

AU SERVICE DU QUOTIDIEN



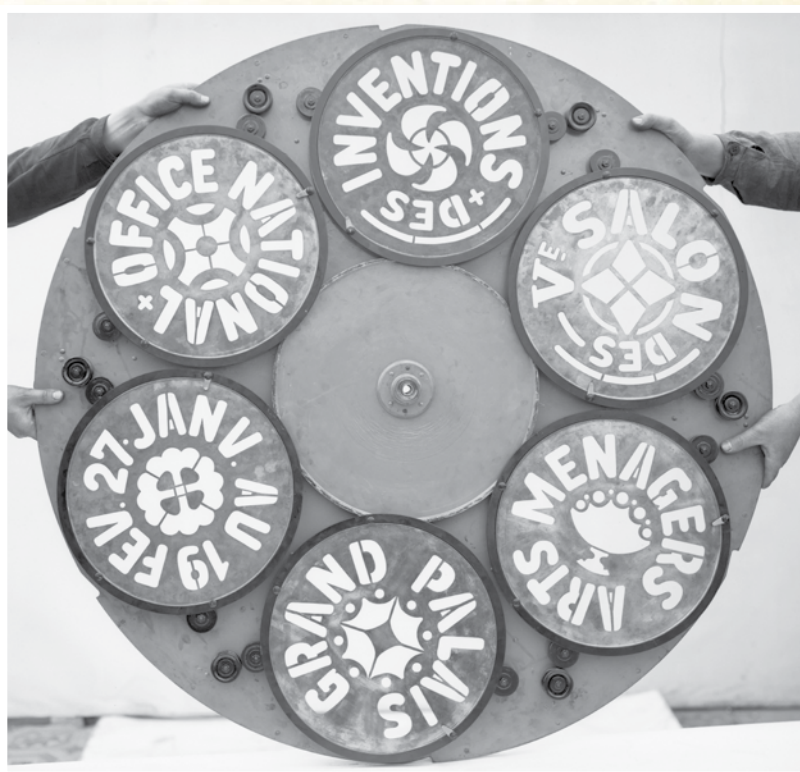
▲ MACHINE À LAVER MIXTE, 1925

Dans les années 1920, la machine à laver incarnait la possibilité d'un changement radical du quotidien et de la condition des femmes, une transformation aussi fondamentale que celle apportée quelques années auparavant par les premiers engins blindés qui avaient transformé la guerre. Tank et machine à laver ont aussi en commun d'avoir été proposés jadis à la Commission des inventions puis à l'ONRSII par un même homme : le patron des inventions, Jules-Louis Breton. Le plus petit de ses « motolaveurs » a la particularité d'être mixte : il sert pour le lavage du linge et de la vaisselle. D'un usage simple, cette machine ne nécessite ni installation particulière ni canalisation et peut être utilisée « instantanément, aussi bien à la campagne qu'à la ville ».



▲ TAPIS BROSSE EN CAOUTCHOUC, 1924

Au début des années 1920, le tapis en caoutchouc, utilisé comme paillason, s'était révélé particulièrement combustible et générateur de fumées toxiques. Le comité de chimie de l'Office des inventions, concepteur d'une machine pour tester le caoutchouc en 1924, proposa une alternative en insérant des produits ignifuges dans le matériau, le rendant ainsi moins sensible aux flammes. À titre d'exemple, Jules-Louis Breton installa un tel paillason devant sa porte. Sa photographie revêt une connotation pour le moins absurde et semble dire : qu'importe si la maison brûle, le paillason, lui, résistera au feu.



◀ DISQUES POUR PROJECTION SUR NUAGE, 1928

En 1928, le Salon des arts ménagers, événement annuel créé par Jules-Louis Breton, fut l'occasion d'un spectacle inédit et offert à tous : l'Office des inventions expérimenta, devant le public ébahi, un projecteur géant sur nuages entraînant plusieurs disques comprenant des textes et annonçant l'ouverture du salon. Lors de la projection – et sous réserve qu'il y ait des nuages –, on pouvait lire les textes géants dans le ciel de Paris sur un diamètre compris entre 180 et 300 mètres.

