tomber dans ceux de la nôtre.

C'est toutefois dans l'Éthique que son génie apparaît à la fois dans toute sa pureté et dans toute sa profondeur. L'essentiel de la pensée antique et l'essentiel de la pensée moderne se retrouvent, unifiés, dans ce livre qui devient ainsi le plus ancien des livres modernes et le plus moderne des livres anciens.

Spinoza n'admet aucune autre substance que Dieu lui-même et rejette l'idée d'un Dieu personnel qui juge, récompense et punit. Spinoza nie la liberté de l'homme et le finalisme dans l'univers. Tout dans la nature, qu'il confond avec Dieu lui-même, procède selon lui de la plus stricte nécessité. La sagesse consiste simplement à reconnaître la nécessité éternelle de cet ordre divin. La reconnaissance de cette nécessité s'opère au niveau de ce que Spinoza appelle la connaissance du troisième genre. Ne retrouve-t-on pas dans cette connaissance une forme de liberté apparentée à ce que d'autres grands philosophes ont appelé la liberté de perfection?

Le plus bel hommage rendu à Spinoza est peut-être celui de Bergson: «Tout philosophe a deux philosophies: la sienne et celle de Spinoza».

Voici quelques pensées de ce polisseur de verre:

«Il ne peut exister et on ne peut concevoir aucune autre substance que Dieu».

«...Nous n'agissons que par la volonté de Dieu, nous participons de la nature divine...».

«...L'âme et le corps sont une seule et même chose, qui est conçue tantôt sous l'attribut de la pensée, tantôt sous celui de l'étendue».

«Il n'y a point dans l'âme de volonté absolue ou libre; mais l'âme est déterminée à vouloir ceci ou cela par une cause, qui elle-même est déterminée par une autre, et celle-ci encore par une autre, et ainsi à l'infini».

«...Les hommes ne se croient libres que parce qu'ils ont conscience de leurs actions et ne l'ont pas des causes qui les déterminent...».

«Agir selon la raison, ce n'est autre chose qu'accomplir les actions qui résultent de la nécessité de notre nature considérée en elle-même».

«La béatitude n'est pas la récompense de la vertu, c'est la vertu elle-même; et ce n'est point parce que nous contenons nos appétits que nous en jouissons, c'est parce que nous en jouissons que nous sommes capables de contenir nos appétits».

«La Nature n'agit jamais pour une fin. Cet être éternel et infini que nous nommons Dieu ou Nature agit comme il existe, avec une égale nécessité. La nécessité qui le fait être est la même qui le fait agir». FIN de l'encadré

#### Sous-titre: DE L'ORIGINE DE L'UNIVERS

La théorie actuellement la plus en vogue parmi les scientifiques pour expliquer l'origine de l'univers est celle du Big Bang. Il y a à peu près quinze milliards d'années, il y aurait eu une énorme explosion d'une sorte d'oeuf cosmique infiniment petit, d'une chaleur extrême et d'une densité terrible. Il faut bien se garder de situer cet événement dans l'espace tel qu'on l'imagine aujourd'hui.

L'astrophysicien Hubert Reeves pour sa part écarte l'image de l'explosion d'un point qui se déploie ensuite dans l'espace. Il y substitue l'idée d'un univers «à la fois infini et en expansion». Reeves suggère l'image d'un mètre à mesurer métallique de longueur infinie. En le chauffant, il se dilate. L'espace serait de la même façon «infini et infiniment dilatable».

Encadré: HUBERT REEVES

Patience dans l'Azur, Poussières d'Étoiles, l'Heure de s'enivrer, voilà les principaux ouvrages de vulgarisation scientifique de l'astrophysicien québécois Hubert Reeves. En dépit de l'aridité des sujets qui y sont traités - l'évolution cosmique en passant par le nucléaire, le chimique, le biologique et l'anthropologique - les livres de Reeves ont connu un énorme succès. Patience dans l'Azur, par exemple, a été traduit en plusieurs langues dont le japonais.

Hubert Reeves est né à Montréal. Détenteur d'un doctorat en astrophysique nucléaire de l'Université Cornell aux États-Unis, il a aussi étudié à l'Université de Montréal où il a enseigné et à l'Université McGill. Ancien conseiller scientifique à la N.A.S.A., il vit en France depuis 1966 où il dirige les recherches au Centre National de Recherche Scientifique tout en demeurant rattaché au Centre d'études nucléaires de Saclay. Astrophysicien réputé, auteur de plusieurs travaux spécialisés, Reeves consacre cependant le tiers de son temps à la vulgarisation. «Je crois, dit-il que la communication du savoir est au moins aussi importante que l'avancement des connaissances: il est malsain et parfois dangereux de cultiver le secret mandarinal autour de la science». Les titres de ses ouvrages de vulgarisation, le décrivent bien. Il aime la littérature et la musique, faisant songer à ces esprits d'autrefois qui mariaient élégamment la science et l'art.

On lui demande souvent, après ses conférences, s'il y a une intention dans la Nature. Il a répondu à cette question dans Poussières d'Étoiles: «l'idée d'une intention dans la Nature vous est-elle sympathique? Si elle s'accorde à votre tempérament, vous trouverez facilement parmi les faits scientifiques tout ce qu'il faut pour la justifier. Si cette idée vous irrite, aucun motif de conviction ne surgira de ces pages. Votre vérité vous appartient. Elle est inaliénable...».

Il ajoute plus loin: «les thèmes développés au long de ce livre sont de nature à suggérer que la réalité a un «sens». L'ordre émerge du chaos initial. La vie se développe en se perfectionnant. L'être humain prend conscience de l'univers qui l'entoure et s'émerveille de son ordre et de sa beauté».

Après avoir rappelé que l'histoire humaine est cependant une «suite de guerres et de carnage», il termine ainsi; «Bien sûr, il y a aussi la tendresse humaine, la musique de Mozart et les vins de Bourgogne... S'il y a une Intention dans la Nature, quelle est son Intention?»

Reeves est revenu plus spécifiquement à la question du sens dans l'Heure de s'enivrer publié en 1986. Il est d'avis que le sens dans l'univers n'est pas donné;

«L'univers engendre la complexité. La complexité engendre l'efficacité. L'efficacité n'engendre pas nécessairement le sens. Elle peut aussi engendrer le non-sens... Il revient à l'être humain de donner un sens à la réalité».

Il conclut l'ouvrage par des mots qu'il convient de rappeler; «Plus on comprend l'univers, plus il nous apparaît vide de sens, écrit dans Les Trois Premières Minutes le physicien Stephen Weinberg. Je le mets au défi de répéter ces mots en écoutant comme je le fais en ce moment les Noces de Figaro de Mozart... Il est difficile d'imaginer qu'il y a trois siècles à peine les oeuvres de Bach, de Hayon, de Schubert, les tableaux de Turner, de Monet et de Van Gogh n'existaient pas. Il faudrait célébrer leur apparition comme autant de révélations des merveilleuses potentialités de la matière primordiale. Grâce au labeur des artistes, la réalité acquiert de nouvelles dimensions, l'univers gagne en splendeur et en richesse. Des voies nouvelles s'ouvrent pour transformer les moments de notre existence en instants d'exultation».

«Sur un poster, Baudelaire me regarde. Dans ses yeux douloureux, je lis un message; celui du Spleen de Paris: «Si quelquefois, sur les marches d'un palais, sur l'herbe verte d'un fossé, dans la solitude morne de votre chambre, vous vous réveillez, l'ivresse déjà diminuée ou disparue, demandez au vent, à la vague, à l'oiseau, à l'horloge, à tout ce qui fuit, à tout ce qui gémit, à tout ce qui roule, à tout ce qui chante, à tout ce qui parle, demandez quelle heure il est; et le vent, la vague, l'étoile, l'oiseau, l'horloge vous répondront: «Il est l'heure de s'enivrer!» Pour n'être pas les esclaves martyrisés du Temps; enivrez-vous sans cesse! «Mais de quoi? De vin, de poésie ou de vertu à votre guise. Mais enivrez-vous!»  
FIN

La dilatation ne se produit pas dans un espace qui la comprend. C'est la géométrie même de l'univers englobant à la fois la matière, l'énergie et aussi l'espace qui, - concentrée en un petit point, s'étend depuis. C'est ainsi que la distance entre deux points dans l'univers s'accroît au fil du temps. Einstein, dans la formulation originale de sa relativité générale en 1915, avait prévu un univers dynamique, non statique mais réfractaire à l'idée d'expansion qui apparaissait contraire aux observations de l'époque; il avait introduit dans ses formules une «constante cosmologique» pour maintenir le concept d'un univers statique.

Sous-titre: De l'infiniment court

La science actuelle décrit les événements survenus 10-43 seconde après le Big Bang.

«Le flash d'un appareil photographique occupe plus de temps dans les 15 milliards d'années de l'Univers que 10-43 seconde occupe dans une seconde!»

L'univers aurait eu alors un diamètre de 10-28 cm. Il aurait donc été un million de milliards de fois plus petit que le diamètre d'un atome d'hydrogène. Et d'une chaleur, d'une densité qui défient l'imagination.

L'astronome américain Hubble constata vers la fin des années 1920 que les galaxies s'éloignaient les une des autres à une vitesse proportionnelle aux distances qui les séparent. En inversant le mouvement pendant une durée égale à l'âge de l'univers, les galaxies se fondraient en un seul point. D'où l'idée de l'explosion initiale. Des calculs récents confirment l'hypothèse de Hubble.

Encadré: EDWIN HUBBLE (1889-1953)

«L'art de plaider fait partie des armes des chercheurs».

Le métier d'avocat, dit-on, mène à tout mais le cas d'Edwin Hubble est tout de même plutôt singulier puisqu'il fait partie de cette très restreinte communauté d'avocats devenus astronomes! Après avoir pratiqué le droit, il s'est voué à l'astronomie et c'est ainsi qu'à l'observatoire du Mont Wilson aux États-Unis, après avoir établi la preuve que l'univers est composé d'un grand nombre de galaxies, il a confirmé l'hypothèse de l'expansion de l'univers en constatant que les galaxies s'éloignent les unes des autres.

Un article publié en 1986 dans la revue Nature analyse la stratégie utilisée par Hubble pour faire valoir le bien-fondé de ses découvertes auprès des scientifiques de son temps. L'auteur, Norriss Hetherington soutient que Hubble a tiré partie de son expérience d'avocat pour plaider sa cause auprès de ses pairs. Et si Copernic avait été avocat!... FIN

En 1931, Lemaître\* avait émis l'idée d'un univers commençant sous la forme d'un point concentré d'une température et d'une densité inouïes à un moment zéro. Lemaître avait décrit le tout au moyen de termes comme atome primitif

ou grand bruit au lieu d'explosion mais Hoyle\*\* baptisa l'événement Big Bang par dérision et depuis l'expression s'est imposée.

Détour: \* Astronome et mathématicien belge (1894-1966). FIN

Détour: \*\* Astronome et mathématicien britannique né en 1915. FIN

Encadré: EXPLOSION OU ÉCLOSION?

Comment faut-il interpréter le fait qu'une métaphore suggérant l'image d'une explosion soit devenue le maître-mot de la vision du monde qui nous est proposée par la science contemporaine? On peut certes trouver la chose anodine et y voir une façon pour les savants de faire participer le grand public à leur vie de tous les jours. On peut aussi s'attrister de ce que la seule vision du monde que notre époque ait à proposer rappelle les explosions de Hiroshima et Nagasaki. Puisqu'on avait le choix des métaphores; pourquoi n'a-t-on pas choisi celle de l'éclosion plutôt que celle de l'explosion? L'idée d'éclosion n'est pas incompatible avec l'idée de violence qui aurait marqué l'origine de l'univers.

Peut-être les astrophysiciens se sont-ils identifiés à l'image du Big-Bang comme Manet, Monet et leurs amis sont identifiés à l'étiquette d'impressionnistes.

...«Ils ont alors ramassé comme un drapeau la qualification d'impressionnistes qu'on leur avait donnée. Impressionnistes on les a nommés pour les plaisanter, impressionnistes ils sont restés par crânerie». FIN

En 1965, le professeur Dicke de l'Université de Princeton aux États-Unis émit l'idée qu'un rayonnement résiduel de cet oeuf cosmique à l'énergie fabuleuse devrait être encore perceptible de nos jours. Gamow\* avait précédemment fait la même hypothèse mais ses travaux n'avaient trouvé alors que peu d'écho.

Détour: \* Physicien américain d'origine russe (1904-1968). FIN

Les physiciens Penzias (né en 1933) et Wilson (né en 1936) ont découvert ce rayonnement de trois degrés absolus et d'une longueur d'onde de sept centimètres (micro-ondes) présent dans tout l'univers, ce qui leur a valu le Prix Nobel de Physique en 1978. Le rayonnement de fond du ciel demeure l'un des

arguments les plus forts en faveur de la théorie du Big Bang. Il est impossible d'expliquer ce rayonnement dans le cadre des autres théories.

Le Big Bang suppose l'idée que l'univers est en expansion, engagé dans un processus dynamique et non statique. Il semble que cette expansion n'ait pas été régulière depuis l'origine mais qu'une inflation foudroyante, ne dépassant pas une fraction de seconde se soit produite dans les premiers instants de l'histoire cosmique.

