

Séance du 18 octobre 2021

## Le hasard, qui engendre le déterminisme et nous donne la liberté

Jean-Pierre NOUGIER

Professeur émérite à l'Université de Montpellier  
Académie des Sciences et Lettres de Montpellier

---

### MOTS CLÉS

Hasard, déterminisme, liberté, espoir, jeu, Monte Carlo, événements aléatoires, statistique.

### RÉSUMÉ

L'homme a besoin de rationalité, ce qui suppose l'existence d'un déterminisme, ressenti depuis l'Antiquité, et mis en lumière par les progrès des sciences. De nombreux événements, en réalité déterministes, sont attribués au hasard par le seul fait de notre ignorance. L'homme a aussi besoin de liberté, mais la liberté est compatible avec le déterminisme. La science a aussi montré que l'évolution de l'Univers et en particulier de la vie sont gouvernés par le hasard (physique des particules élémentaires, mutations génétiques, etc...). En fait, le hasard répété devient statistique, et la statistique confine au déterminisme, en ce sens le hasard engendre le déterminisme. C'est aussi le hasard qui nous rend libres et nous donne l'espoir.

---

### KEY WORDS

Chance, determinism, freedom, hope, gambling, Monte Carlo, random events, statistics.

### ABSTRACT

Man needs rationality, which presupposes the existence of determinism, which has been felt since Antiquity and has been brought to light by the progress of science. Many events that are actually deterministic are attributed to chance by the mere fact of our ignorance. Man also needs freedom, but freedom is compatible with determinism. Science has also shown that the evolution of the Universe and in particular of life is governed by chance (physics of elementary particles, genetic mutations, etc.). In fact, repeated chance becomes statistics, and statistics borders on determinism, in this sense chance generates determinism. It is also chance that makes us free and gives us hope.

---

Nota : Je suis très reconnaissant au Professeur André Gounelle pour avoir bien voulu lire mon manuscrit et pour les commentaires qu'il m'a faits à son sujet, dont certains ont été inclus dans ce texte et mentionnés en références.

### Introduction

Comment se construit le monde où nous vivons ? Par des successions de hasards ? De façon déterministe ? Est-il l'œuvre d'un "grand architecte de l'Univers" ? Sommes-

nous libres ou esclaves d'un déterminisme universel ? Je ne prétends évidemment pas répondre à ces questions, mais mon propos est en rapport avec elles. Dans un premier paragraphe, je montrerai que nombre de phénomènes attribués au hasard sont en fait déterminés. Cependant, le hasard existe bel et bien, et il gouverne l'évolution de l'Univers (paragraphe 2). Puis, je montrerai au paragraphe 3 comment le hasard engendre le déterminisme, et, au paragraphe 4, en quoi il nous rend libres, avant de conclure.

## 1. Déterminisme et liberté : où le hasard n'existe pas

### 1.1. Notion de déterminisme

La notion de déterminisme est en fait apparue avec l'essor des sciences, au XVIII<sup>ème</sup> siècle. Mais elle était sous-jacente bien avant, en particulier dans la relation de l'homme avec la ou les divinités censées gouverner le monde. Le sentiment est inné chez l'homme que tout effet a une cause. Et, lorsque l'on ne comprend pas la cause, on l'attribue à la volonté divine. C'est vrai en particulier pour les catastrophes naturelles, que les religions polythéistes expliquent aisément par les jalousies, les querelles et les vengeances des Dieux, dont les effets s'abattent sur l'homme impuissant. Il en est de même pour les événements plus directement liés à l'activité humaine, dont l'issue dépend du bon vouloir de la volonté divine. Alors, on consulte les auspices pour savoir si les Dieux sont favorables ou non, et le célèbre « *alea jacta est* » de Jules César franchissant le Rubicon est symptomatique à la fois de la croyance que les divinités maîtrisent, donc déterminent, sinon nos actions, du moins leur résultat, et aussi du sentiment concomitant de disposer d'une liberté qui nous permet d'influer sur le cours des événements. Mais parfois, le destin implacable, le *fatum* des latins ou le *einarmené* des grecs, s'imposent même aux dieux à leur corps défendant [1] : le déterminisme est au cœur de la théorie stoïcienne, le débat entre stoïciens et "anti fatalistes" s'est fait jour dès l'Antiquité.

La situation est bien plus délicate pour les religions monothéistes. Contrairement aux dieux grecs ou romains, le Dieu des religions monothéistes peut changer le destin : ainsi le prophète Jonas annonce la fin de Ninive ; mais les ninivites se repentent et, au grand dam du prophète, la catastrophe annoncée ne se produit pas [2]. Dieu, par définition bon, ne pouvant déclencher des catastrophes, celles-ci sont justifiées pour punir les pécheurs. La Genèse rapporte que « *Le Seigneur vit que la méchanceté de l'homme se multipliait sur la terre : à longueur de journée, son cœur n'était porté qu'à concevoir le mal et le Seigneur se repentit d'avoir fait l'homme sur la terre. Il s'en affligea et dit : "J'effacerai de la surface du sol l'homme que j'ai créé..."* » (Gn 6:5-7) ; alors, le Seigneur déclencha le déluge (Gn 6:17). De même, le Seigneur lance les dix plaies sur l'Égypte pour punir Pharaon. Mais, dans un cataclysme ou dans l'adversité ne meurent pas que les mauvais, les bons aussi sont atteints, ce qui crée un sentiment d'injustice, d'affliction ou de détresse, parfois de révolte, décrit notamment dans plusieurs psaumes (voir par exemple les psaumes 10, 43, 44, 74,...), ce qui peut se résumer par la supplique « Mon Dieu, mon Dieu, pourquoi m'as-tu abandonné ? » (Ps. 22:2 et Matt 27:46). Hasard ou vengeance divine ? La querelle entre Voltaire et Rousseau suite au séisme du 1<sup>er</sup> novembre 1755 à Lisbonne, qui fit 50 à 70 000 victimes parmi les 275 000 habitants de la ville, posa le problème de la responsabilité humaine, même face aux catastrophes naturelles (on pourra lire par exemple, parmi tant d'autres articles, les références [3] et [4]).

Se pose alors le problème de la liberté de l'homme face "à la nature" pour les uns, face "à Dieu" pour les autres, et notamment la possibilité qui lui est offerte d'améliorer

sa condition sur Terre, et surtout de gagner le Paradis à sa mort, question cruciale au XVI<sup>ème</sup> siècle, au point d'être en grande partie responsable de la naissance du protestantisme. L'une des réponses est radicale, c'est la prédestination, qui affirme que l'homme est sauvé par Dieu et pas par ses œuvres. Développée par Augustin, cette logique a été poussée à l'extrême par Jean Calvin : le livre III de son ouvrage *Institution de la religion chrétienne* [5] s'intitule : « *De l'élection éternelle : par laquelle Dieu a prédestiné les uns à salut, les autres à condamnation* ». La théorie de la prédestination a fait l'objet de nombreux débats en catholicisme (dans les querelles autour du jansénisme), comme en protestantisme (adoucissement de la prédestination par l'académie protestante de Saumur, avec Amyraut, contre les calvinistes stricts) [6]. Aujourd'hui, pratiquement tous les chrétiens s'accordent pour postuler que Dieu nous rend libres [7].

On pourrait croire que cette controverse soit d'un autre âge. Or il n'en est rien, elle est au contraire très moderne, car les grandes questions existentielles et mystiques transcendent les âges et les générations [8]. La forme actuelle de la détermination fataliste est la théorie suivant laquelle nous sommes entièrement conditionnés par notre hérédité, par notre patrimoine génétique, pour ce qui concerne non seulement nos particularités physiques, mais aussi notre comportement [9]. Notre destinée ne se lit plus dans le marc de café ni dans une boule de cristal, elle se lit dans notre génome. Et de fait, les tests de prédisposition génétique sont de plus en plus nombreux et de plus en plus précis, ils nous renseignent, par exemple, sur le risque de développer certaines maladies, telles un cancer du sein ou de l'ovaire. Cette problématique se pose tous les jours notamment dans le domaine de la criminalité : un délinquant est-il victime de son patrimoine génétique, ou a-t-il été conditionné par son entourage (on connaît maintenant l'importance de l'épigénétique) ? Dans les deux cas, quel est son degré de responsabilité ? Quelle est notre part de liberté ?