R

ENDEZ-VOUS

P.80 Logique & calcul
 P.86 Art & science
 P.88 Idées de physique
 P.92 Chroniques de l'évolution
 P.96 Science & gastronomie
 P.98 À picorer

LA PSYCHOLOGIE DE LA COMPLEXITÉ

En s'appuyant sur une définition algorithmique de la complexité, des expériences de psychologie explorent nos capacités à percevoir le hasard et la complexité – et la modification de ces capacités avec l'âge.

L'AUTEUR



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



Jean-Paul Delahaye a notamment publié : **Les mathématiciens se plient au jeu**, une sélection de ses chroniques parues dans *Pour la Science* (Belin, 2017).

Comment distinguer la simplicité de la complexité ? Dans le cas d'une suite de chiffres binaires, il paraît évident que la suite de 100 zéros est plus « simple » que la suite 01101001011... résultant du hasard de 100 tirages à pile ou face (0 pour pile et 1 pour face). La théorie algorithmique de l'information, qui relie les suites de symboles à l'algorithme de création de ces suites, tente de répondre à cette question. Dans un premier temps, cet éclaircissement n'a porté que sur les longues suites de symboles, mais nous verrons que le développement d'une nouvelle définition de la complexité a permis de prendre en considération des suites courtes. Nous examinerons ensuite comment cette possibilité a ouvert la voie à de nouvelles expériences de psychologie qui nous éclairent sur les caractéristiques de l'intelligence humaine.

La « complexité de Kolmogorov » d'un objet numérique (par exemple un fichier informatique, une suite de symboles pris dans un alphabet, la description d'un état physique, etc.) mesure le désordre de l'objet : c'est la taille du plus petit programme informatique qui permet de reconstituer l'objet numérique. La suite évoquée précédemment de 100 chiffres 0, un ordre parfait, a une faible complexité de Kolmogorov, car elle peut être produite par un programme court du type : « Pour i variant de 1 à 100, écrire « 0 » ». En revanche, la suite 01101001011... qui résulte de tirages à pile ou face est incompressible : le plus court programme qui la produit est aussi long que la suite elle-même. Le hasard, selon ce point

de vue, correspond à la complexité de Kolmogorov maximale. La complexité, l'ordre et le hasard sont ainsi des notions rattachées à l'informatique théorique dont les fondements ont été posés par Alan Turing. En 1936, ce mathématicien a introduit ce que l'on dénomme aujourd'hui les « machines de Turing » dont nous verrons l'utilité.

En pratique, on ne pouvait utiliser la notion de complexité de Kolmogorov que pour des fichiers ayant plusieurs milliers de symboles. En effet, il est facile d'évaluer la complexité de Kolmogorov de longues séquences en utilisant de bons algorithmes qui compriment l'information tout en la sauvegardant (par exemple, l'instruction « Écrire 1000 fois le chiffre 0 » est une compression de l'instruction « Écrire "0000...0000" », où le 0 est écrit 1000 fois). Cette compression permet d'obtenir un petit fichier informatique dont la taille mesure la complexité. Toutefois, quand on change d'algorithme de compression, la complexité de Kolmogorov mesurée d'un objet numérique donné change. Or ce changement, négligeable pour les longs fichiers numériques, ne l'est pas pour les petits fichiers et la complexité de Kolmogorov n'est ainsi pas une mesure satisfaisante.

PROBABILITÉ ALGORITHMIQUE

En 2007, Leonid Levin a proposé un théorème qui généralise la notion de complexité de Kolmogorov et qui permet son utilisation même pour les fichiers courts (constitués par exemple d'une dizaine de symboles ou moins).