Il est cependant plus difficile de prédire l'avenir de l'univers que de reconstituer son passé. L'avenir de l'univers dépend de sa densité. Hubble a constaté l'éloignement des galaxies. Einstein a d'autre part établi que toute forme d'énergie, toute masse, en courbant l'espace créait un champ gravitationnel. L'avenir de l'univers dépend de ce rapport entre la force d'expansion des galaxies subséquente au Big Bang et l'attraction gravitationnelle qu'elles exercent les unes sur les autres. Si la quantité de matière dans l'univers atteint un certain seuil, la force gravitationnelle aura le dessus sur l'expansion. La dilatation observée actuellement s'arrêtera donc et une contraction jusqu'au point initial lui succèdera. Ce serait un univers fermé. A l'inverse, la dilatation se poursuivrait. On serait en présence d'un univers ouvert. Dans le cas où la vitesse d'expansion égalerait la vitesse d'échappement\*, les galaxies ralentiraient jusqu'à tendre vers une vitesse nulle mais sans revenir en arrière.

Détour: \* Vitesse d'échappement

Pour qu'une fusée puisse s'échapper de la force gravitationnelle terrestre, sa vitesse initiale doit être d'au moins 11 km par seconde. C'est ce qu'on appelle la vitesse d'échappement. Sur la lune par exemple où la force gravitationnelle est moindre, la vitesse d'échappement est de 2 km par seconde. FIN

La question n'est pas définitivement tranchée bien qu'il soit plus probable que l'univers soit ouvert. Il semble que la vitesse d'expansion des galaxies soit légèrement supérieure à la vitesse d'échappement. La géométrie de l'univers confirme la probabilité d'un univers ouvert. Dans un tel cas, la courbure de l'espace-temps serait négative un peu à l'image d'une selle de cheval. Dans le cas contraire, la courbure serait positive, à l'image d'une sphère. Or, la géométrie actuelle de l'univers est presque plane, peut-être légèrement négative.

Sous-titre: Mais avant le Big Bang?

L'esprit s'embrouille dans cette vertigineuse question de l'origine. Il hésite entre quelques grandes hypothèses.

La première: l'univers existe de tout temps. «De toute éternité, le Cosmos est et il est en lui-même. C'est «l'en-soi» fondamental... Le Cosmos est une véritable chose en soi. Il est la Chose». Le Big Bang serait alors un mouvement d'une oscillation sans commencement ni fin du cosmos qui s'étend puis se contracte.

C'est une solution élégante mais qui relègue la question de l'origine à l'infini, sans plus.

Encadré: LE COSMOS DE TOUTE ÉTERNITÉ?

Nous allons emprunter à la géométrie l'image d'une hyperbole et de ses deux asymptotes. L'asymptote est une droite qui s'approche d'une courbe à l'infini mais sans jamais la rencontrer. Maintenant imaginons un point mobile à vitesse constante qui parcourt l'hyperbole vers l'asymptote de droite, il arrivera sur la droite au bout d'un temps infini c'est-à-dire jamais. Il ne s'est jamais non plus trouvé sur l'asymptote de gauche pour la même raison.

Voici un événement qui ne s'est jamais produit puisqu'il remonte à un temps infini. Est-il donc possible qu'un événement réel remonte à un temps infini?

Le philosophe grec Chrysippe (v. 281 av. J.-C. - v. 205 av. J.-C.) aboutissait au même résultat en se fondant sur la logique. Toute énonciation est vraie ou fausse.

Si un événement se produisait sans cause, il serait impossible d'affirmer quoi que ce soit au sujet de cet événement. On ne pourrait dire ni qu'il arrivera, ni qu'il n'arrivera pas et les deux énonciations ne seraient alors ni vraies ni fausses.

«Or il est nécessaire qu'une affirmation soit ou vraie ou fausse. Donc, tout événement a une cause...». FIN

Selon une autre hypothèse, l'univers aurait commencé à un temps zéro. La science actuelle s'arrête pour le moment à  $10^{-43}$  seconde après l'éclosion originale. Certains pensent que le développement de la physique pourra permettre de franchir l'obstacle. C'est ici qu'entrerait en jeu l'unification des quatre forces dont nous avons parlé précédemment. Les physiciens estiment qu'il est possible qu'à  $10^{-43}$  seconde après le début de l'univers, les quatre forces n'en aient fait qu'une seule.

Qu'y trouverons-nous? Un vide en fluctuation ou empreint de particules virtuelles? Pour l'instant, tout n'est qu'hypothèse. Mais d'où viendrait la particule virtuelle? Quelle serait l'origine du vide en fluctuation? La matière surgirait-elle du vide s'il y avait une grande quantité d'énergie?

Stephen Hawking\* est d'avis que la question de l'origine est vide de sens. Dans une synthèse de la mécanique quantique et de la relativité générale, il propose l'idée que l'espace et le temps ensemble forment un espace quadridimensionnel fini mais sans limite un peu à l'image de la surface de la terre. Ainsi, l'univers commencerait au Pôle Nord, d'un point unique dont émergerait à la fois l'espace et le temps. Il s'étendrait pour atteindre sa grandeur limite à l'Equateur et se contracterait par la suite jusqu'à la collision finale représentée par le Pôle Sud. Ici l'univers se contient lui-même et le temps, telle la surface d'un globe qui n'a pas de limite, n'a ni commencement ni fin.

Détour: \* Stephen Hawking

Mathématicien et physicien britannique né en 1942, titulaire de la chaire qu'a détenue jadis Newton à Cambridge, il est considéré comme le plus brillant physicien théoricien depuis Einstein. FIN

«Face à la question ultime - qu'y avait-il avant l'explosion initiale -, la plupart des scientifiques modernes restent muets», comme le révélait en 1976 une enquête effectuée par le magazine Time auprès des astronomes les plus réputés des États-Unis. Indépendamment du Big Bang lui-même qu'une découverte ultérieure pourrait nous obliger à écarter comme moment initial du monde, les problèmes de l'origine et de la contingence\* sont souvent, ou bien niés par les scientifiques, considérés par eux, comme des questions vides de sens ou relégués à la métaphysique. N'est-ce pas le moment d'appliquer la maxime de Leibniz: commencé en philosophe, finir en théologien. La raison n'interdit pas de poser

la cause et le fondement en dehors de nos trois dimensions et de supposer l'origine de la totalité en un Dieu créateur, «fondement des fondements».

Détour: \* La contingence

La contingence peut se résumer par cette question; pourquoi y a-t-il quelque chose et non pas rien? FIN

Encadré: LE GRAND ENSEMBLE DE L'UNIVERS

L'univers forme un ensemble aux dimensions vertigineuses.

- 1- Galaxie
- 2- Groupe de galaxies
- 3- Amas de galaxies
- 4- Super amas de galaxies

1- Galaxie: groupement de 100 à 1000 milliards d'étoiles, de poussières et de gaz interstellaires liées par la gravité. Dimension de quelques dizaines de milliers d'années-lumière.

Les Galaxies

A même la nuit où point la passion des astres,  
le poème spacieux dans son mouvement laudateur;  
gravité des étoiles écartées du destin du sang,  
mal-aimées recluses aux étages lactés,  
tardives floraisons de vos morts millénaires  
et vos mains d'amantes écaillées sur nos neiges.

Nébuleuses tournant la spirale de leur sceptre  
plus lentement que la quenouille à sa laine vague;  
solitude du règne par le vœu du feu  
et nulle galaxie n'aborde son attrait embrasé,  
plus magnifiée la pinède accostée des couleurs de l'oiseau !  
Vastitude invisible à force de fuites rayonnantes,

une seule mort animale fissure plus la nuit  
que vos plaies de métal et vos deuils de soleils.

2- Groupe: comprend à peu près de 10 à 20 galaxies. Dimension moyenne de 13 millions d'années-lumière.

3- Amas: contient quelques milliers de galaxies liées ensemble par la gravité. Dimension moyenne de 33 millions d'années-lumière.

4- Super amas: contient cinq à six amas de galaxies. Dimension d'à peu près 200 millions d'années-lumière. Épouse la forme d'une crêpe. Les amas qui le composent sont séparés entre eux par de grands vides de dimension de l'ordre d'un super amas. Les super amas sont séparés eux-mêmes par des distances de centaines de millions d'années-lumière.

Cet ensemble n'occupe que 10% du volume de l'univers. Le vide règne dans l'univers. FIN

TITRE: Force nucléaire et électromagnétique

«On se croit naturellement bien plus capable d'arriver au centre des choses que d'embrasser leur circonférence. L'étendue visible du monde nous surpasse visiblement; mais comme c'est nous qui surpassons les petites choses, nous nous croyons plus capables de les posséder, et cependant il ne faut pas moins de capacité pour aller jusqu'au néant que jusqu'au tout; il la faut infinie pour l'un et l'autre...».

Toute la matière est composée de molécules et la molécule elle-même est constituée d'atomes\*. On en connaît maintenant une centaine dont la combinaison est régie par les mêmes lois dans tout l'univers. La molécule d'eau par exemple, très simple, est constituée de deux atomes d'hydrogène et d'un atome d'oxygène. L'atome lui-même est formé de particules plus élémentaires appelés électrons, protons et neutrons. L'électron est de taille si petite qu'on a dit qu'il est à un grain de poussière ce que le grain de poussière est à la Terre toute entière!

Détour: \* Les atomes crochus

«Enfin, les corps que nous voyons durs et massifs, doivent leur cohésion à des atomes plus crochus, plus intimement liés et entrelacés en ramifications complexes. De ce genre sont, en première ligne, le diamant qui brave les coups, les blocs de pierre dure, le fer rigide, et l'airain qui crie aux gonds de nos portes».

C'est aux philosophes atomistes grecs de l'Antiquité parmi lesquels Démocrite (env. 460 av. J.-C. - env. 370 av. J.-C. ) et Epicure (env. 341 av. J.-C. - env. 270 av. J.-C.) dont la doctrine a été propagée dans l'Empire romain par Lucrèce (env. 98 av. J.-C. - env. 55 av. J.-C.) que l'on doit l'expression "avoir des atomes crochus. FIN

Le noyau d'un atome est constitué de protons et de neutrons lesquels sont appelés nucléons. Le noyau, qui représente la plus grande partie de la masse d'un atome, bien qu'il soit infiniment petit, occupe le même volume relatif dans l'atome qu'une mouche dans un stade.

Le nombre de protons, qui détermine la nature chimique de chaque élément, est indiqué par le numéro atomique. Ainsi, le numéro atomique 13, celui de l'aluminium révèle qu'un atome d'aluminium a un noyau de 13 protons autour duquel circulent 13 électrons. Il existe un tableau périodique des éléments qui est le répertoire des éléments découverts.

L'atome est un système de particules chargées électriquement. Alors que le proton a une charge positive, l'électron est chargé négativement.

L'électron accomplit autour du noyau un mouvement rapide circulaire. Dans notre exemple du Stade, le noyau serait au centre du terrain et l'électron en mouvement dans tout le reste de l'espace. L'atome est surtout fait de vide.

Encadré: LA MATIERE

Tout ce qui est solide, occupe un certain espace, est incapable de pensée ou de conscience et s'oppose à l'esprit, voilà les caractéristiques de la matière selon le sens commun. La science moderne propose une autre image; la matière est surtout vide et énergie.

«Une chambre où seuls flottent dans l'air quelques grains de poussière est un lieu encombré si on la compare au vide que je nomme chaise et sur quoi je repose». C'est parce que les électrons qui constituent l'enveloppe externe des atomes se repoussent puisque de même charge électrique (négative) qu'une chaise nous soutient lorsqu'on s'y assoit. Ici, entre autres intervient la force électromagnétique.

En philosophie, la conception aristotélicienne, tout en reconnaissant à la matière la signification dégagée par le sens commun, établit une distinction entre la matière et la forme. «La matière est le substrat qui reçoit la forme et dont toute la réalité consiste en son aptitude à recevoir la forme; c'est l'être en puissance, qui tend à devenir l'être achevé. La forme, c'est la détermination qui se réalise dans la matière et qui constitue l'être en acte».

La matière en soi, indépendamment de la forme, est indéterminée et bien qu'indispensable n'est pas la cause première. La matière serait «seulement une condition sans laquelle la véritable cause ne pourrait pas s'exercer. En fait, ceux qui étudient la matière n'ont jamais en vue la simple matière, mais bien toujours la forme, dans sa totalité, en tant qu'elle produit cette unité des parties matérielles qui constituent justement la réalité».

Selon Aristote, c'est la forme et non la matière qui est le principe d'unité. La forme fait la synthèse des parties matérielles et c'est elle qui constitue le réel comme objet de la science. «La forme de la sphère d'airain, qui est la forme sphérique, ne naît point lorsqu'on fabrique la sphère d'airain; ce qui naît, c'est l'union de la forme sphérique et de l'airain. La naissance ou devenir consiste ainsi dans l'union d'une forme avec un être capable de la recevoir; cet être en puissance, devenu être en acte après avoir reçu la forme, est proprement ce qu'Aristote appelle matière. La matière est l'ensemble des conditions qui doivent être réalisées pour que la forme puisse apparaître...». FIN

Le neutron, de charge électrique nulle, a une masse presque identique à celle du proton alors que la masse de l'électron pour sa part est très petite. L'électron est environ 1840 fois plus léger que le proton. Des forces électriques puissantes maintiennent les électrons autour du noyau. Chaque atome étant électriquement neutre en principe, le nombre de protons est égal au nombre d'électrons. Le noyau ne peut maintenir sa cohésion sans qu'une force assure la liaison des nucléons qui le composent. C'est la force nucléaire forte laquelle n'a aucune

influence sur les électrons. Cette force maintient ensemble les nucléons (protons et neutrons) lorsqu'ils sont près les uns des autres\*. Elle n'a aucune influence sur les électrons.