La notion de déterminisme, sous-jacente dans les controverses théologiques évoquées plus haut, se précise avec l'avènement des Sciences. Cependant, même Leibnitz (1646-1716), le père du calcul infinitésimal, n'est pas déterministe au sens moderne du terme, car il cherche, lui aussi, à ménager la création divine avec une part de liberté individuelle.

Il faut attendre le baron d'Holbach (1723-1789) pour lire ([10]) : « *Dans un tourbillon de poussière qu'éleve un vent impétueux, quelque confus qu'il paraisse à nos yeux, dans la plus affreuse tempête excitée par des vents opposés qui soulèvent les flots, il n'y a pas une seule molécule de poussière ou d'eau qui soit placée au hasard, qui n'ait sa cause suffisante pour occuper le lieu où elle se trouve et qui n'agisse rigoureusement de la manière dont elle doit agir. Un géomètre qui connaîtrait exactement les différentes forces qui agissent dans ces cas et les propriétés des molécules qui sont mues, démontrerait que, d'après des causes données, chaque molécule agit précisément comme elle doit agir et ne peut agir autrement qu'elle ne fait.* ».

Pour Laplace (1749-1827), tout état présent dépend nécessairement de l'état antérieur et impose l'état ultérieur. Ce modèle réservé à la mécanique, et plus particulièrement à l'astronomie, est étendu par Claude Bernard (1813-1878) à la biologie ([11], 1<sup>ère</sup> partie, chapitre 2, paragraphe III) : « *il faut croire à la science, c'est à dire au déterminisme, au rapport absolu et nécessaire des choses, aussi bien dans les phénomènes propres aux êtres vivants que dans tous les autres ; ...* ».

Ainsi, le déterminisme est omniprésent dans la nature, au travers des grandes lois fondamentales telles que l'attraction universelle ou l'électromagnétisme, mais aussi dans les constructions humaines, aussi bien conceptuelles (invention de certains jeux tels les échecs, constructions mathématiques, etc...) que concrètes : qui s'embarquerait dans un vol Paris-New-York si l'arrivée à New-York dépendait du hasard ?

## 1.2. Où le hasard n'existe pas

Le mot « hasard » viendrait lui-même d'un mot arabe signifiant « jeu de dés », de même que « aléatoire » vient du latin « *alea* ». Mais le lancer de dés est-il un jeu de hasard ? En réalité, si nous connaissions tous les paramètres initiaux du lancer (position, orientation, vitesse et moment cinétique), et tous les paramètres de la surface de réception (aspérités, coefficient de frottement, énergie absorbée à chaque rebond, etc...), nous pourrions calculer le résultat du lancer. Des simulations numériques ont même montré que, dans la plupart des cas, le résultat d'un lancer n'était pas équiprobable, même pour un dé parfaitement symétrique [12]. Un lancer de dés est purement déterministe, le hasard n'existe pas, c'est notre ignorance qui le crée.

Il en est ainsi des systèmes dits chaotiques, qui sont, en réalité, des systèmes déterministes dont l'évolution dépend fortement de très faibles variations des conditions initiales, de sorte que leur dynamique crée très vite une complexité difficile à maîtriser.

Le hasard est-il compatible avec un univers déterministe au sens de Laplace ? Si oui, le hasard n'a pas d'existence objective, la probabilité, comme dans le jet de dés, ne dépend pas du hasard mais seulement de notre ignorance, ou du degré de connaissance qui nous permet d'apprécier de façon seulement partielle les causes du déterminisme : « Le hasard n'est que la mesure de notre ignorance » [13].

## 1.3. Déterminisme et liberté

Parallèlement à la notion de déterminisme, nous sommes convaincus que nous avons une certaine liberté, c'est-à-dire la possibilité d'agir en fonction de notre propre volonté. Plus précisément, nous pensons que, dans un environnement donné, nous agissons d'une certaine manière, avec certaines conséquences, et qu'une autre personne dans les mêmes conditions pourrait agir d'une autre manière, avec d'autres conséquences, c'est-à-dire que nous pouvons avoir par notre personnalité une certaine influence sur le déroulement des événements. La vie ne vaudrait pas la peine d'être vécue si nous n'étions que des imprimantes, c'est-à-dire des individus (des objets) dont la seule possibilité consisterait à transcrire ce qui est écrit par ailleurs.

Les religions, qui ont pour but de donner un sens à la vie, érigent des dogmes pour tenter de concilier notre liberté avec le déterminisme découlant de la volonté divine.

– Dans les religions polythéistes, les Dieux règlent leurs petites affaires entre eux, et nous utilisent quand cela les arrange, c'est la partie déterministe, nous sommes alors soumis à leur volonté. Mais, quand ils n'ont pas besoin de nous, ils nous laissent tranquilles et nous sommes libres. Quand les hommes s'affrontent au combat, les uns prient Minerve, les autres Mars, et les Dieux s'entendent entre eux ou se querellent pour décider lequel des deux camps gagnera la bataille.

– Le problème est plus difficile à résoudre pour les religions monothéistes : elles postulent à la fois que Dieu est bon, qu'il voit tout, sait tout et fait tout (ou est en mesure de tout faire, en particulier de vaincre toute puissance qui s'opposerait à lui), mais en même temps qu'il nous donne la liberté : c'est, par exemple, le passage de la Genèse cité plus haut qui nous dit que Dieu a donné à l'homme la liberté de concevoir et de faire le mal, ce qui n'a pas plu à Dieu, ou encore le livre de Jonas où les ninivites ont eu la possibilité de modifier leur destin en se repentant. Mais où est la liberté de faire le mal si Dieu nous punit après nous avoir laissé faire [14]. ? Les ninivites étaient-ils libres de se repentir après avoir été menacés de destruction à cause de leur conduite [15] ?

– Quant aux agnostiques, au mieux ils entendent les sages conseils de Montaigne, et suivront ainsi la voix de la raison sans trouver les chemins de l'espérance ; au pire ils

adhéreront à une idéologie révolutionnaire ou fasciste et s'entretueront au prétexte de construire un paradis terrestre, rejoignant ainsi les fanatiques religieux qui s'entretuent au nom d'un Dieu de paix pour gagner le paradis céleste. Entre ces deux extrêmes, on trouvera ceux qui croient aux progrès de l'humanité par la naissance et le développement des civilisations.

Et pourtant, dans un monde déterministe, nous disposons bel et bien d'une certaine marge de manœuvre, de certains degrés de liberté. En effet, si nous admettons que tout événement survenant à un objet (ou une personne) est conditionné par l'interaction entre cet objet et son environnement, il suffit pour un événement survenant à un objet donné de définir "le système" auquel il appartient, c'est-à-dire de chercher quels sont les éléments susceptibles d'interagir avec cet objet : si je fais partie de ces éléments (ou *a fortiori* si je suis l'objet en question), alors j'ai la possibilité d'agir sur l'événement, je dispose donc d'une certaine liberté qui me permet plus ou moins d'influer sur le cours des choses. Bien évidemment, dans certaines circonstances, mes possibilités d'action seront très limitées, dans d'autres, elles seront plus grandes, car tous les facteurs n'agissent pas de la même manière, n'ont pas tous la même importance, suivant les situations. En ce sens, la liberté est compatible avec le déterminisme : c'est mon existence elle-même, le fait que je sois vivant, donc que je puisse agir, qui crée *de facto* ma liberté. La liberté n'est pas l'absence de contraintes, c'est la possibilité d'agir sur (ou dans le cadre de) ces contraintes ; ce n'est pas l'absence de déterminations, c'est la possibilité d'agir sur (ou dans le cadre de) ces déterminations.

