

## 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, >

> puis plus tard avec la formation des étoiles et des galaxies, et plus tard encore sur la Terre avec la vie. L'apparition des organismes vivants, des vertébrés supérieurs, des humains, de leurs cultures, de leurs technologies, sont des étapes du progrès à la fois dans la richesse en organisation du monde, et de la capacité des objets du monde à produire efficacement de nouvelles structures et à les préserver.

L'Univers est ainsi une sorte de gigantesque ordinateur se perfectionnant, produisant et préservant sans relâche des objets dont la profondeur logique s'accroît.

L'idée que l'évolution biologique doit être vue comme un calcul est en particulier défendue par John Mayfield, de l'université de l'État de l'Iowa, dans son livre de 2013, *The Engine of Complexity, Evolution as Computation*. Même si



## L'Univers est une sorte de grand ordinateur qui accroît sans cesse la complexité organisée



les calculs de l'évolution et de la sélection naturelle sont assez différents de ceux qu'un ordinateur réalise, on sait bien, et c'est la clé de la biologie moderne, que les ADN et les ARN portent de l'information, la combinent, la copient et, sur le long terme, la modifient et en perfectionnent les contenus, faisant apparaître des organismes de plus en plus complexes par compétition et coévolution.

La pertinence du concept de profondeur logique en biologie est aussi défendue par Antoine Danchin et par Cédric Gaucherel, lequel a mené des expériences mettant en évidence l'accroissement de la profondeur logique dans la dynamique évolutive d'écosystèmes simplifiés.

La complexité de Kolmogorov, bien qu'elle constitue un concept clé pour penser le monde en termes informationnels, n'est pas utilisable directement pour parler de la «complexification» de l'Univers tels que les astrophysiciens et les biologistes la mentionnent. Ce n'est pas le contenu en information qui augmente au cours du temps (ce contenu est maximal pour les objets aléatoires), mais le contenu en structures mesuré par la profondeur logique de Bennett.

On peut faire un parallèle entre le contenu en calcul que mesure la profondeur logique de Bennett et le concept d'«émergie» qu'a élaboré et défendu l'écologue américain Howard Odum. Pour un système vivant, social ou technologique, l'émergie est la quantité d'énergie qui a été nécessaire pour le créer. On ramène souvent cette énergie accumulée à de l'énergie solaire pour faciliter les comparaisons. De la même façon, la profondeur logique de Bennett mesure la quantité de calculs nécessaire pour obtenir l'objet à partir de son origine probable. Les deux concepts pourraient se retrouver et des conversions des évaluations de l'un en évaluations de l'autre seraient envisageables... si le coût énergétique du calcul était constant, ce qui n'est pas le cas, du fait des progrès spectaculaires de nos dispositifs électroniques de calcul.

Plus généralement, selon l'endroit de l'Univers pris en compte, l'énergie dépensée pour un calcul change considérablement. Par ailleurs, une grande quantité d'énergie peut être dépensée sans que rien n'en reste, si aucun dispositif de mémorisation n'est là pour protéger et conserver les résultats des calculs. Les molécules d'eau qui s'agitent dans la mer interagissent, ce qu'on peut assimiler à un immense calcul parallèle, mais les calculs s'effacent d'instant en instant et toute l'énergie correspondant à cette agitation ne laisse aucune trace.

La profondeur logique de Bennett est une mesure du travail de calcul nécessaire pour obtenir une structure, mais cette mesure ne prend en compte que les calculs dont les résultats persistent directement ou indirectement. Le contenu en calcul qui mesure la complexité organisée n'est pas évaluable en termes énergétiques: c'est autre chose!

### CE À QUOI NOUS TENONS

Munis de ce concept de contenu en calcul et réfléchissant à la valeur des choses, nous constatons une forme de cohérence et d'unité dans ce que nous aimons et défendons.

La vie humaine est bien sûr une chose que nous souhaitons protéger. Chaque vie humaine est une richesse en expériences accumulées, en culture, en intelligence, ainsi qu'en capacités à produire ses propres objets complexes. L'art et la littérature créent des objets qui, soit directement, soit par la position qu'ils occupent dans les sociétés humaines, enrichissent l'information et la complexité structurelle. Chaque composition musicale nouvelle, par ses organisations de rythmes, d'harmonies, de mélodies enrichit les répertoires déjà connus et préservés.

Les sciences, en perfectionnant les rapports qui existent entre le monde et l'image que nous en avons, ainsi que nos moyens d'action construisent de nouvelles structures dans l'Univers. Ces structures s'affinent par la recherche, c'est-à-dire par l'organisation