Détour: \* La fission nucléaire

La force nucléaire forte est si considérable que la fission d'un noyau dégage beaucoup d'énergie. C'est le principe du réacteur nucléaire ou... de la bombe atomique. C'est en 1934 que le physicien italien Enrico Fermi (1901-1954) réalisa la première fission nucléaire de l'uranium en projetant à grande vitesse des neutrons sur les noyaux. Puisqu'il est de charge électrique nulle, le neutron peut s'approcher du noyau sans être repoussé et l'uranium avait été choisi parce qu'il était alors l'élément connu au noyau le plus lourd et à la charge électrique la plus forte. Quelques années plus tard, on constata qu'en raison du grand nombre de nucléons au sein du noyau d'uranium, de puissantes forces électriques de repoussement rendaient le noyau instable et qu'ainsi la fission pouvait se produire par l'impact d'un seul neutron.

Le noyau d'uranium bombardé se scinde alors en deux, dégageant des neutrons qui provoquent la fission de noyaux d'uranium voisins, créant ainsi une réaction en chaîne. FIN

Les nucléons ne sont pas en fait les particules élémentaires. Ils sont eux-mêmes composés de quarks, particules encore plus petites dont les premières descriptions datent de 1964. Il s'agit là des particules réellement fondamentales mais il est possible que les chercheurs trouvent une structure encore plus intime, nous entraînant comme dans une régression infinie...

Encadré: DU PETIT ET DE LA COMPASSION

De l'exemple familial des fourmis, le philosophe français Denis Diderot (1713-1784) tire une profonde réflexion sur les conséquences d'une pensée qui s'éloigne du réel. Ce texte écrit en 1749 préfigure sombrement l'abstraction terrible des tueries militaires du XXe siècle.

«Nous-mêmes, ne cessons-nous pas de compatir lorsque la distance ou la petitesse des objets produit le même effet sur nous que la privation de la vue sur les aveugles?

Tant nos vertus dépendent de notre manière de sentir et du degré auquel les choses extérieures nous affectent! Aussi je ne doute point que, sans la crainte du châtement, bien des gens n'eussent moins de peine à tuer un homme à une distance où ils ne le verraient gros que comme une hirondelle, qu'à égorger un boeuf de leurs mains. Si nous avons de la compassion pour un cheval qui souffre, et si nous écrasons une fourmi sans aucun scrupule, n'est-ce pas le même principe qui nous détermine?» FIN

Bien que d'une manière idéalisée, la particule élémentaire soit souvent représentée comme une planète tournant autour de son soleil, la nature même de la particule et son mouvement sont infiniment plus complexes. Nous verrons les grandes lignes de l'évolution de notre connaissance de l'infiniment petit.

L'an 1900 marque un moment important dans le développement de la mécanique quantique. Jusqu'à cette époque, la plupart des savants considéraient la lumière comme un phénomène ondulatoire tel que semblaient le révéler la diffraction et l'interférence\*.

Détour: \* Diffraction et interférence

Une vague qui frappe un mur dans lequel une ouverture a été pratiquée ne poursuit pas sa voie en ligne droite mais diverge et se propage dans toutes les directions tout comme la mer se tord et se brouille en passant par la bouche étroite d'un port. Il y a diffraction de l'onde. Le même phénomène est observé lorsqu'un jet de lumière traverse une petite ouverture. La lumière projetée sur un écran est striée et apparaît comme un ensemble de bandes non uniforme.

Imaginons maintenant deux vagues dont les crêtes coïncident dans une piscine. Le niveau de l'eau sera alors élevé. Si une crête rencontre un creux, le niveau de l'eau sera moins élevé que dans le cas précédent et il le sera encore moins lors de la rencontre de deux creux. Ce phénomène porte le nom d'interférence; un jet lumineux passe au travers d'un obstacle percé de deux fentes rapprochées et est ensuite projeté sur un écran. On observe alors sur l'écran des raies

lumineuses plus ou moins intenses selon que les amplitudes des ondes se sont additionnées ou soustraites. FIN

D'autre part, beaucoup de chercheurs au début du siècle cherchaient à expliquer le détail de la réaction d'un métal chauffé à blanc. Un métal chauffé émet tout d'abord des ondes infrarouges invisibles puis devient rouge, orange, jaune et blanc à mesure que la température s'accroît. Il s'agissait donc de trouver le rapport entre les raies spectrales et l'énergie rayonnante du métal. C'est en 1900 que le physicien allemand Max Planck trouva la solution mathématique de ce problème; l'émission de l'énergie par le corps n'est pas continue mais procède par sauts, comme par multiples entiers d'une valeur élémentaire qu'il a appelée quantum. C'est le saut quantique. Planck a précisé la somme d'énergie du quantum par la formule

$$E = hv$$

v: la fréquence oscillatoire (de la radiation en quelque sorte).

h: un nombre fixe, une constante qui porte son nom.

La formule démontre que le rapport entre l'énergie et la fréquence est constant pour tout saut quantique.

Encadré: MAX PLANCK (1858-1947)

Prix Nobel de Physique 1918. Lorsque parut en 1905, dans les Annalen der Physik l'article d'Einstein sur la relativité restreinte, Planck fut le premier parmi les savants à en saisir l'importance et à en faire l'éloge. Non seulement était-il un penseur audacieux mais il était un homme courageux. Pendant la Seconde Guerre Mondiale, même sous domination des nazis, Planck n'a jamais cessé de rendre hommage au génie de Einstein, de race juive, à tel point que Hitler irrité lui avait dit un jour qu'il l'aurait expédié dans un camp s'il n'avait été si vieux.

Mais l'admiration de Planck pour Einstein était réciproque. A l'occasion des cérémonies officielles pour souligner le soixantième anniversaire de Plank en 1918, Einstein s'exprimait ainsi: «la tâche suprême du physicien est d'arriver à des lois élémentaires universelles telles que le cosmos puisse être construit à

partir d'elles par pure déduction. Aucune voie logique ne conduit à ces lois; mais la seule intuition, qui repose sur une intelligence compréhensive... Le désir de percevoir l'harmonie (cosmique) est à l'origine de la patience et de la persévérance inépuisables avec lesquelles Planck s'est consacré... aux problèmes les plus généraux de notre science... L'état d'esprit qui permet de faire une oeuvre de ce genre est analogue à celui du fidèle d'une religion, ou d'un amoureux; l'effort quotidien ne sort pas d'une intention ou d'un programme délibéré, mais vient tout droit du coeur». FIN

La communauté scientifique et Planck lui-même étaient plutôt réservés face à cette découverte dont les conclusions allaient à l'encontre de la théorie selon laquelle le rayonnement avait un caractère continu. Einstein en saisit toutefois l'intérêt et eut l'audace d'en étendre les conclusions à la lumière elle-même, soutenant qu'elle est formée de particules d'énergie qu'il appela photons.

Einstein parvint ainsi à expliquer l'effet photoélectrique, un phénomène auquel se butaient les physiciens de l'époque. Ceux-ci savaient que des électrons sont éjectés de la surface d'une plaque si elle est frappée par un rayon de lumière. Lorsque la lumière est de haute fréquence (violette, ultra-violette par exemple), l'énergie des électrons éjectés est très grande (c'est-à-dire que leur vitesse d'éjection est plus rapide) que lorsque la lumière est de fréquence plus basse (jaune par exemple). On savait également que la vitesse d'éjection des électrons ne dépend aucunement de l'intensité de la lumière. Une source lumineuse plus éloignée de la plaque diminue le nombre d'électrons éjectés mais n'a aucune incidence sur leur vitesse. Le caractère ondulatoire de la lumière était incompatible avec le résultat de ces expériences. Si l'on supposait par contre que la lumière est constituée de particules, l'effet photoélectrique devenait facile à comprendre.

Ainsi, si l'on augmente la fréquence de la lumière, les photons ont une énergie plus grande de telle sorte que le choc avec l'électron a pour effet d'accroître sa vitesse d'éjection. Une lumière de faible intensité, émettant moins de photons n'a pour effet, la vitesse d'éjection restant la même, que de réduire le nombre de chocs avec des électrons. En dépit d'expériences qui ne s'expliquaient que par le caractère continu du rayonnement telles la diffraction et l'interférence, Einstein concluait que la lumière est constituée de photons. C'est en particulier pour cette théorie de l'effet photo-électrique qu'il reçut le Prix Nobel de Physique en 1921. Cette idée d'un double caractère de la lumière, corpusculaire

et ondulatoire est toujours valide encore et s'applique d'ailleurs à tous les autres types de rayonnement électromagnétique comme les ondes radio, les rayons infrarouges, les microondes et les rayons X par exemple. En 1924, le physicien français Louis de Broglie (1892-1987) émit l'hypothèse que les électrons et les autres particules de matière pourraient être imaginés comme des particules associées à des ondes. L'image du rayonnement était étendue à la matière. Cette audace de De Broglie contredisait l'idée que l'on se faisait alors de la matière. L'atome était conçu comme un système solaire en miniature, doté d'un noyau central autour duquel gravitent des électrons sphériques liés par la force électrique plutôt que gravitationnelle et considérés comme les plus petites particules de l'univers.

### Encadré: ÉLECTRONS PLANÉTAIRES ET PLANETES ÉLECTRONIQUES

Imaginez une hiérarchie d'innombrables univers dans laquelle notre propre univers ne serait qu'une particule élémentaire d'un univers plus grand ou imaginez encore qu'une de nos particules élémentaires soit à elle seule un univers et ainsi à l'infini! Mais attention! Il n'y a pas un seul iota de preuve à l'appui de cette spéculation même si elle paraît logique.

Aux yeux de l'astronome américain Carl Sagan cependant, elle est «la seule idée religieuse qui surpasse l'infinité d'univers cycliques extrêmement anciens de la cosmologie hindoue».

Voici deux textes distants de trois siècles qui proposent cette idée fascinante.

«Mais pour lui présenter un autre prodige aussi étonnant, qu'il (l'homme) recherche dans ce qu'il connaît les choses les plus délicates. Qu'un ciron lui offre dans la petitesse de son corps des parties incomparablement plus petites, des jambes avec des jointures, des veines dans ces jambes, du sang dans ces veines, des humeurs dans ce sang, des gouttes dans ces humeurs, des vapeurs dans ces gouttes; que, divisant encore ces dernières choses, il épuise ses forces en ces conceptions, et que le dernier objet où il peut arriver soit maintenant celui de notre discours; il pensera peut-être que c'est là l'extrême petitesse de la nature. Je veux lui faire voir là-dedans un abîme nouveau. Je lui veux peindre non seulement l'univers visible, mais l'immensité qu'on peut concevoir de la nature, dans l'enceinte de ce raccourci d'atome. Qu'il y voie une immensité d'univers, dont chacun a son firmament, ses planètes, sa terre, en la même proportion que le monde visible; dans cette terre, des animaux et enfin des cirons, dans lesquels

il retrouvera ce que les premiers ont donné; et trouvant encore dans les autres la même chose sans fin et sans repos, qu'il se perde dans ces merveilles, aussi étonnantes dans leur petitesse que les autres par leur étendue; car qui n'admira que notre corps, qui tantôt n'était pas perceptible dans l'univers, imperceptible lui-même dans le sein du tout, soit à présent un colosse, un monde, ou plutôt un tout, à l'égard du néant où l'on ne peut arriver?» [Blaise Pascal]

«N'était-il pas permis de penser que certaines planètes du système solaire atomique, - de ces armées et de ces voies lactées de systèmes solaires qui composaient la matière, - que l'un ou l'autre de ces corps célestes intraterrestres se trouvaient dans un état pareil à celui qui faisait de la terre un siège de vie? Pour un jeune adepte un peu obnubilé qui ne manquait plus tout à fait d'expérience dans le domaine des choses interdites, une telle spéculation n'était non seulement pas extravagante, mais encore séduisante au point de s'imposer avec toute l'apparence logique de la vérité... Dans sa hardiesse rêveuse, un savant n'était-il pas allé jusqu'à parler «d'animaux de la voie lactée», de monstres cosmiques, dont la chair, les os et le cerveau se composaient de systèmes solaires?» [Thomas Mann (1875-1955)] FIN

Le physicien autrichien Schrödinger (1887-1961) élargissait la portée de l'idée de De Broglie en attribuant un caractère spécifiquement ondulatoire à l'électron dans un formalisme mathématique cohérent. Les physiciens américains Davisson (1888-1958) et Germer (1896-1971) ont observé pour leur part en 1925 un phénomène de diffraction en dirigeant un faisceau d'électrons sur un cristal et constaté que la longueur d'onde de l'électron est en rapport avec la formule mise au point par De Broglie. En fait, la loi de De Broglie s'applique tant aux atomes qu'aux molécules ou aux corpuscules nucléaires. La matière, tout comme la lumière se révélait donc comme un phénomène à la fois ondulatoire et corpusculaire.

Sous-titre: Le principe d'incertitude

Il faut pour observer un électron le bombarder de photons. Si un tel bombardement ne prête guère à conséquence pour un objet de dimension courante tel un avion par exemple, lorsqu'il s'agit d'en connaître la vitesse et la direction, il en va tout autrement pour un électron. Les photons dans ce dernier cas vont frapper l'électron et modifier son état de telle sorte qu'il sera

impossible de connaître simultanément sa position et sa vitesse. La précision de nos appareils d'observation n'est pas en cause, l'impossibilité découle de la dimension même des choses. Ce principe d'incertitude ou d'indétermination a été énoncé par le physicien allemand Heisenberg (1901-1976). Dans sa formulation mathématique, Heisenberg démontre que si l'on fait le produit de la marge d'incertitude dans la mesure de la position et de celle de la mesure de quantité de mouvement, on obtient toujours une valeur d'un ordre de grandeur au moins égal à la constante de Planck, indice de cohérence du modèle. Il importe de souligner que ce principe ne s'applique qu'à l'échelle atomique.

Encadré: WERNER HEISENBERG

Physicien allemand, (1901-1976) Prix Nobel de physique en 1933.