Le monde nous apparaît donc comme déterministe, mais le déterminisme ne tue pas la liberté. La meilleure preuve en est de constater combien l'homme a pu agir sur son propre destin (augmentation de sa durée de vie de 25 ans en un siècle, possibilité d'autodestruction avec des armes atomiques) et sur son environnement (modification des paysages, modification du climat).

## 2. Le hasard, maître de l'Univers

Un phénomène survient par hasard lorsque nous ne l'avions pas prévu, soit par inadvertance, soit par ignorance. Cela signifie-t-il que le hasard n'existe pas en dehors de notre manque de connaissance ? Certainement pas.

L'Univers est constitué de particules élémentaires, qui n'obéissent pas aux lois de la mécanique classique, mais à celles de la mécanique quantique. Or, ces lois nous enseignent qu'il nous est impossible de connaître l'état dans lequel se trouve une particule élémentaire, mais seulement la probabilité pour qu'elle se trouve dans tel ou tel état. Il s'agit là d'une indétermination intrinsèque, fondamentale, due non pas à notre ignorance, mais à la nature même des choses. Un exemple simple, que j'ai déjà donné dans une conférence précédente ([16] §2.5), qui nous permet d'apprécier cette indétermination, est celui de la lumière polarisée : si nous envoyons un flux lumineux à travers un filtre polarisant appelé polariseur, la lumière traversant ce filtre est polarisée (par exemple verticalement si le polariseur est vertical). Si nous interceptons ce faisceau sortant par un autre filtre polarisant, appelé analyseur  $A$  : si  $A$  est vertical, il laisse passer toute la lumière ; si  $A$  est horizontal, il ne laisse passer aucune lumière ; si  $A$  est incliné à 45 degrés, la moitié de la lumière passe ; or, la lumière est constituée de particules, les photons, ce qui signifie que la moitié des photons passent et que l'autre moitié est arrêtée, ou encore qu'un photon a une probabilité  $\frac{1}{2}$  de passer ; que se produit-il si nous envoyons un flux lumineux constitué par un seul photon (aujourd'hui on sait le faire !) : il a une chance sur deux de passer, une chance sur deux d'être arrêté par le filtre  $A$ , et ce résultat

est totalement imprévisible, par nature aléatoire, de façon structurelle et indépendante de notre degré de connaissance. Or, toute la matière de l'Univers est constituée de particules : chaque particule obéissant aux lois du hasard, on peut affirmer que notre monde n'obéit qu'aux lois du hasard.

L'importance de ce hasard se manifeste non seulement à l'échelle atomique, mais aussi à notre échelle : ainsi a-t-il fallu qu'un astéroïde percute la Terre dans la province du Yucatan au Mexique, il y a 66,038 millions d'années, justement en l'un des 13 % d'endroits de notre planète [17] où il pouvait produire un cataclysme permettant de détruire 75 % des espèces vivant sur Terre, dont les dinosaures, pour que les mammifères puissent se développer et pour que l'Humanité puisse voir le jour. Ce phénomène était-il prévisible au moment du big-bang ?

De même, l'évolution nous enseigne que les mutations génétiques s'effectuent de façon totalement aléatoire [18], de sorte que nous sommes le fruit du hasard, certes sélectif, car parmi toutes les mutations, seules les mieux adaptées à leur environnement prédominent, mais du hasard tout de même. Ainsi le hasard le plus total crée-t-il des populations, dominantes si les modifications engendrées entraînent un comportement mieux adapté à l'environnement, régressives dans le cas contraire.

Qu'en est-il de la ronde immuable des étoiles dans le ciel, ce bel ordonnancement qui émerveillait les Anciens, dont le mouvement régulier et intemporel inspirait le déterminisme de Laplace ? Immuable, ou tout au moins ordonné, à l'échelle humaine certes, mais à l'échelle des temps géologiques ? La galaxie d'Andromède se dirige vers nous, qu'advient-il dans 5 milliards d'années quand elle entrera en collision avec la Voie Lactée ? Quelles étoiles seront simplement déviées de leur trajectoire, quelles étoiles entreront en collision ? Comment se structurera la galaxie géante elliptique qui émergera de ce processus ? Tout cela était-il prévisible au moment du big-bang ? Aujourd'hui peut-être, deux étoiles neutrons entrent en collision quelque part dans l'univers, créant les éléments lourds qu'une étoile seule ne peut produire, et semant tout autour d'elles les germes de la vie, car nous sommes poussière d'étoiles, ou plus exactement nous sommes construits à partir de poussières d'étoiles ([19], p. 149).

La Science, elle-même, est-elle déterministe ? D'une part, ses progrès ne sont pas réguliers, elle avance souvent par à-coups, par fractures, par percées spectaculaires. Certaines découvertes ont été faites par hasard : les rayons X découverts, le 8 novembre 1895, par Wilhem Röntgen (1845-1923) ; la radioactivité naturelle en 1896 par Henri Becquerel (1852-1908), la pénicilline en 1929 par Alexander Fleming (1881-1955), le fond diffus cosmologique en 1964 par Arno Penzias (1933-) et Robert Wilson (1936-), etc... D'autre part, la plupart sont dues au génie et au travail d'immenses savants : Galileo Galilée, Isaac Newton, Albert Einstein, Alan Turing, etc... Mais qui est Albert Einstein ? C'est un spermatozoïde, qui, *par hasard* parmi plus de 40 millions d'autres spermatozoïdes, a fécondé un ovule ; si un autre spermatozoïde avait fécondé le même ovule, ou si ce même spermatozoïde avait fécondé un autre ovule, Einstein n'aurait pas été Albert et n'aurait pas fait ses découvertes [20] ! Je reviendrai au paragraphe suivant sur les découvertes scientifiques.

Ainsi le comportement des particules élémentaires, les phénomènes cosmiques, l'évolution de la vie, celle de la science elle-même, sont le fruit du hasard : l'Univers tout entier et son évolution sont soumis aux lois du hasard.

Nous pensons que l'Univers était sous l'emprise du déterminisme, l'expérience nous montre qu'il s'est construit et qu'il évolue selon les seules lois du hasard.

### 3. Le hasard engendre le déterminisme

Et cependant, le déterminisme existe bel et bien, c'est d'ailleurs sur ce principe même que s'est construite la Science : les mêmes causes produisent les mêmes effets, et l'on connaît les succès de la Science, qui nous ont permis, par exemple, de faire atterrir, le 2 novembre 2014, le robot Philae sur la comète Tchouri, longue de 5 km, à 570 millions de km de la Terre (soit 3,8 fois la distance Terre-Soleil) après un voyage interplanétaire de 6,5 milliards de km ayant duré 10 ans [21]. Le déterminisme existe :

- dans les grandes lois de la physique classique (électromagnétisme, attraction universelle, etc...),
- dans les constructions humaines,
- dans le hasard lui-même !

Reprenons l'exemple de la lumière polarisée verticalement, interceptée par un analyseur orienté à  $45^\circ$  : si l'on fait l'expérience avec un seul photon, sa probabilité de traverser l'analyseur est 0,5, il a une chance sur deux de passer, on a donc autant de risques de se tromper en affirmant qu'il passe ou qu'il ne passe pas. Mais si l'on envoie 1000 photons, environ 500 passeront et 500 ne passeront pas. En envoyant un faisceau de lumière jaune de longueur d'onde 577 nm de puissance 1 watt, qui contient environ 3 milliards de milliards de photons, on est pratiquement certain de recueillir à la sortie un faisceau de lumière jaune de  $\frac{1}{2}$  watt, soit environ 1,5 milliard de milliards de photons : le hasard correspondant à une incertitude totale sur une particule a construit une quasi-certitude en agissant un grand nombre de fois : le hasard répété construit le déterminisme.

