

6. LA PHYSIQUE N'EST QU'INFORMATION ET CALCUL

John Archibald Wheeler a exprimé sa conception ultime de la physique comme science de l'information et du calcul. Ce manifeste fondateur d'une certaine conception informationnelle de la physique qui depuis 1990 s'est considérablement développée [travaux sur les ordinateurs quantiques, théorie quantique de l'information, assimilation de l'univers à un ordinateur, etc.] exprime l'idée que fondamentalement tout en physique n'est qu'information et calculs.

«Au niveau microscopique, il n'existe plus d'espace, de temps, d'espace-temps continu [...] la

fonction d'onde et la théorie quantique standard ne sont que des idéalizations continues qui masquent la nature informationnelle et discrète des expériences dont tout provient [...] Rien en physique n'est plus important que les phénomènes quantiques élémentaires, c'est-à-dire que l'acte fondamental de poser une question physique ayant une réponse OUI ou NON. Dit autrement encore, toute quantité physique, chaque être, tirent son sens ultime des bits ou informations binaires OUI-NON. Une conclusion qu'on peut résumer par IT from BIT [l'être provient du bit].»



Pourtant, depuis le 25 juin 1952, on sait de manière certaine que $2^{1279} - 1$ est un nombre premier et aujourd'hui on connaît des nombres premiers de plusieurs millions de chiffres. Bien sûr, les méthodes pour prouver que ces nombres sont premiers sont bien différentes de la méthode naïve et n'existent que parce que des mathématiciens les ont conçues et ont démontré, par le raisonnement, qu'elles étaient correctes. Ce qui est impossible sans les mathématiques se fait aujourd'hui de manière courante avec elles. Comme nos ressources en calcul sont limitées, raisonner n'est pas un luxe, c'est une nécessité absolue!

L'AVENIR DU CALCUL

Que tout le calcul fait dans le passé soit fini et ait été mené en n'utilisant qu'une quantité limitée de mémoire est une conséquence de la théorie du Big Bang et des principes fondamentaux de la mécanique quantique. En revanche, concernant les calculs qui pourront être faits dans l'avenir tout est plus compliqué et encore sujet à discussion.

De nombreux physiciens, dont Frank Tipler, se sont intéressés à la question fondamentale : à quelles conditions l'univers peut contenir un calcul infini, c'est-à-dire un calcul composé à la fois d'une infinité d'opérations binaires et utilisant un nombre infini de bits? La condition sur le nombre infini de bits est importante, car un calcul infini en nombre d'opérations, mais ne portant que sur un nombre borné de bits, ramène nécessairement à un moment ou à un autre le système (l'ordinateur, l'univers) dans un état antérieur, ce qui – si l'on admet que le déterminisme est valide – produit alors une répétition cyclique de la même série d'événements (l'Éternel retour). Pour que l'univers puisse contenir un authentique calcul infini, il faut que son évolution cosmologique satisfasse des conditions très particulières dont il n'est pas du tout évident qu'elles soient vraies.

Assez paradoxalement, un univers ouvert d'après F. Tipler ne convient pas car son expansion rend impossible l'échange d'informations entre parties

éloignées et donc l'existence d'une mémoire infinie utilisable. Pour F. Tipler, un calcul infini n'est possible que si, au contraire, l'univers est fermé. Cependant ce n'est pas suffisant et il faut de plus que (a) la singularité finale se réduise à un point unique et (b) que la répartition des particules élémentaires possède une certaine forme.

Nous ne discuterons pas de ces questions que les spécialistes de cosmologie étudient encore. Cependant, même si nous ne le savons pas aujourd'hui, il se peut que notre ordinateur-univers poursuive un calcul infini. Avec les théories physiques admises aujourd'hui, si le calcul passé est nécessairement fini, peut-être pas le calcul futur. L'éventualité d'un calcul futur illimité conduit à des spéculations à la frontière de la science où nous allons quand même nous laisser glisser.