Ce grand physicien était aussi un philosophe. Voici quelques unes de ses pensées:

«Aujourd'hui nous vivons dans un monde si totalement transformé par lui (l'homme) que nous rencontrons partout les structures dont il est l'auteur: emploi des instruments de la vie quotidienne, préparation de la nourriture par les machines, transformation du paysage par l'homme; de sorte que l'homme ne rencontre plus que lui-même. Sans doute existe-t-il des parties de la terre où ce processus est loin d'être achevé; mais tôt ou tard la domination de l'homme doit être totale».

«Pour les sciences de la nature également, le sujet de la recherche n'est plus donc la nature en soi, mais la nature livrée à l'interrogation humaine et dans cette mesure l'homme, de nouveau, ne rencontre ici que lui-même».

«En ce qui concerne les résultats définitifs, il faut rappeler que, dans la sphère de la science exacte de la nature, il n'y a jamais eu de solutions définitives que dans certains domaines d'expériences limités... Le terme «définitif», appliqué aux sciences exactes de la nature signifie donc évidemment qu'il existe toujours des systèmes de concepts et de lois qui forment une totalité close et sont mathématiquement formulables; ils valent pour certains domaines de l'expérience, pour ces domaines ils ont une validité universelle, et ne sont susceptibles ni de transformations, ni d'amélioration. On ne peut naturellement pas espérer que ces concepts et ces lois soient aptes à représenter par la suite de nouveaux domaines de l'expérience...

Cet état de choses rend également impossible de fonder sur la connaissance scientifique des professions de foi destinées à influencer le comportement dans la vie. Car leur motivation ne pourrait se trouver que dans des connaissances scientifiques définitives et celles-ci ne peuvent s'appliquer qu'à des domaines limités de l'expérience. Les professions de foi exprimées de notre temps, qui commencent souvent en affirmant qu'il ne s'agit pas ici de foi mais d'un savoir fondé sur la science, contiennent donc une contradiction interne qui repose sur une auto-illusion».

«Par cet accroissement apparemment illimité du pouvoir matériel, l'humanité se trouve donc dans la situation d'un capitaine dont le bateau serait construit avec une si grande quantité d'acier et de fer que la boussole de son compas, au lieu d'indiquer le Nord, ne s'orienterait que vers la masse de fer du bateau. Un tel bateau n'arriverait nulle part; livré au vent et au courant, tout ce qu'il peut faire, c'est de tourner en rond».

«L'espace dans lequel l'homme se développe en tant qu'être spirituel a plus de dimensions que celle-là seule ou son activité s'est déployée au cours des derniers siècles».

Comment présager de l'avenir lorsque le présent nous échappe? Les conclusions d'Heisenberg impliquent un affaiblissement du déterminisme puisqu'il est impossible de prédire à la fois la position et la vitesse d'une particule. L'infiniment petit semble être à jamais assuré de conserver son mystère.

Le physicien danois Bohr (1885-1962) a précisé le modèle en 1927 en énonçant le principe de complémentarité. Les images d'onde et de particule prêtées au monde subatomique n'ont sans nul doute qu'un vague rapport d'analogie avec la réalité familière macroscopique qui les inspire. Bien que le modèle atomique semble aberrant à l'échelle courante, il se révèle pourtant nécessaire pour décrire l'infiniment petit. Ainsi, les concepts d'onde et de particule ne sont plus mutuellement exclusifs mais se complètent l'un l'autre.

Encadré: PROBABILISME ET DÉTERMINISME

Heisenberg souligne que la physique atomique s'est éloignée de plus en plus des représentations déterministes «d'abord, et dès les débuts de la science de

l'atome, par le fait que l'on s'est mis à considérer les lois déterminantes des processus à grande échelle comme des lois statistiques. «En principe», ajoute-t-il, «on maintenait encore le déterminisme, mais en pratique on comptait avec le caractère incomplet de notre connaissance des systèmes physiques. Ensuite, dans la première moitié du siècle, par le fait que le caractère incomplet de la connaissance des systèmes atomiques était désormais considéré comme une partie essentielle de la théorie. Enfin, tout récemment, parce que, pour les durées et les espaces infinitésimaux, le concept de chronologie semble devenir un problème, bien que nous ne puissions pas encore dire comment se résoudre ces énigmes».

Le déterminisme est en science un principe fondamental. Le physiologiste français Claude Bernard (1813-1878) le définit ainsi: «chez les êtres vivants aussi bien que dans les corps bruts les conditions d'existence de tout phénomène sont déterminées d'une manière absolue. Ce qui veut dire en d'autres termes que la condition d'un phénomène une fois connue et remplie, le phénomène doit se reproduire toujours et nécessairement, à la volonté de l'expérimentateur».

Une fois les conditions réalisées, il est impossible que le phénomène ne se produise pas, de la même façon qu'il est impossible que le phénomène se produise si les conditions ne sont pas réalisées. On appelle nécessité cette double impossibilité. Le déterminisme est étranger au fatalisme ou à l'idée de destin. Aux yeux du fataliste, le phénomène est nécessaire c'est-à-dire qu'il doit survenir indépendamment des conditions, il est nécessaire alors que pour le déterministe, c'est le rapport entre le phénomène et ses conditions qui est nécessaire. Si ce concept difficile entre tous, nous ne retiendrons ici que deux aspects particuliers; le hasard par absence de finalité et le hasard par absence de cause. Le déterminisme nie le hasard.

Un mur en s'écroulant écrase un piéton. Le mur n'avait aucune intention criminelle! Aucun Dieu transcendant ne l'a fait tomber. Voilà un hasard par absence de finalité. Ici, «la science n'a pas à nier le hasard, parce que le hasard n'est rien. Le mot signifie qu'il n'y a rien, qu'il n'y a aucune intention à chercher».

La science nie toutefois le hasard par absence de cause. Il ne faut pas croire que le recours au calcul des probabilités suppose l'absence de déterminisme. Prenons l'exemple du jeu de cartes; on dit que les cartes reçues par un joueur ont été distribuées au hasard. L'emploi du mot hasard ici est erroné. Strictement, la valeur des cartes en possession du joueur ne relève pas du hasard. Le résultat

est déterminé bien qu'il soit en partie impossible à prédire. Les mathématiques établissent par le calcul des probabilités la possibilité, et non la certitude que telle ou telle carte par exemple soit reçue par un joueur. Il est impossible de prédire à quel moment précis la carte X sera en possession du joueur mais sur un très grand nombre de distributions, l'événement se produira à coup sûr. «Le calcul des probabilités suppose donc un déterminisme réel sous le hasard apparent. Et on l'applique à la nature toutes les fois que le déterminisme de détail échappe parce que les déterminants sont trop petits ou jouent trop vite, mais que l'on en connaît la loi».

Comme le disait Spinoza, «une chose n'est appelée contingente (fortuite, produite par le hasard) qu'en raison de l'insuffisance de notre connaissance».  
FIN

#### Encadré: LES ÉTOILES, LABORATOIRE DE L'UNIVERS

Les étoiles, par le vent stellaire des plus petites ou par leur explosion en supernovae ont donné à l'univers les éléments lourds qui n'existaient pas au début. Elles sont le laboratoire même de l'univers, la source d'à peu près tous les éléments chimiques qu'on retrouve sur terre et dans notre soleil. Ainsi, si l'on trouve sur notre planète une assez grande quantité d'or et d'uranium, c'est que des explosions de supernovae auraient eu lieu dans notre région du ciel avant que le système solaire ne se soit formé. De même, les mutations des espèces sur terre seraient produites en partie par des rayons cosmiques causés par l'explosion de supernovae. L'homme est fils des étoiles.

Messire le frère Soleil  
soeur Lune  
frère Vent  
soeur Eau  
frère Feu  
maternelle soeur la Terre [Saint François d'Assise]

Une étoile tire son origine de l'effondrement sur lui-même d'un nuage de gaz et de poussières interstellaires. Sous l'effet de sa propre gravité, le nuage se

condense de plus en plus et alors sa température, sa pression et sa densité augmentent. L'échauffement et la pression atteignent un point tel que des réactions nucléaires se produisent. L'hydrogène se transforme en hélium. C'est la fusion de l'hydrogène en hélium. Une étoile est née. Lors de la fusion, des quantités extraordinaires d'énergie sont libérées, atteignent la surface et s'élancent dans l'espace sous forme de rayonnement. Le soleil vit cette phase depuis près de cinq milliards d'années. Chaque seconde, 400 millions de tonnes d'hydrogène sont transformées en hélium. Le volume du soleil est alors stable. En plus de la lumière, la fusion de l'hydrogène en hélium produit le rayonnement de particules appelées neutrinos. Ces particules se déplacent à la vitesse de la lumière et ont la propriété fascinante de traverser la matière.

Lorsque les réserves centrales d'hydrogène de l'étoile commencent à s'épuiser, des changements importants dans la structure de l'astre surviennent. Pour maintenir constante sa luminosité, l'étoile se contracte alors sous sa propre gravité. La fusion de l'hydrogène se déplace vers les couches extérieures pour cesser lorsque la température tombe sous dix millions de degrés environ. L'étoile se gonfle et devient une géante rouge. Le volume de notre soleil pourrait alors englober la terre elle-même. Mais rassurez-vous, les spécialistes prévoient que l'événement ne se produira que dans cinq ou six milliards d'années! Il s'agit d'un second cycle de fusion pour l'étoile au cours duquel l'hélium au centre de l'astre est converti en carbone. La température est alors de l'ordre de cent millions de degrés. Cette phase est beaucoup plus courte que la précédente, elle ne dure quelques dizaines de millions d'années.

Les étoiles dont la masse est d'environ dix fois et plus celle de notre soleil atteignent alors des températures et des pressions très élevées, utilisent le carbone pour se perpétuer et faire la synthèse d'éléments encore plus lourds comme le néon, l'oxygène ou le silicium. La température s'accroît et des éléments encore plus complexes et plus lourds apparaissent; le fer, le chrome, le manganèse ou le nickel. Lorsque l'étoile atteint sa phase finale, au moment où la combustion nucléaire cesse par l'épuisement de carburant, les couches extérieures de l'étoile, moins chaudes que le centre, sont soufflées dans l'espace alors que le centre s'effondre sur lui-même, en implosion, le tout très rapidement. L'étoile devient une supernova\*.

Détour: \* Supernova

Les astronomes ont observé le 23 février 1987 une supernova à 160,000 années-lumière de la terre, la plus proche observée depuis trois siècles. Les débris d'une des plus célèbres, celle de l'an 1054 notée par les astronomes chinois sont encore visibles de nos jours. Il s'agit de la Nébuleuse du Crabe, dans la Constellation du Taureau, située à six milles années-lumière de nous. FIN

Ce qui subsiste d'une supernova continue d'imploser jusqu'à ce que le tout soit d'un diamètre d'environ une dizaine de kilomètres. La densité est telle qu'un centimètre cube pèse 600 millions de tonnes. C'est alors une étoile à neutrons qui tourne rapidement sur elle-même, émettant ainsi de la lumière comme si elle clignotait. C'est ce qu'on nomme un pulsar. Les astronomes en ont repertorié des centaines dans notre galaxie. Les pulsars tournent avec une extraordinaire régularité, certains accomplissant jusqu'à mille révolutions par seconde.

Les scientifiques pensent que si la masse de la supernova était plus importante, l'implosion se poursuivrait de telle sorte que le tout pourrait atteindre un diamètre encore plus restreint que celui d'une étoile à neutrons, de l'ordre de moins d'un kilomètre. Ce serait alors un trou noir, un des phénomènes les plus singuliers découverts au XXe siècle. La force gravitationnelle du trou noir est telle que même la lumière ne peut s'en échapper. Dans le tissu de l'espace, l'effet du trou noir serait comparable grossièrement à une boule de plomb qu'on laisserait tomber au centre d'un drap. Imaginez alors que le drap au centre s'étire presque à l'infini jusqu'à se rompre! Ainsi, le trou noir serait comme une fosse sans fond dans laquelle la matière attirée tomberait, peut-être projetée ailleurs dans un autre espace ou un autre temps!

Stephen Hawking a émis l'idée que les trous noirs ne sont pas tous issus de l'effondrement gravitationnel de grandes étoiles mais que certains originent du temps lointain de l'univers en formation. Il a avancé de plus l'hypothèse, confirmée par la suite, que le trou noir paradoxalement n'est pas totalement sans retour puisqu'il émet un rayonnement dont la température est inversement proportionnelle à sa masse. Ce rayonnement porte désormais le nom de Hawking.

Pour ce qui est des étoiles de moindre dimension, les étapes sont à peu près les mêmes bien qu'elles se succèdent en un temps beaucoup plus long: quelques millions d'années pour les étoiles massives par rapport à une dizaine de milliards d'années pour les étoiles plus petites.

Ces dernières vivent beaucoup plus longtemps. L'étoile plus petite éjecte lentement par le vent stellaire une grande proportion de sa matière dans l'espace, jusqu'à ce qu'il ne reste plus qu'un astre à peu près gros comme la lune qui va se dissiper lentement en lumière; elle est alors une naine blanche qui va se transformer plus tard en naine noire.

Sous-titre dans l'encadré: Les quasars

Situés à des milliards d'années-lumière de nous, les quasars restent encore mystérieux. Le premier a été découvert en 1963 par l'astronome hollandais Maarten Schmidt. Un quasar est si brillant qu'il est comparable à l'explosion d'un millier de supernovae ou à la luminosité de plusieurs galaxies toutes entières. Or la taille de ces quasars serait moindre que celle de notre système solaire. Ils émettent des jets de radiation longs de plusieurs milliers d'années-lumière.

Plusieurs hypothèses ont été émises pour en expliquer l'origine. Pour certains, le quasar serait comme une réaction en chaîne d'explosions de supernovae, la collision violente de matière et d'antimatière ou l'équivalent d'un trou noir monstrueux au sein d'une galaxie dans lequel tomberaient gaz, poussières et étoiles, libérant ainsi une énergie colossale!