Il existe d'ailleurs en mathématiques des méthodes dites de Monte-Carlo qui permettent de résoudre des problèmes parfaitement déterministes à l'aide de nombres aléatoires. Donnons-en un exemple simple. Supposons que nous voulions déterminer la valeur du nombre  $\pi$ , qui est parfaitement déterminée (et calculée depuis le 16 août 2021 avec plus de 62 800 milliards de décimales [22]). Sachant que la surface d'un cercle de rayon  $R$  vaut  $\pi R^2$ , traçons sur un terrain horizontal un carré  $A, B, C, D$  de côté 1 (1m, ou 1décamètre, ou un ce que vous voulez), et le quart de cercle de rayon  $AB = 1$  inscrit dans ce carré (figure 1). La surface du carré vaut  $AB \times AD = 1$ , celle du quart de cercle vaut  $\frac{\pi AB^2}{4} = \frac{\pi}{4} = 0,785398\dots$  Par conséquent : (surface du quart de cercle)/(surface du carré) =  $\frac{\pi}{4} = 0,785398\dots$

Il ne nous reste plus qu'à attendre qu'il pleuve et à compter le nombre de gouttes de pluie tombant dans le carré  $ABCD$ , soit  $N$  ce nombre. Parmi elles,  $n$  sont tombées dans le quart de cercle. Il est évident, d'une part, que l'endroit où arrive au sol une goutte d'eau est un phénomène aléatoire, d'autre part, que, sur une surface deux fois plus grande, il tombe *en moyenne* deux fois plus de gouttes : le nombre de gouttes tombant sur une surface est proportionnel à cette surface. Par conséquent,  $n/N \approx \pi/4$ .

Une méthode de Monte-Carlo consiste à générer ces gouttes de pluie par ordinateur, au moyen d'une suite de nombres aléatoires à distribution uniforme entre 0 et 1 : au premier nombre on associe une abscisse  $x_1$ , au second une ordonnée  $y_1$ , d'où un point représentatif  $P_1$  de l'endroit où tombe la première goutte de pluie et qui se trouve nécessairement dans le carré  $ABCD$  ; si la distance entre les points  $A$  et  $P_1$  est inférieure à 1, c'est à dire si  $x_1^2 + y_1^2 \leq 1$ ,  $P_1$  est dans le quart de cercle. En effectuant ainsi  $N$  essais, c'est à dire  $N$  tirages de couples aléatoires, on est ainsi capable de connaître le nombre  $n$

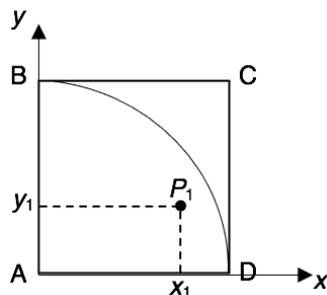


Figure 1 : Exemple de méthode de Monte-Carlo

de points dans le quart de cercle, ce qui donne  $n/N \approx \pi/4$ . Cet exemple est très instructif de la façon dont le hasard peut construire le déterminisme : en effet, il est évident que si l'on tire au sort un seul point, on n'obtiendra en aucune façon le résultat, non plus avec 3 tirages au sort. Mais, au fur et à mesure que le nombre d'essais augmente, on s'approche de la valeur  $\pi/4$ , et plus ce nombre augmente, plus la précision sur la valeur de  $\pi/4$  augmente [23]. La figure 2 montre la précision obtenue : on y a reporté, en fonction du nombre d'essais  $N$ , l'intervalle de confiance (dénommé ici "Erreur  $e$ ") au risque 5% ; cette figure se lit de la façon suivante : parmi les  $N$  essais,  $n$  tombent dans le quart de cercle. La valeur de  $\pi/4$  est comprise entre  $n/N - e$  et  $n/N + e$ , et en posant cette affirmation le risque de se tromper est 5 %. Exemple : on lit sur la figure 2 :

– pour  $N = 100$ ,  $e = 0,08$  donc  $\pi/4$  est compris entre  $n/N - 0,08$  et  $n/N + 0,08$  :  $\pi/4 = n/N \pm 0,08$

– pour  $N = 300$ ,  $e = 0,05$  donc  $\pi/4$  est compris entre  $n/N - 0,05$  et  $n/N + 0,05$  :  $\pi/4 = n/N \pm 0,05$

La figure 2 montre que, plus le nombre d'essais augmente et plus la précision augmente. Par exemple, pour  $N = 100\ 000$ , on aurait  $e = 0,002$  donc  $\pi/4$  serait compris entre  $n/N - 0,002$  et  $n/N + 0,002$ , soit :  $\pi/4 = n/N \pm 0,002$  (toujours au risque 5% de se tromper).

On voit bien sur cet exemple comment se construit le déterminisme à partir du hasard : chaque événement (l'impact d'une goutte de pluie) est aléatoire ; lorsque le nombre d'événements est petit, on ne peut rien en déduire. Mais plus le nombre d'événements est grand, plus le résultat est significatif, c'est-à-dire que la précision augmente, et, avec un très grand nombre d'événements, on obtient une très bonne précision, autrement dit on obtient pratiquement le résultat déterministe. Ainsi, le hasard qui se répète devient-il une statistique, et la statistique confine au déterminisme : le hasard *construit* petit à petit le déterminisme.

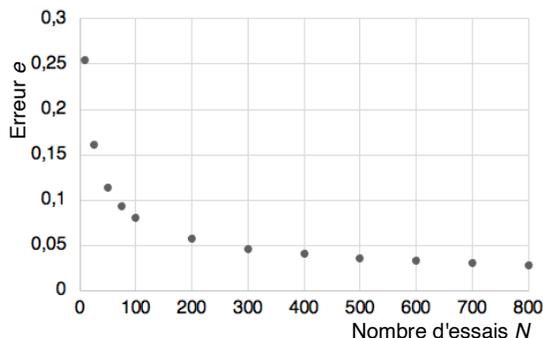


Figure 2 : Erreur  $e$  obtenue, au risque 5 %, en fonction du nombre d'essais  $N$ .

Voici deux autres exemples, qui montrent que le hasard aboutit à des résultats inéluctables, donc quasiment déterministes.

### Exemple 1 :

Supposons que les individus d'une même espèce soient constitués de deux types  $A$  et  $B$ , porteurs respectivement des gènes  $A$  et  $B$  : ceux porteurs du gène  $B$  sont plus véloce que ceux porteurs du gène  $A$  : ils échapperont plus facilement à leurs prédateurs, donc auront plus de chances d'atteindre l'âge adulte et de se reproduire, ils vont donc devenir dominants.

Imaginons pour fixer les idées que les individus  $A$  aient 50% de chances d'atteindre l'âge adulte contre 70% pour la population  $B$ , et que chaque individu d'une génération engendre 3 individus (c'est-à-dire qu'un couple engendre 6 individus).

- À partir de  $N$  individus  $A$  :  $0,5N$  atteignent l'âge adulte et donnent naissance à  $3 \times 0,5N = 1,5N$  individus au bout d'une génération, soit à l'instant  $T$  plus tard.
- À partir de  $N$  individus  $B$  :  $0,7N$  atteignent l'âge adulte et donnent naissance à  $3 \times 0,7N = 2,1N$  individus en une génération.

Supposons qu'au départ l'on ait 900 individus de type  $A$  (c'est à dire porteurs du gène  $A$ ) et seulement 100 individus de type  $B$  (c'est à dire porteurs du gène  $B$ ), on peut construire le tableau 1 :

– Comment évolue la population de type  $A$  (voir colonne "population  $A$ " du tableau 1) ? À partir de 900 individus à l'instant 0, on en a  $1,5 \times 900 = 1350$  à l'instant  $T$ , puis  $1,5 \times 1350 = 2025$  à l'instant  $2T$ , puis  $1,5 \times 2025 \approx 3038$  à l'instant  $3T$ , etc...

