

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.

Phillip 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.



Attraction fractale

RICHARD TAYLOR

Les secrets des œuvres de Jackson Pollock, un maître de l'art abstrait, révélés par l'analyse informatique : elles sont fractales !

Au début des années 1940, le peintre américain Jackson Pollock (1912-1956) quitte Manhattan pour s'installer dans une maison à Long Island, dans l'État de New York. Là, une vieille grange lui sert d'atelier, un immense atelier où, selon les critiques, l'art moderne a été bouleversé. En effet, les petites toiles installées verticalement sur un chevalet deviennent trop étroites pour l'artiste. Il leur préfère d'autres en grand format, de plusieurs mètres carrés de surface, posées à même le sol. Le pinceau est alors relégué au placard au profit d'un

long bâton d'où s'écoule une peinture fluide qui laisse sur la toile la trace des mouvements de l'outil. Au final, l'œuvre est un entrelacs inextricable de trajectoires colorées (voir *Blue Poles* : numéro 11, sur la page ci-contre).

À l'opposé du peintre néerlandais Piet Mondrian (1872-1944), chantre de l'abstraction artificielle et géométrique, Pollock prône une peinture « naturelle et organique. » En quoi les œuvres de Pollock reflètent-elles la nature ?

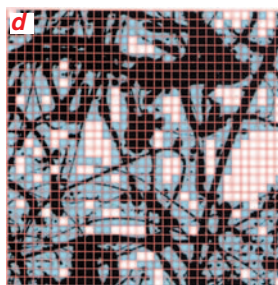
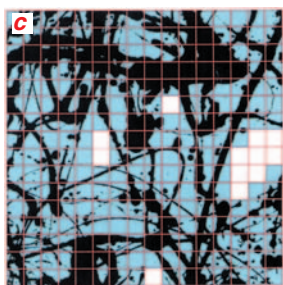
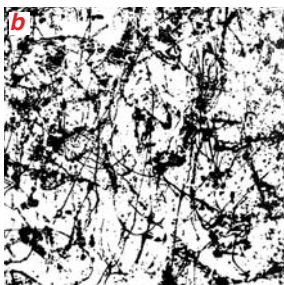
À l'époque de Pollock, la nature semblait désordonnée et régie par le hasard. Pourtant, pendant les années 1960,

l'étude de la dynamique des systèmes naturels a donné naissance à la théorie du chaos. Puis, dix ans plus tard, Benoît Mandelbrot a jeté les bases de la géométrie fractale. On comprenait enfin la forme des nuages, des montagnes, des côtes maritimes... Aujourd'hui, l'analyse informatique des œuvres de Pollock révèle que les fractales sont aussi au cœur de l'art abstrait.

Les objets de la géométrie classique ont pour dimensions des nombres entiers, par exemple, le plan est de dimension deux. Toutefois, en géométrie fractale, certains éléments, tel le triangle de Sierpinski (voir la figure à côté du titre), ont pour dimension des nombres non entiers. Comment détermine-t-on la dimension fractale d'un objet ? Par exemple, un carré C peut être divisé en $N = 4$ petits carrés identiques au premier selon un rapport d'homothétie de facteur $f = 2$, ou bien, 16 petits carrés identiques au premier selon un rapport d'homothétie de facteur quatre. Les mathématiciens définissent la dimension d du carré C par $\text{Log } N / \text{Log } f$, ici, $d = \text{Log } 4 / \text{Log } 2 = \text{Log } 16 / \text{Log } 4 = 2$. Pour le triangle de Sierpinski, $d = 1,58$.

L'une des propriétés des objets fractals est l'autosimilarité : une partie agrandie est identique à l'objet entier. Toutefois, on distingue l'autosimilarité exacte, telle celle du triangle de Sierpinski, et l'autosimilarité statistique, quand un détail n'est pas rigoureusement identique à l'ensemble, mais que les propriétés statistiques sont conservées. La plupart des motifs naturels fractals ne sont qu'autosimilaires statistiquement. Est-ce le cas des tableaux de Pollock ? Si oui, quelle est leur dimension fractale ?

Le tableau *Autumn rhythm* (voir la figure), peint en 1950, est composé de quatre couleurs : noir, marron, blanc et gris. À l'aide d'un ordinateur, on sépare les différentes couches du tableau numérisé. D'abord, on s'intéresse à la couche noire, dite d'ancrage, qui constitue le



L'analyse du caractère fractal du tableau *Autumn rhythm* (a) requiert sa numérisation, puis la séparation des couches de différentes couleurs. Sur la couche noire, par exemple (b, ici un détail), on superpose une grille de carrés égaux (c), puis l'on compte les carrés (en bleu) traversés par le motif peint (les carrés vides sont en blanc). On répète l'opération avec des grilles de carrés plus petits (d). Au final, on observe que le logarithme du nombre de carrés bleus « traversés » est proportionnel au logarithme de la taille des carrés élémentaires : le motif noir est fractal, et le quotient en est la dimension. Il en est de même pour toutes les couches colorées ainsi que pour l'ensemble du tableau.

Metropolitan Museum of Art, New York. ©2002 Pollock-Krasner Foundation/ Artists Rights Society (ARS), New York

Courtesy Richard P. Taylor

National Gallery of Australia, Canberra. ©2002 Pollock-Krasner Foundation/ Artists Rights Society (ARS), New York