Ici, le mystère effraie. FIN DE L'ENCADRÉ

En 1926, le physicien Born, anglais d'origine allemande (1882-1970) avait élagué le modèle ondulatoire de Schrödinger en émettant l'idée d'onde de probabilité associée à des particules de matière. L'onde peut être imaginée alors comme la probabilité qu'un corpuscule (quantum ou électron par exemple) soit à tel endroit à tel moment. Les idées de Born, d'Heisenberg et de Bohr ont formé ce qu'on a appelé l'interprétation de Copenhague, ville natale de Bohr.

A la suite d'une publication conjointe des physiciens Einstein, Podolsky et Rosen en 1935 connue sous le nom de Paradoxe EPR\*, il fut précisé que l'impossibilité de déterminer à la fois la position et la vitesse d'une particule est absolue et ne relève pas que de la perturbation inévitable provoquée par l'instrument d'observation. Le Paradoxe EPR reste encore aujourd'hui le point focal des objections à l'interprétation de Copenhague.

Détour: \* Le paradoxe EPR

Imaginons deux particules en corrélation parfaite dont la somme des impulsions particulières qui nous seraient inconnues est nulle. Il suffit alors de connaître l'impulsion de l'une pour déduire celle de l'autre. Si les particules sont suffisamment éloignées l'une de l'autre pour écarter tout effet de perturbation sur la deuxième particule lors de la mesure de l'impulsion de la première, il est logique de penser que l'impulsion de la deuxième particule a une valeur nécessairement identique avant comme après la mesure de l'impulsion de la première. La théorie quantique s'oppose à une telle conclusion.

Pour fins d'illustration, prenons l'exemple des spins d'un couple d'électrons - le spin est grossièrement l'axe de rotation interne d'une particule. Dans l'état dit «singulet» d'un couple d'électrons, la direction du spin d'un électron est en corrélation avec la direction opposée du spin de l'autre. Comme le spin d'un électron ne peut avoir que deux orientations possibles, si l'électron 1 a un spin vers le bas, l'électron 2 a nécessairement son spin vers le haut ou l'inverse. Selon la mécanique quantique, il est impossible de prédire l'orientation du spin d'un des deux électrons c'est-à-dire que l'orientation du spin de l'électron 1 ou 2 est indifféremment vers le haut ou vers le bas sans qu'il soit possible de le prévoir. Au moment cependant où l'orientation du spin de l'électron 1 est connue, alors et alors seulement, il est permis de conclure à l'orientation opposée de l'autre. Avant la première mesure, rien n'est déterminé contrairement à ce que suggère le Paradoxe EPR. Rappelons que selon l'interprétation de Copenhague, ce n'est donc que lors de la mesure du spin du premier électron qu'est fixée celle du deuxième, opposée au premier électron, et pas avant. Le principe vaut, peu importe si la distance est telle entre les deux électrons qu'aucune influence physique n'a pu se transmettre. FIN

La mécanique quantique n'a jamais été cependant à ce jour contredite par l'expérimentation\*. Reconnue de façon universelle, son efficacité a pu être vérifiée aussi bien en physique nucléaire, en physique des solides ou en théorie des champs qu'en chimie ou en cosmologie. Des expériences réalisées en 1986 ont provoqué des interférences, qui relèvent d'un phénomène ondulatoire avec des sources dont les photons ou les neutrons apparaissent un à un. Comme le souligne Daniel Tarnowski, «un objet clairement identifié comme une particule individuelle se comporte dans ces expériences comme une onde qui interfère».

Détour: \* L'assurance tranquille du physicien

«Papa, est-ce une onde ou une particule?»

«Oui».

«Papa, l'électron est-il ici ou là?»

«Oui».

«Papa, les savants savent-ils vraiment de quoi ils parlent?»

«Oui». FIN

La mécanique quantique a résisté ici à une expérience presque idéale. Or, «la capacité de prédiction d'une théorie scientifique reste, pour le physicien, la preuve incontestable de sa validité».

Encadré: L'INFINIMENT PETIT, SOURCE DE POÉSIE

«Regardez au microscope une miette de pain moisi! Vous serez étonnée des merveilles sans nombre de cet atome sale et corrompu. Où vous ne voyez qu'une végétation putride qui répugne à vos sens, vous découvrirez d'élégantes forêts, mêlant harmonieusement les teintes fraîches du printemps aux couleurs moins riantes de l'automne. Ici se creusent des grottes d'améthystes, ou s'allongent en berceaux des protides d'opale; là s'arrondissent des monticules de saphirs, ombrageant des vallons de pourpre et d'or. C'est un monde enchanté, où vous voudriez vivre; un Eden solitaire, qui n'attend que des habitants. Vous vous croyez arrivé sur la frontière de ce pays des fées, où votre enfance s'est si souvent promenée, à la porte duquel l'amour a brisé les lisières qui vous y reconduisaient. Il en est peut-être ainsi de la terre, vue à travers le verre magique de la poésie ou de la religion. Désarmez votre oeil, et ce qui vous charmait n'est plus que pourriture et dégoût. Au lieu d'un paradis, qu'avez-vous? Une miette de la création qui moisit dans l'espace».

Sous-titre: Mais où sommes-nous donc?

Notre terre est la troisième des neuf planètes du système solaire, à une distance de huit minutes-lumière du soleil.

Le système solaire serait né il y a environ quatre milliards six cents millions d'années. Bien qu'il n'y ait à ce sujet encore aucune certitude, une nébuleuse de gaz et de poussières interstellaires de la forme d'un disque plat effondrée sur elle-même sous sa propre force gravitationnelle tout en se fragmentant et se condensant aurait engendré le soleil et les planètes.

Notre système solaire est situé à l'intérieur d'une galaxie spirale majeure, la Voie Lactée qui ressemble, vue de profil, à un disque renflé au centre. La Voie Lactée est formée d'environ cent milliards d'étoiles qui tournent autour de son centre comme les planètes autour de notre soleil en deux cents millions d'années environ. Elle a une largeur d'environ 70 à 100 milles années-lumière alors que l'épaisseur de sa calotte centrale est d'environ deux milles années-lumière.

Les étoiles, dans notre galaxie sont entre elles, à des distances moyennes d'environ six années-lumière. L'étoile la plus près de nous est Proxima Centauri, à 4. 25 années-lumières. Notre galaxie fait elle-même partie d'un petit ensemble de galaxies attirées entre elles par la force gravitationnelle qui a pour nom Groupe Local ou amas local et qui comprend environ une douzaine de galaxies.

La Galaxie d'Andromède est la plus voisine des galaxies de même taille que la nôtre. Située à deux millions d'années-lumière de notre propre galaxie, elle ressemble beaucoup à la Voie Lactée tant par sa taille, sa forme que par le nombre d'étoiles qu'elle contient.

Sous-titre: Sommes-nous seuls?

«Il serait aussi absurde de ne placer qu'un monde dans l'espace infini que de croire à l'existence d'un seul épi de blé dans une vaste campagne». [Métrodore, philosophe grec vers 330 av. J.-C. - v. 277 av. J.-C.)].

«Il me semble... que l'univers physique est trop immense pour n'avoir que cette terre et cette humanité pour seule raison d'être. Le socle est trop grand pour la statue». [Jean Guilton, philosophe français né en 1901].

L'existence de soucoupes volantes a été signalée pour la première fois à l'époque moderne il y a maintenant plus de quarante ans. Kenneth Arnold, homme d'affaires américain aurait vu neuf ovni\* le 24 juin 1947 au-dessus du

mont Rainier dans l'État de l'Idaho aux États-Unis alors qu'à bord de son avion, il survolait la région. Depuis, les seuls rapports d'observations couvriraient sans nul doute des bibliothèques entières sans compter toute la littérature qui s'est inspirée du phénomène et les analyses de tous genres.

Détour: \* Objet volant non identifié

Phénomène imaginaire, objet naturel, objet artificiel humain connu ou inconnu, objet artificiel non-humain inconnu, toutes les hypothèses ont été avancées. La confirmation d'une vie extra-terrestre serait pour l'humanité un événement sans nul doute d'importance extrême, peut-être incomparable, un fait qui chasserait d'une façon saisissante et définitive tout relent anthropocentrique. Généralement associés à l'existence de vie intelligente extra-terrestre, les ovni sont évidemment lestés d'une énorme charge émotionnelle. Actuellement, il est cependant impossible d'affirmer que les ovni constituent une preuve irréfutable de vie intelligente extra-terrestre. Et pourtant, il suffirait qu'un seul cas parmi les milliers et les milliers observés soit fondé en ce sens... Si on ne peut parler de certitude, on ne peut tout de même pas en écarter la forte probabilité.

Encadré: Bernard Le Bovier de Fontenelle: la pluralité des mondes

«Enfin tout est vivant, tout est animé; mettés toutes ces espèces d'Animaux nouvellement découvertes, et même toutes celles que l'on conçoit aisément qui sont encore à découvrir, avec celles que l'on a toujours vûes, vous trouverés assurément que la Terre est bien peuplée, et que la Nature y a si libéralement répandu les Animaux, qu'elle ne s'est pas mise en peine que l'on en vît seulement la moitié. Croirés-vous qu'après qu'elle a poussé ici sa fécondité jusqu'à l'excès, elle a été pour toutes les autres Planetes d'une sterilité à n'y rien produire de vivant?»

Le meilleur livre sur la vie extra-terrestre n'est pas de notre siècle, ni même du siècle précédent. Il date de ...1686, année où Bernard le Bovier de Fontenelle, poète et philosophe français, (1657-1757), plus tard membre de l'Académie française et de l'Académie des sciences publie les Entretiens sur la Pluralité des Mondes qui connaîtra un des plus grands succès de librairie de ce temps. Du vivant de l'auteur et bien qu'il soit mort centenaire, il y eut trente-trois éditions de son ouvrage! Depuis, le livre n'a cessé de se répandre. Il y a été traduit en

plusieurs langues dont le russe, l'italien, l'espagnol, l'anglais, l'allemand et le grec moderne. Une des dernières éditions date de 1986, deux siècles après la première!

Qu'est-ce qui explique un tel engouement? Tout d'abord, la vie extra-terrestre était comme aujourd'hui un sujet à la mode bien que d'importance surtout religieuse à la fin du XVIIe siècle. L'existence d'autres êtres pensants apparaissait comme une menace pour la foi chrétienne. La Rédemption pouvait devenir un fait plutôt banal s'il existait d'autres êtres que ceux de cette terre.

Par ailleurs, les Entretiens, en tant qu'un ouvrage de vulgarisation astronomique étaient solidement documentés. Bien que Fontenelle n'ait pas été lui-même novateur en tant qu'homme de science, il était bien au fait de la science de son époque. En tant qu'outil de vulgarisation scientifique, les Entretiens ne seront dépassés qu'au XIXe siècle. Fontenelle préfigure en science le rationalisme du siècle suivant. Ayant foi en la raison, il s'inscrivait contre le merveilleux et les explications surnaturelles qui engorgeaient la science de son temps. Plutôt sceptique à l'endroit des choses de la religion, il préférait au Dieu personnel des chrétiens l'idée de Providence suivant laquelle l'univers dans sa totalité est déterminé par des lois précises et constantes.

Enfin, les Entretiens sont d'une grande beauté. Empruntant la forme d'un dialogue, cette oeuvre de Fontenelle, imaginative, d'une écriture aisée et spontanée préfigure à plus d'un égard la langue du XVIIIe siècle.

Les Entretiens sur la Pluralité des Mondes restent remarquables à plusieurs points de vue. «En eux convergent bien des courants du XVIIe siècle, tant dans la pensée que dans l'art littéraire. Ils sont d'autre part à l'origine de bien des traits caractéristiques du XVIIIe siècle. Mieux qu'aucun autre, ce livre ouvre la crise de la conscience européenne analysée par Paul Hazard. Et l'intérêt des Entretiens n'est pas seulement historique. S'ils ont perdu leur valeur de manuel d'astronomie, ils restent un chef d'oeuvre littéraire de premier plan». FIN

La science actuelle offre à la spéculation sur la vie extra-terrestre une forme mathématique qui peut servir d'appui aux réflexions de Métrodore ou de Guitton citées plus haut. Le radioastronome américain Frank Drake eut l'idée dans les années 1960 d'évaluer statistiquement le nombre de civilisations technologiquement avancées dans notre propre galaxie. Une civilisation techniquement avancée, pour les fins de l'équation, est celle où il existe une vie

intelligente capable, par sa technologie et son intérêt, de communications interstellaires. Cette formule de Drake s'énonce comme suit;

$$N = R \cdot f_p \cdot n_t \cdot f_v \cdot f_i \cdot f_c \cdot D$$

R: taux moyen de formation d'étoiles par an dans notre galaxie. Il équivaut à 20 soit 300 milliards (d'étoiles dans notre galaxie) divisés par 15 milliards (d'années). C'est l'unique valeur fiable que nous ayons dans la formule.

$f_p$ : la fraction d'étoiles qui possèdent un système planétaire. On suppose ici une valeur de 0.3 i. e. que trois étoiles sur dix seraient associées à des systèmes planétaires.

$n_t$ : le nombre de planètes où la vie serait possible dans chaque système planétaire. On donnera ici une valeur de 1 si on compare à notre propre système solaire.

$f_v$ : la fraction de planètes où la vie est apparue effectivement et se complexifie. On peut admettre que la vie se développe et se complexifie chaque fois qu'une planète est adaptée pour l'engendrer. La valeur sera 1.

$f_i$ : la fraction de planètes où existe une vie complexe sur lesquelles se sont développés des êtres intelligents. Le même raisonnement qu'en  $f_v$  donne une valeur de 1.