– Comment évolue la population de type  $B$  (voir colonne "population  $B$ " du tableau 1) ? À partir de 100 individus à l'instant 0, on en a  $2,1 \times 100 = 210$  à l'instant  $T$ , puis  $2,1 \times 210 = 441$  à l'instant  $2T$ , puis  $2,1 \times 441 \approx 926$  à l'instant  $3T$ , etc...

Le tableau 1 montre clairement qu'à chaque génération la proportion d'individus de type  $A$  diminue par rapport à celle de type  $B$  (la population  $A$  croît moins vite que la population  $B$ ) : à la 13<sup>ème</sup> génération, la population  $A$  atteignant l'âge adulte ne représente plus que 10,2 % du total, alors qu'elle représentait au départ 90 % de la population, car la population  $A$  a été multipliée par 200 environ alors que, dans le même temps, la population  $B$  a été multipliée par 15 500 environ. En réalité, bien sûr, ces chiffres ne sont qu'approximatifs, le nombre d'individus  $A$  à l'instant  $T$  ne sera probablement pas 1350, ce sera peut-être 1370 ou peut-être 1318, mais on voit bien que le hasard génétique va de façon inexorable engendrer la disparition du type  $A$  au profit du type  $B$ .

Instant	Population $A$	Population $B$	Total	% de $A$
0	900	100	1 000	90,0
$T$	1 350	210	1 560	86,5
$2T$	2 025	441	2 466	82,1
$3T$	3 038	926	3 964	76,6
$4T$	4 556	1 945	6 501	70,1
$5T$	6 834	4 084	10 918	62,6
$6T$	10 252	8 577	18 828	54,4
$7T$	15 377	18 011	33 388	46,1
$8T$	23 066	37 823	60 889	37,9
$9T$	34 599	79 428	114 027	30,3
$10T$	51 899	166 799	218 697	23,7
$11T$	77 848	350 278	428 125	18,2
$12T$	116 772	735 583	852 354	13,7
$13 T$	175 158	1 544 724	1 719 881	10,2

Tableau 1 : Prévalence d'une espèce ayant plus de chances de survie à l'âge adulte

Il est très vraisemblable que ce soit un mécanisme de ce type qui, au cours des siècles, ait engendré la prévalence d'Homo Sapiens sur l'Homme de Neandertal, environ 38 000 ans avant notre ère : les Homo Sapiens sont arrivés dans des régions où l'homme de Neandertal était déjà installé, ils étaient en petit nombre, mais possédaient une meilleure adaptabilité à l'environnement (meilleure résistance au froid, ou aux agents pathogènes locaux, ou importation d'agents pathogènes auxquels l'homme de Neandertal

a moins bien résisté, ou plus grande fécondité d'Homo Sapiens, ou selon un article récent plus grande mortalité infantile de Neandertal [24], etc.) : conformément au schéma du tableau 1, au cours des générations la proportion de Neandertal est devenue négligeable, c'est à dire que Neandertal a pratiquement disparu de la population des hominidés. Dans le modèle imaginé ici, en comptant 25 années par génération, nous voyons que la population  $B$  "élimine" la population  $A$  en environ 13 générations, soit seulement trois à quatre siècles, ce qui est un phénomène brutal, pratiquement instantané, à l'échelle de l'évolution humaine.

### Exemple 2 : la prévalence du variant anglais de la Covid 19

Le taux de reproduction effectif  $R$  du virus SARS-CoV-2 en France varie beaucoup d'une région à l'autre, au 11 mars 2021, il était en moyenne de 1,07 sur l'ensemble du territoire français [25]. Ce virus avait déjà subi plusieurs mutations, dont l'une dite du variant anglais, donnant un virus 30 à 70 % plus contagieux que le virus "normal" : une recommandation de l'OMS est d'augmenter le  $R$  de 0,4 pour le variant anglais [26], ce qui donne  $R = 1,47$ . Cela signifie que, au bout du temps  $T$  pendant lequel un malade est contagieux, un malade atteint de la Covid "normale" contamine 1,07 personne, alors qu'une personne atteinte du variant  $A$  en contamine 1,47. Imaginons que, dans une région, 900 personnes soient atteintes du virus "normal"  $N$  ( $R = 1,07$ ) et 100 personnes soient atteintes du variant anglais  $A$  ( $R = 1,47$ ). On peut alors construire le tableau 2, qui donne l'évolution du nombre de patients atteints du virus normal  $N$  et du variant anglais  $A$ , en supposant que les  $R$  de ces virus conservent la même valeur au cours du temps :

Instant	Nb atteint covid $N$	Nb atteint covid $A$	Nb total covid	% $A$
0	900	100	1000	10,0
$T$	963	147	1110	13,2
$2T$	1030	216	1247	17,3
$3T$	1103	318	1420	22,4
$4T$	1180	467	1647	28,4
$5T$	1262	686	1949	35,2
...				
$14T$	2321	22001	24322	90,5

Tableau 2 : évolution du nombre de patients atteints de la covid normal et du variant anglais

– Considérons (2<sup>ème</sup> colonne du tableau 2) les patients atteints de la covid "normal"  $N$  : de 900 au départ (instant 0), ils sont  $900 \times 1,07 = 963$  à l'instant  $T$ , puis  $963 \times 1,07 \approx 1030$  à l'instant  $2T$ , etc...

– Considérons (3<sup>ème</sup> colonne du tableau 2) les patients atteints du variant anglais  $A$  : de 100 au départ (instant 0), ils sont  $100 \times 1,47 = 147$  à l'instant  $T$ , puis  $147 \times 1,47 \approx 216$  à l'instant  $2T$ , etc...

Ce tableau montre deux choses :

a) À la 14<sup>ème</sup> génération, plus de 90% des patients sont atteints par le variant anglais : celui-ci a pratiquement éliminé le virus "normal". Le temps de contagiosité étant de l'ordre de la dizaine de jours, cela signifie que le virus "normal" a été pratiquement éliminé en un peu plus de trois mois, c'est effectivement ce qui s'est produit.

b) Une faible augmentation du taux de reproduction  $R$  (ici seulement 0,4) a des effets dévastateurs : en 14 générations, on passe de 900 à 2321 malades pour la covid  $N$  avec  $R = 1,07$  (soit une multiplication par un facteur 2,58), alors qu'on passe de 100 à 22 001 malades pour la covid  $A$  avec  $R = 1,47$  (soit une multiplication par un facteur 220).

Ici encore, ces chiffres sont soumis à fluctuations, mais ils montrent sans ambiguïté qu'une *modification génétique aléatoire engendre un phénomène à caractère déterministe*. Nous avons récemment assisté exactement au même phénomène, en plus rapide, avec le variant delta du virus : en effet, le taux de reproduction  $R_0$ , en l'absence de mesures barrière (masques, distanciation, vaccination, ...), est estimé à 3 pour le virus Sars-CoV-2, à 4,5 pour le variant alpha et à 6,6 pour le variant delta. Le  $R$  en France au 17 juillet 2021 était estimé à 2.

