

DURÉE LIBRE

49 %
de réduction *

Partie réservée au service abonnement Ne rien inscrire

R

ENDEZ-VOUS

P. 82 Logique & calcul
P. 88 Art & science
P. 90 Idées de physique
P. 94 Chroniques de l'évolution
P. 97 Science & gastronomie
P. 98 À picorer

L'UNIVERS ET LA MORALE VUS PAR LA THÉORIE DU CALCUL

Si l'on considère toute interaction physique comme une sorte de calcul, on est amené à repenser l'évolution de l'Univers, voire à donner des fondements computationnels à l'éthique.

L'AUTEUR



JEAN-PAUL DELAHAYE
professeur émérite
à l'université de Lille
et chercheur au Centre
de recherche en
informatique, signal
et automatique de Lille
(Cristal).

L'Univers n'est pas stable; il s'organise progressivement, se «complexifie». La matière et l'énergie sont des éléments essentiels pour comprendre cette évolution du cosmos, mais leur accorder trop d'importance empêche peut-être de saisir vraiment ce qui se passe.

La théorie du calcul nous aide à évaluer les capacités des ordinateurs, notamment leur puissance, à mesurer et à comparer les algorithmes et à donner un sens au mot «complexité». Elle propose une vision de ce qu'est l'évolution de l'Univers en termes non matériels et non énergétiques.

Les scientifiques qui ont contribué à cette vision informationnelle et computationnelle de l'Univers sont nombreux: ils construisent petit à petit une interprétation nouvelle de l'évolution cosmique, vue comme un progrès du calcul, et certains en ont même déduit des considérations éthiques. Parmi les plus importants de ces chercheurs citons Andrei Kolmogorov, Leonid Levin, Gregory Chaitin, Charles Bennett, John Mayfield, Luciano Floridi, Seth Lloyd et plus récemment Hector Zenil, Cédric Gaucherel et Clément Vidal avec qui j'ai travaillé.

Les astrophysiciens décrivent l'histoire cosmique comme un refroidissement faisant apparaître des composants stables de plus en plus complexes, lesquels interagissent et se combinent selon des règles précises conduisant aux atomes, puis aux molécules organiques et à la vie.

Les théoriciens du calcul interprètent cela sous une forme abstraite: petit à petit, l'Univers

a donné naissance à des structures qui, en interagissant, effectuent des sortes de calculs, et la stabilité de ces structures fait que les résultats des calculs sont conservés et accumulés.

Ainsi, l'évolution biologique élabore des organismes vivants aux formes variées. Les calculs avec mémorisation de la génétique s'effectuent avec une efficacité croissante et donnent naissance à une «complexité organisée». En particulier, les vertébrés supérieurs disposent de cerveaux pour traiter les données fournies par les sens et en garder le souvenir et, chez les humains, le langage et l'écriture accroissent l'efficacité des traitements de l'information et le stockage des résultats. Les technologies de l'information conduisent à leur tour à de nouveaux progrès en efficacité de calcul et de mémorisation massive d'informations. Ces soixante dernières années, la vitesse de calcul informatique et la capacité de stockage de l'information ont été multipliées par plus de un million. Le calcul et le stockage cumulatif de l'information progressent dans l'Univers, en même temps qu'augmente la complexité organisée.

DEUX NOTIONS DE COMPLEXITÉ

Le mathématicien soviétique Andrei Kolmogorov, avec Leonid Levin, et, indépendamment, Gregory Chaitin ont proposé une mesure de la complexité des objets numériques (textes, images, sons, vidéos, etc.), qu'on peut appliquer à tous les objets (discrétisés) de l'Univers. La taille du plus court programme engendrant l'objet *Ob* est cette



Retrouvez la rubrique
Logique & calcul sur
www.pourlascience.fr

LA VIE, LES ARTS ET LES SCIENCES VUS COMME UN CALCUL ET UNE ACCUMULATION DE COMPLEXITÉ ORGANISÉE

1

De nombreuses activités humaines sont assimilables à de la manipulation d'informations et donc à des formes de calcul. C'est le cas des activités de création artistique, mais aussi de la recherche scientifique ou mathématique. Bien sûr, les résultats de ces activités sont considérés comme ayant de la valeur et on cherche à les préserver de toutes les façons possibles : en les protégeant, en les multipliant (par exemple grâce aux livres), en les collectionnant (par exemple dans des musées).