$f_c$ : la fraction de planètes où existe une vie intelligente complexe et qui a une technologie et un intérêt propres aux communications interstellaires. Supposons ici qu'une seule civilisation intelligente sur 100 répond à ce critère. On a donc une valeur de .01.

D: la durée d'une civilisation technologiquement avancée. Les pessimistes qui redoutent la guerre nucléaire dévastatrice sur notre planète diraient 100 ans par exemple. De plus optimistes pourraient suggérer 10,000 ans.

N a une valeur de 6 dans l'hypothèse où D est égal à 100 et de 600 en supposant 10,000 comme valeur pour D. Il y aurait donc dans notre propre galaxie une probabilité de 6 ou même 600 civilisations qui pourraient communiquer avec nous. Carl Sagan, avec une formule un peu différente-R considéré comme le nombre d'étoiles dans la galaxie qu'il évalue à 400 milliards et certaines valeurs autres - estime qu'il pourrait y avoir des millions de ce type de civilisations dans

notre galaxie, ce qui est énorme! Cette équation suscite d'autant plus d'intérêt qu'elle tient compte d'une foule de facteurs qui relèvent tant de l'astronomie que de la biologie, de l'histoire que de la politique ou de la psychologie.

Il faut noter cependant que de toutes les variables utilisées, la seule valeur sûre est celle de R, encore que dans les formules de Drake et de Sagan, R ne représente pas la même chose. De plus, il n'y a guère que notre propre système solaire qui puisse permettre d'établir la valeur des autres variables. Les valeurs prêtées restent en fait hypothétiques. On ne peut que présumer d'une forte probabilité d'intelligence extra-terrestre, sans certitude.

Depuis 1960, les expériences d'écoute de signaux extraterrestres au moyen des meilleurs radiotélescopes se sont révélées négatives. La recherche se poursuit. Absence de preuve n'est pas preuve d'absence!

Sous-titre: Anthropocentrisme et conscience humaine

«Sommes-nous vraiment assez merveilleux pour justifier un aussi long prologue».

Il serait bien difficile de soutenir maintenant que l'être humain est à la fois le sens ou l'aboutissement d'un quelconque dessein cosmique. Cette croyance, déjà fortement ébranlée par la révolution copernicienne, n'a cessé de se réduire comme une peau de chagrin à mesure que la science déployait l'image d'un univers qui tant par l'étendue que par la durée écrase l'être humain impitoyablement. Les milliards d'années écoulées depuis le Big Bang, les dimensions vertigineuses de l'univers, qui défient l'imagination, le nombre effarant de galaxies, des centaines de milliards, qui contiennent chacune en moyenne cent milliards d'étoiles, un nombre de planètes probablement comparable au nombre d'étoiles,  $10^{11}$  multiplié par  $10^{11}$ , dix milliards de billions de planètes et nous serions le centre et le but de l'univers!

Pascal\* avait saisi cependant que malgré tout cela, l'homme garde toute sa dignité puisqu'il est un être pensant. Trois siècles plus tard, la science confirme cette vue et ce n'est pas une mince consolation. L'univers a engendré «des galaxies, des étoiles, des planètes, des animaux et des hommes dont les molécules ADN représentent l'un des plus hauts degrés d'organisation. Au désordre le plus complet, il a substitué cet ordre de la plus grande complexité que représente la vie. L'univers souhaiterait-il être observé? En tout cas la cosmologie sans cosmologiste n'aurait pas de sens». On retrouve ici, tempérée,

l'idée chère aux stoïciens qui croyaient que l'homme loin d'être isolé au coeur du cosmos est de par son intelligence le sommet de la nature et participe par la pensée à l'Intelligence universelle organisatrice\*\*.

Détour: \* La dignité de l'être pensant

«Pensée fait la grandeur de l'homme. L'homme n'est qu'un roseau, le plus faible de la nature; mais c'est un roseau pensant. Il ne faut pas que l'univers entier s'arme pour l'écraser: une vapeur, une goutte d'eau, suffit pour le tuer. Mais, quand l'univers l'écraserait, l'homme serait encore plus noble que ce qui le tue, parce qu'il sait qu'il meurt, et l'avantage que l'univers a sur lui; l'univers n'en sait rien. Toute notre dignité consiste donc en la pensée. C'est de là qu'il faut nous relever et non de l'espace et de la durée, que nous ne saurions remplir. Travaillons donc à bien penser: voilà le principe de la morale.

Ce n'est point de l'espace que je dois chercher ma dignité, mais c'est du règlement de ma pensée. Je n'aurai pas d'avantage en possédant des terres: par l'espace, l'univers me comprend et m'engoutit comme un point; par la pensée, je le comprends». [Blaise Pascal] FIN

Détour: \*\* Le philosophe français Henri Bergson (1859-1941) pousse encore plus loin l'idée de Pascal lorsqu'il écrit ce qui suit; «on ne se lasse pas de répéter que l'homme est bien peu de chose sur la terre, et la terre dans l'univers. Pourtant, même par son corps, l'homme est loin de n'occuper que la place minimale qu'on lui octroie d'ordinaire, et dont se contentait Pascal lui-même quand il réduisait le «roseau pensant» à n'être matériellement, qu'un roseau. Car si notre corps est la matière à laquelle notre conscience s'applique, il est coextensif à notre conscience, il comprend tout ce que nous percevons, il va jusqu'aux étoiles». FIN

Cette dignité d'être conscient ne serait nullement entachée par l'existence d'autres vies intelligentes dans l'univers, à supposer même qu'elles soient plus complexes. Que l'homme ne soit pas le seul être qui ait accédé à ce haut niveau de complexité qu'implique la conscience, il n'y aurait là finalement qu'une question de degrés sans réelle importance, dont le seul principal serait de chasser définitivement toute tentation de suffisance. Lorsque nous nous amusons à nous comparer à d'autres êtres intelligents, nous devons surtout

nous garder d'utiliser le développement technologique, si prodigieux soit-il à notre époque, comme critère ultime de civilisation. La véritable question reste la suivante; peut-il exister, dans l'ordre de la perfection, un être supérieur à un saint François d'Assise par exemple?

Nous avons déjà vu que toute prétention anthropocentrique était vaine et illusoire. Il reste cependant que la conscience dont l'être humain est doué représente le plus haut niveau de complexité et ce fait a son importance. Mais il y a plus.

La science actuelle permet d'établir que le «long prologue» que constitue l'évolution de la matière inanimée, était une condition sine qua non l'apparition de l'homme et que l'univers est moins prodigue qu'on ne le croyait. Tout n'y est pas possible à n'importe quelle condition. «La vie implique l'expansion de l'univers».

Toute organisation de la matière en un lieu précis, tout gain d'ordre a pour conséquence un accroissement du désordre dans l'univers. Le local influe sur le global. L'espace entre les galaxies dont le volume s'accroît en raison de l'expansion de l'univers accueille le désordre qui résulte d'un gain d'ordre local. L'astrophysicien Reeves explique: «si l'expansion s'arrêtait, la «poubelle» se remplirait, déborderait et bloquerait la croissance de l'ordre. Pire, elle détruirait progressivement cet ordre et nous ramènerait au chaos initial... Le phénomène de l'expansion de l'univers fait intervenir le mouvement de galaxies situées à des millions d'années-lumière. On ne peut l'appréhender qu'avec la technologie moderne la plus sophistiquée. En conséquence, on pourrait le croire totalement étranger à notre existence sur la Terre. Il en est, au contraire, une condition essentielle. Sans cette expansion, sans ce vide immense et glacial qui se creuse entre les galaxies, aucune matière n'aurait pu s'associer; aucune molécule complexe, aucun organisme, aucun cerveau humain ne serait venu au monde. L'existence et le fonctionnement de notre conscience requièrent et exigent ce mouvement universel qui entraîne irrésistiblement les galaxies à des distances toujours plus grandes».

Sous un autre angle, les quinze milliards d'années qui nous séparent du Big Bang sont en fait moins effarants et vides qu'il n'y paraît; il fallait une période de temps à peu près aussi longue pour que la conscience apparaisse. Une première génération d'étoiles, nous l'avons vu, doit tout d'abord surgir de telle sorte que les éléments initiaux, l'hydrogène et l'hélium soient transformés en des éléments plus complexes comme le carbone ou l'oxygène dont nous sommes constitués.

Les débris de ces étoiles qui explosent plus tard en supernovae sont à l'origine de la formation d'autres systèmes solaires. Ainsi, notre soleil qui est une étoile de la deuxième ou troisième génération contient des éléments issus de l'explosion de supernovae, ce qui suppose des événements antérieurs en terme de milliards d'années. La terre elle-même, d'abord trop chaude, a dû se refroidir pendant un ou peut-être même deux milliards d'années avant que ne soit possible le développement d'une vie quelconque qui aboutit, par une longue maturation, jusqu'à nous.

Les hommes de science connaissent bien maintenant les valeurs numériques des lois scientifiques correspondant aux premiers stades de la matière. On les a trouvés par l'observation puisque aucune théorie ne permet encore de les déduire. Il est un fait remarquable au sujet de ces valeurs. Elles semblent avoir été fixées de façon à rendre la vie possible. Un peu moins de temps pour telle réaction, un peu plus pour telle autre et les choses auraient pris un cours incompatible avec l'apparition de la vie. Il aurait suffi par exemple que la charge électrique de l'électron soit légèrement différente pour que les étoiles ne puissent brûler ni hydrogène, ni hélium pour qu'il soit par suite impossible de transformer ces éléments en structures plus complexes. Jouons à nouveau à construire par la pensée, des univers où les valeurs numériques admises par la science seraient différentes. Choisissons-les au hasard. Il est facile pour les physiciens de démontrer que la quasi-totalité de ces univers n'auraient dans ce cas ni les forces requises ni la durée nécessaire pour élaborer et abriter les molécules géantes de la vie. De telles considérations ont été à l'origine de ce qui fut appelé le principe anthropique qu'on pourrait énoncer de la façon suivante; l'univers est ainsi parce qu'il y a des observateurs qui le voient. Eût-il été différent, nous ne serions pas là pour l'observer.

«La physique de notre univers donne aux atomes les propriétés requises et assure aux étoiles les durées suffisantes. Le physicien d'aujourd'hui découvre que cela n'est pas banal. Ces conditions sont accomplies grâce à un ajustement étonnant de certains paramètres physiques qui, dès le départ, caractérisaient notre univers».

D'autres savants soutiennent que l'apparition de la vie dans l'univers est le produit du hasard et des lois inéluctables du cosmos. Nous aurons l'occasion de traiter de cette question dans [La Route sur la Vie](#).

## Encadré: Le principe anthropique

La matière inanimée a évolué dès l'origine d'une façon telle que tout semble avoir été prévu à chaque étape, pour qu'elle choisisse l'étroit corridor conduisant à la vie et à l'homme. C'est Tippler A. Barrow qui a établi le principe anthropique. Les deux extraits qui suivent sont tirés d'un commentaire de Richard Harris. (The Nature of Reality)

«Par exemple, à la base de la vie - telle que nous la connaissons - il y a l'élément carbone. Le carbone entre dans la composition des graisses, des protéines et des hydrates de carbone. Si ces substances n'existaient pas en grande quantité sur la terre nous n'existerions pas. Il n'en demeure pas moins que l'existence de grandes quantités de carbone dans l'univers semble être le résultat d'un pur accident.

Le carbone qui existe aujourd'hui fut synthétisé à l'origine à l'occasion de réactions nucléaires qui eurent lieu au coeur de ces étoiles massives appelées à devenir des supernovas en explosant. La synthèse du carbone s'est faite de la façon suivante: deux noyaux d'hélium se sont d'abord combinés pour produire le noyau de l'élément appelé beryllium. Si le beryllium se débrouille pour capturer un troisième noyau d'hélium avant d'éclater, un atome de carbone est alors créé. Il faut cependant noter que l'isotope de beryllium qui est créé quand deux noyaux d'hélium se combinent est très instable; il se redivise en deux noyaux d'hélium en 10-16 secondes environ. Si du carbone doit être créé, le noyau de beryllium doit donc capturer le troisième noyau d'hélium très rapidement. Si cela se produit, un isotope de carbone stable se formera.

On ne peut donc pas s'attendre à ce qu'un tel processus se produise fréquemment. Il semble vraiment trop improbable. Il se trouve que, d'une façon en apparence accidentelle, le système hélium-beryllium dispose d'un niveau d'énergie qui convient précisément à la réaction. Si ce niveau d'énergie était un tant soit peu différent, le carbone n'existerait qu'en quantité infinitésimale».

FIN: ...

«Si le taux d'expansion de l'univers à l'origine avait été accru d'une grandeur de l'ordre de une partie par million, les étoiles et les galaxies ne se seraient jamais constituées. La matière de l'univers aurait été propulsée vers l'extérieur à une vitesse telle que la gravité n'aurait jamais eu la chance de la condenser en des

amas de matière appelés à devenir les étoiles et les galaxies. Dans ces conditions l'univers ne contiendrait que des gaz rares. (Pas de carbone, et donc pas de vie).

D'autre part si la vitesse d'expansion avait été réduite d'une grandeur de l'ordre de une partie par million, l'univers n'existerait plus. Son expansion aurait pris fin après seulement trente mille ans. La matière dans l'univers ne serait pas dispersée assez rapidement pour échapper au freinage provoqué par la gravité et un état de contraction se serait constitué avant que sa température ne descende au-dessous de 10,000 degrés. Comme il est difficile d'imaginer que la vie aurait pu se constituer en un temps si court, dans de telles conditions extrêmes, il faut conclure qu'un tel univers serait aussi privé de vie qu'un univers dont l'expansion se serait faite trop rapidement». FIN

Titre: Le réenchâtement du monde, de l'univers des forces à la nature-fille

«Chacun voit le monde à sa façon et chacun a raison tant il y a de sens dans le monde». [Rückert]

Des superamas de galaxies aux quarks, des quasars aux neutrinos... la précision du regard moderne sur l'univers est sans précédent. Il suffit de comparer les rouages et les sphères des anciennes cosmologies avec les subtilités de la relativité générale pour apercevoir le chemin parcouru par la physique du XXe siècle.