J'ai montré plus haut, au paragraphe 2, combien la Science elle-même était soumise aux lois du hasard : découvertes fortuites, naissances fortuites de savants illustres. Cela n'est plus exact. En effet, l'effort de recherche a considérablement augmenté ces dernières décennies : le nombre de publications scientifiques est passé de 800 000 en l'an 2000 à 1 800 000 en 2015 [27] : chaque jour, près de 5 000 articles paraissent dans des publications scientifiques. En 1946 déjà, Einstein déclarait [28] : « *Il est hors de doute que si l'on jette un coup d'œil rétrospectif sur son évolution, la théorie de la relativité était mûre en 1905. Lorentz avait déjà découvert, par l'analyse des équations de Maxwell, la transformation qui porte son nom. De son côté, H. Poincaré a pénétré plus profondément dans la nature de ces relations...* ». Ce qui signifie en clair que, si la relativité restreinte n'avait pas été découverte par Einstein en 1905, elle aurait été formulée quelques années plus tard par quelqu'un d'autre. En 1965, Penzias et Wilson découvrent par hasard le fond diffus de l'Univers, mais Bob Dicke et James Peeble, de l'Université voisine de Princeton, sont alors en train de construire un télescope pour détecter ce fond diffus : cette découverte devait donc être faite dans les années 60. Aujourd'hui, le hasard scientifique est devenu statistique : l'avancée de la science est inéluctable, à un rythme de plus en plus soutenu. La rapidité avec laquelle ont été découverts, puis produits, les vaccins contre la Covid 19 en est une démonstration éclatante. Les grandes découvertes de la fin du XV<sup>ème</sup> siècle et du début du XVI<sup>ème</sup> ont été faites parce que les conditions techniques de navigation et économiques de développement du commerce étaient arrivées à un point de maturation où ces découvertes *devaient* être faites : si Christophe Colomb n'avait pas découvert l'Amérique en 1492, un autre l'aurait fait quelques années plus tard. De même, l'informatique ne pouvait pas naître et se développer au début du XX<sup>ème</sup> siècle, il fallait attendre la seconde moitié du XX<sup>ème</sup> siècle que les conditions requises soient réunies : essor de la microélectronique, développement des communications, automatisation des machines, rationalisation de l'organisation des entreprises... Autrefois aléatoires, les avancées de la Science sont aujourd'hui inéluctables : le hasard est devenu statistique.

***Le hasard qui se répète devient statistique, et la statistique confine au déterminisme.***

#### **4. Le hasard nous donne la liberté**

On peut distinguer, schématiquement, deux types extrêmes de hasards, que je désignerai par "hasard fatalité" et "hasard opportunité".

##### **a) Le "hasard fatalité"**

Il s'agit d'un événement imprévisible et "fatal" : c'est l'astéroïde qui s'écrase sur la Terre, provoquant la disparition des dinosaures et anéantissant les trois quarts du monde vivant ; c'est l'éruption du Vésuve qui, en l'an 79 de notre ère, détruit la ville de Pompéi et ne laisse aucune chance de survie à un peu plus d'un millier de ses habitants ; c'est le tsunami qui déferle sur l'Asie du Sud-Est, l'Inde et l'Afrique, le 26 décembre 2004, faisant

au moins 230 000 victimes, ou celui de Fukushima faisant 18 079 morts et disparus [29] ; c'est la maladie qui frappe de façon soudaine, c'est le camion qui se déporte sur la chaussée, écrasant le véhicule qui vient en sens inverse et tuant ses passagers.

### **b) Le "hasard opportunité"**

C'est ce que l'on appelle couramment "la chance", dont le général Douglas Mac Arthur disait : « *La chance, c'est la faculté de saisir les bonnes occasions* ». C'est la sérendipité qui permet à certains de percevoir ce que d'autres ne percevraient pas dans les mêmes circonstances. C'est la possibilité de bénéficier de l'événement aléatoire qui contredit la statistique, celle de permettre le fol espoir de gagner au loto, c'est ce qui nous donne l'espoir de pouvoir échapper à un destin contraire, c'est la marge de liberté qui nous permet d'avoir conscience de pouvoir agir sur notre environnement, c'est ce qui a permis à certains personnages d'avoir des destinées exceptionnelles qui ont influé sur le cours de l'Histoire. Le hasard opportunité, c'est aussi ce même astéroïde qui s'est abattu sur la Terre, il y a 66 millions d'années, permettant aux mammifères de survivre et de se développer, et ainsi à l'Humanité de naître et de prospérer.

La statistique est inexorable, mais elle contient en elle-même une part de liberté, qui s'appelle le hasard. Tous les habitants se trouvant dans un immeuble qui s'écroule doivent périr, et pourtant les sauveteurs s'empressent dans les décombres avec l'espoir de dégager des survivants. La coupe de France de football doit statistiquement couronner un club de division 1, mais les spectateurs se pressent dans les stades dans l'espoir de voir "un petit sortir un gros", et, de fait, deux clubs de D2 ont remporté la coupe, 12 ont disputé au moins une finale, 4 clubs de D3 et même un de D4 ont disputé une finale [30] ; presque chaque année voit des clubs amateurs éliminer des clubs professionnels.

Un joueur de jeu de hasard sait que statistiquement il perdra plus qu'il ne gagnera, mais il joue. Par exemple, 50,5 % du chiffre d'affaires du LOTO est redistribué aux gagnants, 12 % à la société "La Française des jeux" et 37,5 % à l'État [31]. Il en résulte que chaque joueur sait (ou devrait savoir) que, statistiquement, il perdra environ 50 % de sa mise. Cela n'a pas empêché 17,4 millions de français de jouer au moins une fois au loto en 2015, chacun des parieurs espérant toucher le gros lot. Et effectivement, chaque année une quarantaine de joueurs deviennent millionnaires, soit environ une chance sur 400 000 de devenir millionnaire, c'est suffisant pour inciter 17,4 millions de français à jouer.

Ainsi, ce même hasard, qui, répété, devient statistique et crée un quasi-déterminisme, nous donne, à l'occasion d'un événement individuel, la liberté d'entreprendre et l'espoir de réussir.

## **Conclusions**

L'homme a un besoin de rationalité, probablement inhérent à sa structure mentale, qui consiste, en particulier, à associer des causes à des événements, ce qui suppose l'existence d'un déterminisme. Il a aussi besoin de liberté. C'est probablement la rationalité non perçue de phénomènes souvent naturels, qui a donné lieu au sentiment de l'existence d'une intelligence supérieure, à la croyance en des divinités considérées, alors, comme déclenchant ces phénomènes, incompréhensibles pour les hommes de l'époque.

Le concept de rationalité, qui, dans le monde occidental, a pris forme dans l'Antiquité par la philosophie grecque, a été développé par Descartes, puis par la philosophie des Lumières qui a opposé rationalité et croyance et explicité le concept de déterminisme, directement associé à la rationalité. La science en se développant a conforté le déterminisme en expliquant nombre de phénomènes dont les causes étaient

autrefois méconnues. Fort heureusement, le déterminisme ne tue pas la liberté, car celle-ci ne résulte pas de l'absence de contraintes, mais de la possibilité que nous avons d'agir sur (ou dans le cadre de) ces contraintes. Ainsi, même dans un Univers totalement déterministe, le seul fait que nous existions nous donne une certaine marge de liberté.

Mais la science a aussi mis en évidence l'intervention du hasard notamment dans la théorie de l'évolution à la suite de Darwin, puis dans la théorie de la mécanique quantique régissant le comportement des particules élémentaires. L'absence de rationalité résultant de l'intervention du hasard a engendré une farouche opposition à Darwin, à l'évolutionnisme, allant jusqu'au créationnisme : il s'agit d'affirmer que l'Univers est trop complexe pour ne pas avoir été créé par un être intelligent, "le grand architecte de l'Univers", ou Dieu, qui fait tout, qui sait tout, qui décide tout [32], et pour qui, en tout état de cause, la création de l'humanité correspond à un dessein avéré, mais, en aucun cas, à la manifestation du hasard.

Or, le hasard qui se répète devient statistique, et la statistique confine au déterminisme, de sorte que le hasard lui-même engendre le déterminisme. Ainsi, *contrairement à ce que l'on pourrait croire, il n'y a pas contradiction entre hasard et déterminisme*. Alors, plutôt que d'envisager le monde d'un point de vue cartésien comme une construction rationnelle où tout est planifié, ne faut-il pas adopter le cheminement inverse, et constater que la Nature, ou Dieu, ou le grand architecte de l'Univers, selon sa croyance, a créé puis façonné le monde en utilisant le hasard comme outil d'élaboration, le hasard du big-bang, le hasard de l'évolution, le hasard qui, répété, devient statistique et engendre le déterminisme, le hasard qui, néanmoins, à l'échelle de l'évènement individuel nous laisse libres, libres de penser, libres d'agir, libres d'espérer ?