De la même façon, on considère que les organismes vivants, qui résultent de longs processus évolutifs assimilables aussi à des calculs, doivent être protégés. La disparition d'une espèce est perçue comme une

perte, tout comme la destruction d'un écosystème fragile.

Il semblerait bien que dans l'esprit de nombreux individus, tout ce qui demande beaucoup de calcul pour se construire ou s'élaborer mérite d'être protégé. Non seulement les contenus en calculs que mesure la « profondeur logique de Bennett » croissent au fur et à mesure que le temps passe, mais ces contenus en calcul semblent avoir de la valeur. Prendre cette idée au sérieux conduit à une éthique de la complexité organisée.

Il est amusant de constater que l'idée que nous devons protéger la diversité du vivant (donc la profondeur logique du monde vivant) ne date pas d'aujourd'hui.

Elle était déjà présente dans le texte de la Bible avec l'histoire de Noé : « Entre dans l'arche, toi et toute ta famille, car je t'ai vu seul juste à mes yeux parmi cette génération. De tous les animaux purs, tu prendras sept paires, le mâle et la femelle ; des animaux qui ne sont pas purs, tu prendras un couple, le mâle et la femelle et aussi des oiseaux du ciel, sept paires, le mâle et la femelle, pour perpétuer la race sur toute la terre. Car encore sept jours et je ferai pleuvoir sur la terre pendant quarante jours et quarante nuits et j'effacerai de la surface du sol tous les êtres que j'ai faits. » (Genèse 7:1-4).



La bibliothèque du monastère de Strahov, à Prague.



L'Arche de Noé sur le mont Ararat, de Simon de Myle (1570).

mesure $K(Ob)$, dénommée complexité de Kolmogorov de Ob . Pour mémoriser un objet numérique, le mieux qu'on pourra faire est de réserver une mémoire de $K(Ob)$ bits d'information en y plaçant ce plus court programme. Le nombre $K(Ob)$ est le contenu en information de l'objet Ob .

Les objets aléatoires ont le plus grand contenu en information : pour les mémoriser, rien n'est sensiblement meilleur que d'en stocker la description non modifiée. En revanche, les objets structurés, par exemple la photo d'une ville ou d'un microprocesseur, la liste des nombres premiers jusqu'à 1 000 000, peuvent être compressés : leur contenu en information est plus petit que leur taille brute.

Puisque les objets aléatoires ont la plus grande complexité de Kolmogorov, cela signifie que cette notion de complexité ne mesure pas la richesse en structures d'un objet. Pour cela, l'Américain Charles Bennett a introduit en 1988

le concept de profondeur logique. C'est le nombre de pas de calcul qu'il faut pour reconstituer l'objet Ob à partir de la représentation compressée optimale de Ob . Plus un objet est structuré, plus il offre des moyens de le compresser, moyens qui, quand on les fait marcher à l'envers (la décompression), exigent de nombreux pas de calcul. La richesse en structures ou complexité organisée est donc assez bien mesurée par le temps de calcul nécessaire pour passer de la forme compressée optimale de Ob à sa forme explicite.

L'évolution cosmique est alors vue comme un processus de perfectionnement des outils exécutant rapidement des calculs et préservant les résultats de ces calculs dans des structures de plus en plus organisées, c'est-à-dire de profondeur logique de plus en plus grande.

Avec un peu de recul, on ne peut qu'être en accord avec cette interprétation de ce qui s'est passé dans les stades primitifs de l'Univers, ➤