Stephen Hawking dans un ouvrage récent souligne qu'au cours des deux derniers siècles, la science a connu un tel essor que les philosophes l'ont désertée. Il est incontestable que la cosmologie qui est proposée au XXe siècle est l'oeuvre des hommes de science et non celle des philosophes. Mais à celui qui a compris que le sens de sa vie est indissociable du sens de l'univers, qu'importent ces querelles entre disciplines. Au philosophe, qu'il estimerait vague et nébuleux, il demanderait des précisions scientifiques. Au savant il demande de réconcilier le fait avec le sens.

Il faut bien l'admettre, après trois siècles de sciences, tout ce qu'on peut dire de l'univers dans sa totalité c'est qu'il est entièrement dominé par la force. De l'existence de ce fait central, on a mille preuves correspondant aux diverses forces dont on a fait l'analyse dans diverses conditions. Mais quel est le sens de

ce fait? Autant il était facile de donner un sens à un univers dont le principe explicatif était une forme, autant il est difficile de le faire quand le principe explicatif est la force. Ce que nous avons gagné dans l'analyse des forces à l'oeuvre dans l'univers, nous l'avons perdu en signification au niveau de la totalité. Ce que nous avons gagné de pouvoir sur la nature\*, nous l'avons perdu au niveau du sens, des finalités de l'univers. Bien que le coup de pinceau de la science moderne soit beaucoup plus assuré, le tableau du monde dans l'ensemble a perdu de son harmonie et de sa cohérence. L'éclat et la vigueur du trait n'ont pu compenser la faiblesse de la composition.

D'autre part les abstractions de la science actuelle ne correspondent plus à l'expérience vécue et il faut bien constater que le Tout apparaît morcelé. Alors que dans le passé, chaque grande culture proposait un regard particulier sur un monde unifié, aujourd'hui en Occident, il y a un regard unifié sur un monde éclaté.

Détour: \* «Ca ira tant que votre industrie et vos capitaux vous permettront de faire du monde une foire, avec des mécaniques qui tournent à des vitesses vertigineuses, dans le fracas des cuivres et l'explosion des feux d'artifice. Mais attendez, attendez le premier quart d'heure de silence». [Georges Bernanos]  
FIN

Tandis que la vision scientifique du monde prenait ainsi forme, l'humanisme moderne se constituait sur une voie parallèle. L'homme ne liant plus le sens de sa destinée à sa lecture de l'univers, allait construire ce sens. Telle est la signification ultime de ce qu'on a appelé la révolution copernicienne à l'envers.

Dans un univers dominé par la force, l'homme allait faire régner la justice. Dans un univers soumis à la nécessité, il allait assurer le triomphe de la liberté sans tenir compte ni des avertissements de Spinoza quant à la difficulté d'un mariage entre la nécessité de la nature et la liberté de l'homme, ni des avertissements des stoïciens quant à la difficulté de faire régner parmi les hommes une justice dont la source et le modèle ne seraient pas dans la nature.

La Révolution française marqua simultanément le triomphe de la raison fondatrice de la science et de l'idéal humaniste\* de justice et de liberté.

Détour: \* L'humanisme

On donne en général un sens positif au mot humanisme. Il signifie pour la plupart des gens un souci de l'être humain, un intérêt pour les arts et pour la tradition gréco-latine. Ainsi défini, le mot humanisme peut être appliqué aussi bien à un croyant qui considère Dieu comme la fin ultime et le fondement de toute vérité qu'à un athée qui fait graviter toutes les idées autour de l'esprit humain. Défini de façon plus rigoureuse, il ne peut être appliqué que dans le second cas. C'est cette seconde acception qui est ici en cause. FIN

Le Moyen Age avait recherché la vérité métaphysique. Au XVe et XVIe siècle l'Europe devait être ravagée par des guerres de religions que les esprits éclairés attribuèrent bientôt aux préjugés de l'ère métaphysique antérieure. La méthode scientifique, pensait-on, allait unifier les hommes par delà les préjugés, dans un même regard sur le monde. L'attraction universelle n'est-elle pas la même pour un catholique, un protestant et un juif. L'idéal de justice allait achever les fondements de la paix et de la liberté.

Mais juste après la Révolution française, il y eut Napoléon et 250,000 morts parmi les conscrits français seulement. Au XXe siècle il y eut les deux guerres les plus destructrices de l'histoire, la guerre de 1914-1918 et celle de 1939-1945. Il était inévitable dans ces conditions qu'on mette en doute la vérité positive comme on avait mis en doute la vérité métaphysique après les guerres de religion. C'est ce que firent quelques-uns des plus grands esprits d'Europe, parmi lesquels Martin Heidegger en Allemagne et Simone Weil en France. Si les écrits de Simone Weil sur cette question sont moins connus que ceux de Heidegger, ils ont le mérite d'être plus accessibles.

Mais voici d'abord un passage de Mein Kampf où Hitler fait preuve de plus de cohérence que les humanistes en soutenant que dans un univers entièrement dominé par la force, l'homme ne saurait relever de lois spéciales qui rendraient possible le règne de la justice.

«L'homme ne doit jamais tomber dans l'erreur de croire qu'il est seigneur et maître de la nature... Il sentira dès lors que dans un monde où les planètes et les soleils suivent des trajectoires circulaires, où des lunes tournent autour des planètes, où la force règne partout et seule en maîtresse de la faiblesse, qu'elle contraint à la servir docilement ou qu'elle brise, l'homme ne peut pas relever de lois spéciales».

Et voici le commentaire de Simone Weil: «Hitler a très bien vu l'absurdité de la conception du XVIIIe siècle encore en faveur aujourd'hui, et qui d'ailleurs a déjà sa racine dans Descartes. Depuis deux ou trois siècles, on croit à la fois que la force est maîtresse unique de tous les phénomènes de la nature, et que les hommes peuvent et doivent fonder sur la justice, reconnue au moyen de la raison, leurs relations mutuelles. C'est une absurdité criante. Il n'est pas concevable que tout dans l'univers soit soumis à l'empire de la force et que l'homme y soit soustrait, alors qu'il est fait de chair et de sang et que sa pensée vagabonde au gré des impressions sensibles.

Il n'y a qu'un choix à faire. Ou il faut apercevoir à l'oeuvre dans l'univers, à côté de la force, un principe autre qu'elle, ou il faut reconnaître la force comme maîtresse et souveraine des relations humaines aussi.

Dans le premier cas on se met en opposition radicale avec la science moderne telle qu'elle a été fondée par Galilée, Descartes et plusieurs autres, poursuivie au XVIIIe notamment par Newton, au XIXe, au XXe. Dans le second on se met en opposition radicale avec l'humanisme qui a surgi à la Renaissance, qui a triomphé en 1789, qui sous une forme considérablement dégradée a servi d'inspiration à toute la IIIe République».

Vers la même époque, Robert Lenoble devait souligner une contradiction semblable entre la liberté et la nécessité «au nom de la Nature on revendique la liberté. Tout le XVIIIe siècle a vécu de ce thème. Mais dans le même temps la Nature, pour le physicien, le chimiste, le biologiste, apparaît de plus en plus étroitement déterminée... Nature déterminée, liberté don de Nature: voilà le paradoxe qui pour longtemps va s'installer dans la pensée moderne».

Les problèmes environnementaux, dont on a commencé à mesurer l'ampleur et la gravité à la fin de la décennie 1960, constituent une raison aussi convaincante que les guerres de mettre en doute aussi bien les fondements de la science et de la technique que ceux de l'humanisme. L'humanisme ne sert-il pas de justification à l'ordre social qui rend souhaitable sinon nécessaire la surexploitation de la nature?

La survie même de la planète exige que nous révisions à la fois notre conception du monde et notre humanisme, de façon telle que le second soit compatible avec le premier, en théorie aussi bien qu'en pratique.

Il existe quatre solutions à ce problème:

1- Revenir à l'idée d'un Dieu personnel agissant par une volonté arbitraire sur les forces constitutives de l'univers et y opérant ainsi en permanence des miracles donnant un sens à l'histoire. Une telle démarche équivaut à nier l'idée de nécessité, à invalider l'hypothèse déterministe, même au niveau de l'expérience courante où elle demeure irréfutable. C'est une solution de ce genre que des religions comme l'Islamisme proposent à leurs fidèles.

2- Le Dieu impersonnel de Spinoza, qui respecte les lois d'un monde dont il est l'âme, constitue une seconde solution. C'est parce qu'il ne pouvait mettre l'hypothèse déterministe en doute qu'Einstein ne pouvait croire qu'en un Dieu impersonnel comme celui de Spinoza.

3- Une autre solution consiste, en se plaçant dans une perspective évolutionniste globale, à poser l'existence d'un principe spirituel, divin, à l'origine et à l'intérieur des processus par lesquels la matière s'est progressivement complexifiée de façon à ce que la vie, puis l'homme apparaissent.

4- Enfin une dernière solution serait d'associer la beauté du monde à la nécessité qui caractérise ce dernier et à entrer en rapport avec l'auteur de cette beauté comme on entre en rapport avec l'auteur d'une grande oeuvre d'art. Alors, dans une expérience ineffable, le Dieu impersonnel auquel la raison nous réduit devient le second visage du Dieu personnel auquel notre âme aspire. Cette quatrième solution est très proche de la seconde. La troisième est apparentée à la première.

Nous nous arrêterons à l'oeuvre de deux penseurs contemporains, dont l'un, Teilhard de Chardin, a défendu la troisième solution et l'autre, Simone Weil, la quatrième.

Encadré: PIERRE TEILHARD DE CHARDIN (1881-1955) paléontologue et philosophe français

Pierre Teilhard de Chardin est né le premier mai 1881, près de Clermont-en-Auvergne, en France. Il était le quatrième d'une famille aisée et raffinée qui comptait onze enfants.

Entré dans la Compagnie de Jésus en 1899, ordonné prêtre en 1911, il a prononcé ses vœux solennels en 1918 tout en poursuivant des études scientifiques. En 1922, il obtint un doctorat ès sciences. Sa thèse portait sur l'étude des premiers mammifères, il y a entre soixante-dix et cinquante millions d'années.

Teilhard de Chardin ne dissocia jamais la science de la foi. Très jeune, il éprouve «la passion de l'Absolu»; «aussi loin que je remonte dans mes souvenirs (dès l'âge de dix ans), je remarque en moi l'existence d'une passion nettement dominante: la passion de l'Absolu.

Évidemment, je ne donnais pas encore ce nom à l'inquiétude qui me pressait, - mais, aujourd'hui, je puis la reconnaître sans hésitation possible. Le besoin de posséder, en tout, «quelque Absolu» était l'axe de ma vie intérieure. Parmi les plaisirs de cet âge, je n'étais heureux... que par rapport à une joie fondamentale, laquelle consistait, généralement, dans la possession (ou la pensée) de quelque objet plus précieux -, plus rare, plus consistant, plus inaltérable. Tantôt, il s'agissait de quelque morceau de métal. Tantôt, par un saut à l'autre extrême, je me complaisais dans la pensée de Dieu-Esprit... Si, dès mon enfance, et depuis lors avec une plénitude et une conviction grandissante, j'ai toujours aimé et scruté la Nature, je puis donc dire que ce n'est pas en savant, mais en dévot. - Il me semble que chez moi tout effort, même portant sur un objet purement naturel, a été, de tout temps, un effort religieux, et substantiellement unique. J'ai conscience d'avoir toujours visé en tout à atteindre de l'Absolu».

Le jugement du théologien Hans Küng sur Teilhard confirme celui de nombreux savants: «Pierre Teilhard de Chardin a eu le mérite, au-dessus de tout éloge, d'avoir le premier uni de façon géniale, dans une pensée unique, la théologie et les sciences de la nature, et d'avoir amené de façon provocante scientifiques et théologiens à réfléchir à leur commune problématique». FIN

Le modèle cosmologique de Teilhard de Chardin forme un ensemble cohérent mais ouvert. Teilhard avait insisté lui-même sur le fait que ses vues ne constituaient pas un système fermé, un cadre définitif de vérité mais des «lignes de pénétration par où s'entrouve devant nos yeux une immensité du Réel encore inexploré» il a présenté une phénoménologie dans un cadre scientifique plutôt qu'une analyse métaphysique.

Pour Teilhard, l'univers est en évolution. Soumis au temps, il est non achevé mais en état de création continue. L'évolution n'est pas créatrice en fait mais elle est «l'expression pour notre expérience, dans le Temps et l'Espace, de la création». Cette évolution a un sens. Elle tend vers une plus grande complexité depuis les particules élémentaires du début de l'univers jusqu'à l'homme.

L'apparition de la vie, bien que fait rare, est le phénomène capital de cet entraînement de tout l'univers. L'évolution de la vie elle-même est au coeur du mouvement. La cosmogénèse devient biogénèse. On observe chez les êtres vivants une évolution biologique. Elle consiste à une céphalisation, un accroissement du système nerveux.

L'esprit humain est la résultante de cette complexification qui se poursuit. L'homme est ici non pas un accident, un hasard mais une résultante naturelle et logique de ce développement de la vie. Si la matière devient vie, la vie devient homme. L'homme possède le plus haut niveau de complexité et c'est en cela qu'il est le sens de ce mouvement irréversible de tout l'univers.