## RÉFÉRENCES

- [1] Voir la citation ci-dessous de Cicéron, *de divinatione*, livre 1, LV, dans : *Œuvres complètes de Cicéron, avec la traduction en français*, publiées sous la direction de M. Nisard, tome quatrième, chez Firmin Didot frères, fils et Cie, Paris, 1864 (consultable sur le site : <http://remacle.org/bloodwolf/philosophes/Ciceron/divinatione1a.htm>) :  
« La raison nous contraint d'avouer que tout se fait par le destin ; j'appelle destin ce que les Grecs nomment εἰμαρμένη, c'est-à-dire une série ordonnée de causes liées entre elles, et naissant les unes des autres. Telle est la source première de la vérité éternelle ; c'est ainsi qu'il n'est rien arrivé qui ne dût arriver, et qu'il n'arrivera rien dont la nature ne contienne déjà tes causes efficientes. Le destin n'est donc point ce qu'entend la superstition, mais ce qu'enseigne la physique, à savoir la cause éternelle de tout, la cause du passé, du présent ; et de l'avenir le plus éloigné. De là naît la possibilité d'observer et de noter quel événement suit ordinairement, je n'oserais dire toujours, telle ou telle cause ; et c'est ce qui rend vraisemblable la faculté accordée aux furieux et aux hommes endormis, d'apercevoir l'enchaînement des causes et des effets. »
- [2] Exemple suggéré par André Gounelle, discussion privée.
- [3] B. Jouanno, numéro spécial du journal La Croix, 23 novembre 2002, accessible à l'adresse : <https://www.la-croix.com/Archives/2002-11-23/Numero-special-NP-2002-11-23-170459>
- [4] Sofiane Bouhdiba, *Lisbonne, le 1er novembre 1755 : un hasard ? Au cœur de la polémique entre Voltaire et Rousseau*, 19 octobre 2014 :

<https://presquepartout.hypotheses.org/1023>

- [5] Jean Calvin, *Institution de la religion chrestienne*, éd. Jacques Bourgeois, Genève, 1562, téléchargeable sur le site : <https://gallica.bnf.fr/ark:/12148/bpt6k1040610q.image#>.
- [6] Exemple proposé par André Gounelle, discussion privée. L'Académie de Saumur est une université protestante fondée à Saumur en 1599 ou 1560 par Philippe Duplessy-Mornay, lui-même protestant et gouverneur de la ville, avec l'appui de Henri de Navarre, le futur Henri IV. Elle avait pour buts la formation de protestants et l'organisation de débats et controverses théologiques. La théologie élaborée, dite doctrine de Saumur, s'opposait à la théorie de la prédestination de Calvin et soutenait que la grâce est en principe donnée à tous. Elle a été élaborée par John Cameron et diffusée par Moÿse Amyraut, deux de ses enseignants. L'Académie a été supprimée en 1685, année de la révocation de l'Édit de Nantes.
- [7] Ainsi, les deux versions, pratiquement identiques, des dix commandements (Ex 20:2-17 et Dt 5:6-21) débutent par la déclaration (Ex 20:2 et Dt 5:6) : « *Je suis l'Éternel, ton Dieu, qui t'ai fait sortir du pays d'Égypte, de la maison de servitude* ». D'autres versets de la bible, en particulier du Nouveau Testament, insistent sur la libération du péché par la foi, par exemple : Rm 8:2 : « *En effet, la loi de l'esprit de vie en Jésus-Christ m'a affranchi de la loi du péché et de la mort* » ; 2 Co 3:17 : « *Or, le Seigneur c'est l'Esprit ; et là où est l'Esprit du Seigneur, là est la liberté* ». Citons aussi : He 2:14-15 ; Jn 8:31-32 ; Jn 8:36 ; Ga 5:1 ; Ga 5:13 ; És 61:1 ; 1P 2:16 ; Ps 68:7 ; Ps 79:9 ; Ps 97:10 ; Jc 2:12 ; Lc 4:18-19 ;...
- [8] Pour ne citer que deux exemples : le dépassement de soi et de ses capacités naturelles se rencontre dans l'Antiquité déjà avec le mythe de Prométhée, il se poursuit aujourd'hui avec le transhumanisme ; la question de l'au-delà, de l'éternité, de la vie après la mort, traverse les religions avec la réincarnation chez les bouddhistes et les hindouistes et la résurrection chez les chrétiens.
- [9] Comme me l'a fait remarquer André Gounelle (discussion privée) « il s'agit bien de "détermination fataliste" et pas de "prédestination", car celle-ci, en théologie chrétienne, concerne seulement le salut et rien d'autre : nous ne sommes pas prédestinés à devenir médecin ou professeur, à épouser Mlle X ou Y, à écrire des livres, à tomber malade, etc... »
- [10] Paul Henri Thiry, baron d'Holbach, *Système de la nature ou des lois du monde physique et du monde moral*, 1770, partie 1, chapitre IV "Des lois du mouvement communes à tous les êtres de la nature. De l'attraction et de la répulsion. De la force d'inertie. De la nécessité.", p. 41-42, consultable sur le site : [http://classiques.uqac.ca/classiques/holbach\\_baron\\_d/systeme\\_de\\_la\\_nature/Systeme\\_de\\_la\\_nature%20.pdf](http://classiques.uqac.ca/classiques/holbach_baron_d/systeme_de_la_nature/Systeme_de_la_nature%20.pdf)
- [11] Claude Bernard, *Introduction à la médecine expérimentale*, J.B. Baillière et fils, Paris, 1865. Accessible par exemple sur le site : [https://obvil.sorbonne-universite.fr/corpus/critique/bernard\\_introduction-medecine-experimentale](https://obvil.sorbonne-universite.fr/corpus/critique/bernard_introduction-medecine-experimentale). On peut y lire (1<sup>ère</sup> partie, chapitre 2, paragraphe II) : « *L'esprit de l'homme ne peut concevoir un effet sans cause, de telle sorte que la vue d'un phénomène éveille toujours en lui une idée de causalité. Toute la connaissance humaine se borne à remonter des effets observés à leur cause.* »