Admettons donc que l'univers puisse mener un calcul infini. Il ne fait pas de doute alors qu'il constitue ce que Alan Turing a dénommé un ordinateur universel. Un ordinateur universel est une machine théorique capable, pourvu qu'on adopte le bon codage des données et qu'on la munisse du bon programme, de calculer toute fonction calculable par un ordinateur quel qu'il soit. Contrairement à ce qu'on pourrait penser, les ordinateurs universels ne sont pas rares et, à une réserve près concernant la mémoire qui doit être potentiellement infinie, tout ordinateur vendu actuellement est un ordinateur universel. Si vous fournissez à votre ordinateur portable quand il le demande les compléments de mémoire dont il a besoin (par exemple en utilisant son lecteur de disquettes) alors c'est un ordinateur universel au sens de Turing.

La démonstration que des systèmes très simples sont des ordinateurs universels (le Jeu de la vie de Conway est l'un des plus élémentaires) a établi sans que persiste le moindre doute que le monde physique si son avenir satisfait les conditions permettant une mémoire infinie est un authentique ordinateur universel. Or un ordinateur universel dans un univers autorisant un calcul infini pourrait entreprendre la simulation parfaite de l'univers depuis le Big Bang. Pour cela, il suffirait de le programmer en s'inspirant du principe de dilution dans l'infini : la suite des nombres entiers $1, 2, 3, \dots, n, \dots$ peut être diluée dans une suite infinie de zéros : $0, 0, 0, 0, 0, \dots$. Cette dilution est nécessaire pour qu'une partie de l'univers puisse en simuler la totalité. À cette fin on insère les nombres en les espaçant de plus en plus comme dans : $0, 1, 0, 2, 0, 0, 3, 0, 0, 0, 4, 0, 0, 0, 5, \dots$

De même, en simulant la première nanoseconde de l'univers, ce qui pourrait prendre un temps assez long (par exemple 10^{10} années) si votre ordinateur universel n'est pas très rapide, puis la deuxième nanoseconde en prenant le temps nécessaire (par exemple 10^{20} années, car l'expansion a rendu l'univers plus complexe), puis la troisième nanoseconde en prenant le temps nécessaire (par exemple 10^{30} années) etc. On enclenche un processus de calcul qui à l'intérieur de l'univers engendre une simulation exacte de l'évolution de l'univers. Notons bien que la simulation exacte de la première nanoseconde de l'univers est en théorie possible puisque d'après les calculs de S. Lloyd elle n'a demandé qu'un nombre fini d'opérations binaires et une mémoire finie. De même pour la deuxième seconde, etc. La mécanique quantique en ramenant tout à des quantités finies autorise – en théorie – les simulations exactes de l'univers. Bien sûr, le continu dans cette conception du monde n'est qu'une illusion.

Cette simulation parfaite et totale de l'univers dans lui-même est l'équivalent du paradoxe de la bibliographie proposé par Bertrand Russell : Tristram Shandy a passé deux ans à écrire l'histoire des deux premiers jours de sa

vie, il déplorait que, ne pouvant pas aller plus vite, il lui soit impossible d'écrire son autobiographie complète ; c'est faux, fit remarquer Russell, s'il vit éternellement toute journée de sa vie sera décrite : Shandy consacrera son année de vie numéro n à l'écriture du récit de sa journée numéro n , et donc aucune journée de sa vie ne sera omise.

Revenons à l'univers. Si on imagine que nos descendants lancent une simulation parfaite de l'univers et s'arrangent pour qu'elle se poursuive indéfiniment (même si c'est très lentement), alors cela signifie en particulier que votre vie sera simulée, ce qui sera pour vous une sorte de seconde vie dans l'ordinateur. Malheureusement si la simulation est parfaite, elle sera en tout point identique à votre première vie et votre conscience simulée ne saura pas qu'elle n'est que le résultat d'une simulation et non pas une vraie vie... peut-être d'ailleurs êtes-vous en ce moment non pas dans le véritable univers, mais dans sa simulation ?