Mais l'homme est lui-même en devenir. L'évolution se poursuit en lui. L'anthropogénèse succède à la biogénèse. Si les possibilités biologiques de complexification de l'homme en tant qu'individu semblent minces et que l'on constate peu de changements dans l'organisation de son cerveau depuis quelques dizaines de milliers d'années, le mouvement épouse la forme du phénomène social, de la planétisation, la fonte en un seul bloc du genre humain. Organiquement, le social succède au particulier.

«L'Humanité se constitue de plus en plus en un organisme doué d'une physiologie et, comme on dit maintenant, d'un «métabolisme» commun. Nous pouvons bien nous plaire à dire que ces liens sont superficiels, et que nous les détendrons si nous voulons. En attendant, ils se consolident chaque jour davantage, par le jeu combiné de toutes les forces qui nous entourent; et l'Histoire montre que, dans l'ensemble, leur réseau, tissé sous l'influence de facteurs cosmiques irréversibles, n'a jamais cessé de se resserrer. Autour de nos vies particulières, une Vie humaine générale va donc s'établissant irrésistiblement».

Cette symbiose de la race humaine que l'on observe par exemple tant dans l'organisation politique (O.N.U., droit international) économique (marché commun, libre échange, etc) n'est que l'effet de cette complexification.

L'humanité ainsi planétarisée va atteindre un niveau supérieur de pensée, de liberté et de conscience\*.

Détour: \* «L'homme n'est pas autre chose que l'Évolution devenue consciente d'elle-même». [Julian Huxley, philosophe et biologiste anglais (1887-1975)]. FIN

La tâche de l'homme est de prolonger par l'action le mouvement dont il est conscient.

«Je l'ai souvent dit, et je le répète: sur des monceaux de blé, de charbon, de fer, d'uranium - sous quelque pression démographique que ce soit, - l'Homme de demain fera la grève s'il perd jamais le goût de l'ultra-humain. Et non pas un goût quelconque: mais un goût violent et profond; un goût constamment montant avec les accroissements en lui du pouvoir de vision et d'action; un goût, autrement dit, capable de devenir paroxysmal aux approches du paroxysme final qu'il est chargé de préparer».

Le mouvement est irréversible. La Conscience, vue dans son ensemble avance mais ne recule pas. S'il y avait échec, la faute en serait à l'Homme et non pas au processus. Autrement, ce serait l'absurdité. Une telle idée écarte le concept d'un cosmos cyclique comme on le retrouve chez l'hindouisme ou encore d'un univers clos sur lui-même. «L'évolution cosmique poursuit une oeuvre de nature personnelle».

La morale est vue comme ce devoir de l'homme de participer au mouvement, qu'il soit appliqué à l'homme pris isolément ou à la race humaine entière.

Tout en respectant la diversité des hommes, l'humanité unifiée converge vers ce que Teilhard de Chardin a appelé le point Oméga. Immanent, transcendant, Centre des Centres, le point Oméga est d'essence spirituelle. Il est une conscience d'une supériorité infinie par rapport à la nôtre. Le Christ considéré comme Verbe, incarnation de Dieu est le moteur suprême de toute la cosmogénèse, à la fois personnel et universel. A la Parousie, au retour du Christ glorieux sur terre, le Christ et le point Oméga ne feront qu'un.

Dieu, bien qu'il soit aux origines du monde est au coeur de l'évolution. Il entraîne l'univers dans un mouvement dynamique, non du début mais de la fin, comme s'il attirait le monde vers Lui. L'univers n'est pas un produit de la surabondance

de Dieu mais comme un achèvement pour l'Être Absolu lui-même. Le mal ici est inévitable. Il est le désordre inhérent à un cosmos temporel en voie d'ordre, seul type de création que pouvait réaliser Dieu «non point du tout par impuissance... mais en vertu de la structure même du Néant sur lequel Il se penche».

Cette conception du monde se rapproche de la première que nous avons identifiée en ce sens que Dieu intervient constamment dans l'univers en soumettant les forces qui le constituent à sa volonté. Certes, cette action constante de Dieu, cette création continue n'est pas incompatible avec l'hypothèse déterministe de la même manière que peut l'être l'action arbitraire du Dieu personnel de la tradition. Il faudrait toutefois pouvoir en démontrer la nécessité, ce que ne peut faire le raisonnement purement scientifique. La seule façon de démontrer qu'un principe spirituel est à l'oeuvre dans le devenir du monde, ce serait de prouver qu'une main visible conduit ce devenir vers la perfection. Ce que Teilhard de Chardin tente de faire en montrant que l'univers tend vers la complexité et la conscience qu'elle rend possible. Ce raisonnement est convaincant... jusqu'à l'homme, quoiqu'il faille le rendre compatible ultimement avec le second principe de la thermodynamique selon lequel l'univers évolue inexorablement vers l'uniformité de la mort.

Peut-on faire l'hypothèse que l'heureux mouvement vers la complexité se poursuit de la même manière avec l'homme? Cela équivaudrait à nier la liberté de ce dernier, car qu'est-ce que la liberté si elle ne consiste pas dans le pouvoir de préférer le mal au bien? Cela équivaudrait aussi à affirmer l'impossibilité d'une catastrophe finale pour l'humanité. Or la bombe H et les armes chimiques, de même que les atteintes à l'environnement rendent une telle catastrophe finale plus probable qu'un paradis sur terre comme celui que propose Teilhard de Chardin à l'humanité angoissée. On comprend donc que la pensée de Teilhard ait toujours été rejetée énergiquement aussi bien par les pessimistes que par les chrétiens qui croient que le royaume de Dieu n'est pas de ce monde.

Encadré: SIMONE WEIL (1909-1943)

Soeur cadette d'André Weil, un enfant prodige qui allait devenir l'un des proches collaborateurs d'Einstein, fille d'un médecin qui adhérait aux dogmes positivistes de la science de son époque, Simone Weil a eu la rigueur comme langue maternelle; une rigueur alliée, dès le plus jeune âge à une passion de l'absolu qui inspira le commentaire suivant au philosophe Gustave Thibon, l'ami à qui elle avait confié ses principaux manuscrits. «Elle connaissait, elle vivait la distance

désespérante entre «savoir» et «savoir de toute son âme» et sa vie n'avait pas d'autre but que d'abolir cette distance». Cette passion de l'absolu la conduisit à l'usine, puis à la guerre d'Espagne, puis en Italie, dans les lieux, Assise en particulier, qui avaient inspiré saint François. Elle devait mourir en Angleterre, où elle était venue, après un détour par les États-Unis, conduite par son désir de se rapprocher de ses compatriotes. Et à trente-quatre ans, en dépit d'une vie très active et d'une migraine qui ne lui laissait guère de répit, elle avait accompli une oeuvre dont on n'a pas encore mesuré l'ampleur et la qualité. Albert Camus, celui qui a publié plusieurs de ses oeuvres, (Oppression et liberté, L'Enracinement, La Condition ouvrière, Pensées sans ordre concernant l'amour de Dieu) dans la collection Espoir chez Gallimard, a écrit à son sujet: «Il me paraît impossible d'imaginer pour l'Europe une renaissance qui ne tienne pas compte des exigences que Simone Weil a définies».FIN

Il nous reste à examiner la solution de Simone Weil. Disons d'entrée de jeu qu'elle a l'inconvénient de ne pouvoir être comprise qu'à travers une expérience de la beauté du monde qui, sans nécessairement être d'ordre mystique, n'en constitue pas moins un événement intérieur incommunicable sur le plan objectif où s'élaborent les preuves de la science.

«On ne peut, dit-elle, écouter un chant parfaitement beau sans aimer l'auteur du chant et le chanteur». De même on ne peut être touché par la beauté du monde sans aimer l'auteur de cette beauté.

L'analogie entre le monde et une oeuvre d'art est ici essentielle. L'explication de l'univers par la force suggère l'image d'une machine et à l'origine, celle d'un mécanicien. D'où, chez Descartes, l'idée d'un Dieu horloger.

Dès lors que l'on fait intervenir un principe autre que la force, l'analogie avec l'oeuvre d'art s'impose. Ce principe autre en effet ne peut être que la forme. Certes si on s'en tient à l'idée abstraite que le monde doit être conforme à une forme parfaite, le cercle par exemple, il n'est pas nécessaire qu'on le compare à une oeuvre d'art. Les rouages circulaires de Ptolémée font beaucoup plus penser à une machine qu'à une oeuvre d'art. La vision du monde de Simone Weil est à la fois plus moderne que celle de Ptolémée en ce sens qu'elle reconnaît l'explication par la force telle que la science l'a élaborée; et plus ancienne en ce sens qu'elle remonte à une conception de l'acte créateur du monde antérieure à celle de Ptolémée.

Simone Weil est moderne. A défaut d'autres témoignages, son admiration pour Spinoza, égale à celle d'Einstein, le prouverait. Elle adhère à l'idée que les phénomènes sont déterminés par des forces qui elles-mêmes obéissent à des lois. Elle retient l'hypothèse déterministe, quoiqu'elle préfère le mot nécessité pour désigner la même réalité. Mais ce monde soumis à la nécessité est beau. Nous le savons par expérience. Ce mélange de force et de beauté ne peut s'expliquer, nous dit Simone Weil, que par analogie avec l'oeuvre d'art.

Il se trouve que Platon a construit le Timée, l'oeuvre où il expose sa vision du monde autour de l'analogie entre la création du monde et l'oeuvre d'art. Le démiurge (le créateur) nous dit Platon, a contemplé le modèle parfait, incorruptible avant de se mettre à l'oeuvre. «Tout ce qui se produit vient nécessairement d'un auteur. Il est tout à fait impossible que sans auteur, il y ait production. Quand l'artiste regarde vers ce qui est éternellement identique à soi-même et que, s'y appliquant comme à un modèle, il en reproduit l'essence et la vertu, de la beauté parfaite est ainsi nécessairement accomplie. S'il regarde vers ce qui passe, si son modèle passe, ce qu'il fait n'est pas beau».

Tous les éléments qui constituent un tableau, toutes les notes présentes dans une oeuvre musicale sont soumises aux lois de la nature, à la nécessité. Il n'empêche que l'ensemble nous touche non pas à la façon d'une force d'attraction irrésistible - force que possèdent certains champignons ou que l'on retrouve dans les formes basses de sexualité - mais à la manière d'un sourire suppliant. Cela, nous dit Simone Weil, ne peut s'expliquer que si l'on pense, comme Platon, «que le Bien règne sur la nécessité par la persuasion». Ce rapport ineffable entre le Bien et la nécessité constitue à la fois l'essence du monde et l'essence de l'inspiration artistique.

Le démiurge, précise Simone Weil «ne fait pas violence aux causes secondes pour accomplir ses fins. Il accomplit toutes ses fins à travers le mécanisme inflexible de la nécessité sans y fausser un seul rouage. Sa sagesse reste en haut (et quand elle descend, c'est, comme nous le savons, avec la même discrétion). Chaque phénomène a deux raisons d'être dont l'une est sa cause dans le mécanisme de la nature, l'autre sa place dans l'ordonnance providentielle du monde, et jamais il n'est permis d'user de l'une comme d'une explication sur le plan auquel appartient l'autre».

Par ordre providentiel du monde, il faut entendre non pas une intervention spéciale de Dieu, ce qui serait incompatible avec son respect des mécanismes de la nature, mais le sens, la poésie dont s'enrobe chaque phénomène du fait

qu'il est partie d'un Tout possédant la beauté. Ainsi, dans une pièce musicale, tel accord est conforme à des lois acoustiques qui, elles-mêmes respectent les lois physiologiques de la perception du son, mais en même temps il a un sens, un charme particulier en raison de sa participation à la beauté de l'ensemble.

Du point de vue de la science, la principale critique que l'on peut faire d'une telle vision du monde tient au fait que le concept de déterminisme ou de nécessité dont parle Simone Weil perd de sa pertinence et de sa validité au fur et à mesure que l'on descend dans l'infiniment petit.

Simone Weil répond aux objections de ce genre par une critique de la science la plus avancée, à qui elle reproche de s'enfermer dans des abstractions telles qu'il paraît impossible qu'on puisse jamais en tirer une vision du monde, c'est-à-dire une représentation de ce dernier qui puisse être comprise de tous. Ces abstractions certes, permettent d'agir efficacement sur le monde, mais loin de constituer une vision du monde, une telle action, la technique, constitue un ensemble de prodiges où l'homme voit un reflet de sa puissance si séduisant qu'il en oublie de contempler le monde.

Si l'on s'en tient à l'idée de nécessité, on peut élaborer une vision du monde qui, en plus d'être à la fois intelligible et sensible, correspond à l'expérience humaine la plus commune, celle du travailleur manuel. L'enchaînement inflexible des lois de la nature est tel qu'à la fin d'une journée de travail les fardeaux sont plus lourds qu'au début.

Simone Weil qui a elle-même travaillé en usine et dans une ferme pendant quelques années de sa vie, voulait unir dans une même représentation les lois de la science, la nécessité du labeur quotidien le plus humble et la beauté du monde. Une beauté qui n'aurait eu aucune affinité avec l'expérience humaine la plus courante, le travail manuel, aurait été inacceptable à ses yeux. La similitude entre sa vision du monde et celle de Spinoza prend tout son sens quand on se rappelle que Spinoza était polisseur de verre. Quant au démiurge de Platon, il était un artisan. «Tous les hommes, même les plus ignorants, même les plus vils, savent que la beauté seule a droit à notre amour. Les plus authentiquement grands le savent aussi. Aucun homme n'est au-dessous de la beauté. Les mots qui expriment la beauté viennent aux lèvres de tous dès qu'ils veulent louer ce qu'ils aiment. Ils savent seulement plus ou moins bien la discerner».