- [12] J. Strzalko, J. Grazbski, T. Kapitniak, Les dés, jeu de hasard par excellence ?, *Pour la Science*, 30 Nov. 1999, n° 385, p. 30-36.
- [13] Cette citation figure dans l'ouvrage de Henri Poincaré (1854-1912) "*Science et méthode*", éd. Flammarion, 1920, livre 1, section 4 (Hasard). Mais elle est aussi attribuée à Alfred Capus (1858-1922), journaliste, romancier et dramaturge, qui fut élu à l'Académie Française en 1914 sur le fauteuil d'Henri Poincaré.
- [14] On pourrait penser, comme le suggère André Gounelle (communication privée) que « dans le récit mythique de la Genèse (Gn 2:16-17), Dieu donne une possibilité (celle de manger des fruits) en l'assortissant d'une limite (un arbre est défendu) ; l'être humain reçoit une liberté assez grande mais pas totale, pas celle de tout faire ; la limite et la sanction sont indiquées ; autrement dit, la liberté est encadrée par une loi ». Il me semble que le point central de cette interdiction n'est pas la limitation de la liberté, mais l'objet de cette limitation : "l'arbre de la connaissance du bien et du mal" c'est à dire le fait que l'homme ne doit pas prétendre à la sagesse, à la connaissance, au savoir, qui sont réservés à la divinité, l'homme ne doit pas se prendre pour Dieu. Ceci est à rapprocher du texte d'Ézéchiel 28 où le roi de Tyr est expulsé d'Éden pour s'être pris pour un Dieu (Éz 28:2-17). En effet, au savoir est associé le pouvoir, celui qui a la connaissance détient, grâce à elle, la puissance, or, les Dieux sont aussi peu enclins à partager le pouvoir que les hommes, ainsi d'ailleurs que la plupart des autres animaux. Ce passage est aussi à rapprocher du mythe de Prométhée, puni par Zeus pour avoir dérobé le feu, ici aussi, symbole de connaissance et de technicité. Les êtres de rang inférieur ne peuvent pas ou ne doivent pas avoir accès au savoir, réservé aux êtres supérieurs : s'ils tentent d'y accéder, ils en sont empêchés, s'ils y réussissent, ils en sont punis : c'est le cas des hommes vis à vis des dieux grecs avec le mythe de Prométhée, c'est encore le cas des hommes vis à vis du Dieu chrétien avec les passages de la Genèse et du livre d'Ézéchiel cités plus haut, ce fut le cas des esclaves ou des castes inférieures, c'est enfin le cas des femmes dans l'islam radical : c'est un autre exemple d'idéologie qui perdure à travers les époques et les civilisations, s'ajoutant à ceux donnés à la référence [8].
- [15] La repentance des ninivites à l'arrivée de Jonas (Jon 3) évoque irrésistiblement en moi la conversion des protestants français au catholicisme à l'arrivée des dragons du roi pendant la guerre des camisards ! Et Louis XIV à l'égard des "nouveaux convertis" fera preuve de la même mansuétude que Dieu à l'égard des ninivites repentis.
- [16] J.P. Nougier, *Mécanique quantique : un monde étrange et pourtant familier*, Bull. Acad. Sc. Lett. Montp. **49** (2018), p. 293-306.
- [17] <https://www.nationalgeographic.fr/sciences/lasteroide-qui-cause-lextinction-des-dinosaures-sest-ecrase-au-pire-endroit-possible>
- [18] <https://www.cairn.info/revue-bulletin-d-histoire-et-d-epistemologie-des-sciences-de-la-vie-2011-1-page-79.htm?contenu=article>
- [19] S. Vauclair, *De l'origine de l'Univers à l'origine de la vie*, éd. Odile Jacob, Paris, 2017.
- [20] Albert Einstein avait une sœur, Maria, née en 1881, qui a soutenu, en 1908 à l'Université de Berne, une thèse sur les langues romanes et obtenu un doctorat de

littérature : un parcours tout à fait honorable, surtout pour une femme à l'époque, mais sans commune mesure avec les géniales découvertes de son frère.

- [21] <https://explore.psl.eu/fr/decouvrir/focus/mission-rosetta-le-periple-dune-sonde-spatiale>
- [22] Le nombre  $\pi$  a été calculé avec 62 831 853 071 796 décimales le 14 août 2021, par une équipe Suisse (Thomas Keller, Heiko Rölke et al.) de l'Université des Sciences Appliquées des Grisons, après 108 jours et 9 heures de calcul sur un ordinateur de moyenne puissance, d'un coût accessible à une PME (<https://www.fhgr.ch/en/specialist-areas/applied-future-technologies/davis-centre/pi-challenge/#c16077>). La connaissance d'un si grand nombre de décimales est *parfaitement inutile* : ainsi par exemple, pour ses calculs, la NASA utilise une quinzaine de décimales seulement. En fait, il suffirait d'une soixantaine de décimales pour mesurer la plus grande distance théoriquement accessible (le rayon de l'Univers observable, soit 46,5 milliards d'années-lumière ou  $4,4 \times 10^{23}$  m) avec la meilleure précision théoriquement atteignable (la longueur de Planck, soit  $1,616 \times 10^{-35}$  m). Cette réalisation dans une Université des Sciences Appliquées montre cependant les compétences d'une équipe en calcul de haute performance pour s'impliquer dans des contrats à caractère appliqué nécessitant une expertise en calcul intensif (analyse de séquences d'ADN, traduction de la langue romanche utilisée en pays Grison, ...).
- [23] En calcul des probabilités, le théorème de Bernouilli montre que plus le nombre des épreuves augmente, plus la fréquence d'occurrence de l'événement considéré s'approche de sa probabilité.
- [24] <https://www.hominides.com/html/actualites/neandertal-sapiens-esperance-de-vie-0386.php>
- [25] <https://www.topsante.com/medecine/maladies-infectieuses/zooses/coronavirus-r0-r-effectif-france-637420>, consulté le 11 mars 2021
- [26] On peut lire dans : <https://www.doctissimo.fr/sante/epidemie/coronavirus-chinois/cornavirus-nouvelle-souche-royaume-uni>, à la date du 11 mars 2021 : « *Les rapports préliminaires du Royaume-Uni indiquent que cette variante est plus transmissible que les virus en circulation précédents, avec une augmentation estimée entre 40% et 70% de la transmissibilité (ajoutant 0,4 au nombre de reproduction de base  $R_0$ , l'amenant à une fourchette de 1,5 à 1,7)* », détaille l'OMS dans un communiqué. »
- [27] <https://www.planetoscope.com/entreprises/2026-publications-d-articles-scientifiques-dans-le-monde.html>
- [28] In Paul Arthur Schilpp, Albert Einstein : *Autobiographical Notes, Open Court Pub, février 1979, 95 p.* (ISBN 978-0875483528), cité par wikipedia : [https://fr.wikipedia.org/wiki/Controverse\\_sur\\_la\\_paternité\\_de\\_la\\_relativité](https://fr.wikipedia.org/wiki/Controverse_sur_la_paternité_de_la_relativité).
- [29] Le tsunami ayant fait le plus de victimes est celui du 26 décembre 2004 en Asie du Sud Est. Le plus onéreux a été celui de Fukushima. Le plus grand s'est produit à Lituya Bay en Alaska le 9 juillet 1958, avec une vague de 524 m de haut (contre environ 30 m à Fukushima et en Asie du Sud Est) : cette hauteur n'a pas été scientifiquement vérifiée, mais la vague a dévasté tout ce qui se trouvait en dessous de cette altitude.

[30] [https://fr.wikipedia.org/wiki/Coupe\\_de\\_France\\_de\\_football](https://fr.wikipedia.org/wiki/Coupe_de_France_de_football)

[31] [https://fr.wikipedia.org/wiki/Française\\_des\\_jeux](https://fr.wikipedia.org/wiki/Française_des_jeux)

[32] Voir par exemple, dans la Bible : Es 46:9-10 : « ...*Je suis Dieu, et nul n'est semblable à moi. J'annonce dès le commencement ce qui doit arriver, Et longtemps d'avance ce qui n'est pas encore accompli...* » ; 1R 8:39 : « ...*toi qui connais le cœur de chacun, car seul tu connais le cœur de tous les enfants des hommes* » ; Jn 2:24-25 : « *Mais Jésus ne se fiait point à eux, parce qu'il les connaissait tous, et parce qu'il n'avait pas besoin qu'on lui rendît témoignage d'aucun homme ; car il savait lui-même ce qui était dans l'homme* » ; Mt 10:29-30 : « *Ne vend-on pas deux passereaux pour un sou ? Cependant, il n'en tombe pas un à terre sans [la volonté de] votre Père. Et même les cheveux de votre tête sont tous comptés* » ; Ac 1:24 : « *Puis ils firent cette prière: Seigneur, toi qui connais les cœurs de tous, désigne lequel de ces deux tu as choisi* » ; Ps 139:1-4 : « *Éternel ! Tu me sondes et Tu me connais, Tu sais quand je m'assieds et quand je me lève, Tu pénètres de loin ma pensée ; Tu sais quand je marche et quand je me couche, Et Tu pénètres toutes mes voies. Car la parole n'est pas sur ma langue, Que déjà, ô Éternel ! Tu la connais entièrement* » ; Ps 127:1 : « *Si le Seigneur ne construit la maison, en vain travaillent les maçons, Si le Seigneur ne garde la cité, en vain la gardent les veilleurs...* ».