Explorons encore plus avant cette étrange idée. La simulation exacte contiendra en elle-même la simulation de la simulation, qui elle-même... Ce n'est donc pas une fois seulement que votre vie sera reproduite dans l'ordinateur simulant l'univers, mais une infinité de fois ! Plus troublant encore, avec cet ordinateur universel véritable, on pourrait s'amuser à simuler des variantes de l'univers, par exemple des variantes dans lesquelles votre vie au lieu de s'arrêter brusquement en 2050 se poursuivrait 20 ans de plus. Pourquoi ne pas imaginer que la variante de la simulation soit telle que vous soyez immortel ? Si c'est possible, nos descendants ne résisteront pas à la tentation de se rendre ainsi immortels... et peut-être nous avec !

Un ordinateur universel pourrait simuler tous les univers possibles : il commencerait par n'en simuler qu'un en n'utilisant ses ressources d'une manière diluée, puis avec les capacités restantes en simulerait un autre, encore de manière diluée, etc. Les univers envisageables dans le cadre de

la théorie du Big Bang et de la mécanique quantique ne demandent pour être simulés jusqu'à un instant t qu'un nombre fini d'opérations binaires et de mémoires, ils peuvent donc être exhaustivement énumérés et simulés par un unique ordinateur universel convenablement programmé. Dans un tel calcul, tous les univers physiques possibles sont simulés et donc vous y êtes, y compris dans des versions de vous-même variées à l'infini.

Tout cela paraît délirant, pourtant ces considérations ne résultent que de la prise au sérieux des théories dont on admet qu'elles sont les plus vraisemblables pour rendre compte du monde physique.

Face à ces considérations inquiétantes trois attitudes sont possibles.

– On peut décréter que, sans doute, les théories véritables rendant compte du monde ne sont pas celles qu'on a utilisées pour arriver à tout cela. Puisque les théories scientifiques sont régulièrement remplacées par de nouvelles théories contredisant les précédentes, cette attitude semble raisonnable et tentante, bien qu'elle laisse sans réponse la question : si on ne doit pas prendre au sérieux les conséquences des théories les mieux vérifiées, que doit-on prendre au sérieux ?

– On peut considérer que c'est seulement la possibilité d'un calcul infini qui doit être contestée : les hypothèses cosmologiques autorisant qu'un authentique calcul infini se déroule ne sont sans doute pas satisfaites, et donc aucune simulation parfaite de l'univers ne sera jamais possible. N'est-ce pas un peu facile ?

– On peut considérer à l'opposé comme le propose F. Tipler dans son étrange livre *The Physics of Immortality* que le monde ne peut pas être fini ou cyclique et qu'il doit donc être configuré de telle façon qu'un calcul infini y soit possible avec tout ce qui s'ensuit. F. Tipler en tire une sorte de christianisme scientifique qui surprend quelque peu, et qui malgré une incontestable cohérence, à ma connaissance n'a pas soulevé beaucoup d'enthousiasme, ni chez les croyants ni chez les athées.

À vous de choisir.

Jean-Paul DELAHAYE est professeur d'informatique théorique à l'Université de Lille.

Philip BALL, *Life Can Go Forever. An Accelerating Universe Does Not Have to Fry Life*, in *Nature*, 20520-11, mai 2002.

Charles BENNETT et **Rolf LANDAUER**, *Les limites physiques du calcul*, in *Pour la Science*, pp. 18-27, septembre 1985.

Seth LLOYD, *Ultimate Physical Limits to*

Computation, in *Nature*, vol. 406, pp. 1047-1052, 2000.

Seth LLOYD, *Computational Capacity of the Universe*, in *Physical Review Letters*, vol. 88, n° 23, 237901/1-4, 2002.

Norman MARGOLUS et **L.B. LEVITIN**, *The Maximum Speed of Dynamical Evolution*, in *Physica*, D 120, pp. 188-195, 1998.

Frank TIPLER, *The Physics of Immortality*, Doubleday, New York, 1994.