> à la longueur 7 pour les séquences ayant un 1 en tête est donné en: <http://complexitycalculator.com/D5.csv>

Comme on s'y attend, les séquences les plus simples se trouvent en tête, et plus on avance dans le classement, plus la complexité des séquences augmente, ainsi que leur longueur. Cela confirme expérimentalement deux choses: ce qui est simple est produit avec une fréquence plus grande que ce qui est complexe, et la méthode des petites machines de Turing donne une fine mesure de complexité où toute subjectivité est absente.

Selon la même méthode, on a déterminé une classification par complexité croissante des schémas en dimension 2 de quelques pixels (voir l'encadré 2).

LA SIMULATION DU HASARD

Ces mesures objectives ont permis de réaliser de nouvelles expériences de psychologie qui font comprendre comment l'esprit humain évalue le complexe et le hasard.

Depuis longtemps, la psychologie expérimentale cherche à mesurer les aptitudes

humaines pour les tâches consistant à produire du hasard ou à le reconnaître. Les psychologues ont ainsi mené des expériences où des sujets humains produisaient des suites de 0 et de 1 en imitant le mieux possible ce que donneraient des tirages équitables à pile ou face.

En moyenne, dans 60% des cas, derrière un 0, les sujets humains placent un 1, et derrière un 1, placent un 0, alors que des suites provenant de vrais tirages aléatoires ne présentent de tels basculements que dans 50% des cas. Pourquoi les humains sont-ils incapables de simuler correctement le hasard et favorisent-ils les alternances?

Une hypothèse subtile a été formulée: quand un humain produit des séquences de 0 et de 1 au hasard, il tente de confectionner les plus complexes. Cela lui est mentalement difficile, car il lui faudrait de meilleures capacités de calcul que celles dont il dispose et il ne réussit donc qu'à produire des séquences moyennement complexes: les trop simples sont consciemment évitées, les trop complexes sont inaccessibles ou ne sont pas bien distinguées des séquences moyennement

2

COMPLEXITÉ DES DESSINS

Il est plus facile et naturel pour un humain d'évaluer la complexité d'une image que celle d'une séquence finie de symboles alignés. Il se trouve que la notion de machine de Turing écrivant sur un ruban s'adapte sans difficulté à deux dimensions. La machine se déplace (vers le haut, le bas, la gauche ou la droite) sur un plan quadrillé et fait ses choix en fonction de son état interne et de ce qu'elle lit sur la case où elle est posée et qu'elle peut réécrire. La méthode utilisée pour mesurer indépendamment de toute subjectivité la complexité d'une séquence s'adapte ainsi et donne alors une mesure de complexité pour les petits dessins composés de quelques pixels.

Cette mesure est assez proche de celle qu'on obtient quand on produit des statistiques de la complexité des images découpées en tout petits morceaux tirées du monde réel. C'est un argument en faveur de l'idée que le monde réel est assimilable à un immense ensemble de micromachines à calculer qui produisent les structures qu'on y trouve (soit ramenées à des séquences de symboles, soit ramenées à des petits dessins, etc.).

On a reproduit ici le tableau des petits dessins d composés de pixels blancs et noirs les plus simples. Ils sont classés en fonction de leur probabilité $p(d)$ d'être produits par les machines de Turing fonctionnant sur un quadrillage, c'est-à-dire en fonction de leur complexité croissante telle que ces machines l'évaluent. Les dessins se déduisant par des symétries ou des rotations de ceux représentés ne sont pas mentionnés. Les nombres indiqués évaluent la complexité des dessins par la formule $K(d) = -\log_2(p(d))$ (pour plus de précisions, voir la quatrième référence citée en bibliographie).

15,8159 	16,5252 	17,0378 	17,1387 	17,2143 	17,3662
17,3962 	17,4226 	17,4449 	17,4606 	17,5578 	17,7094
17,7354 	17,7508 	17,7625 	17,9538 	17,9579 	17,9709
18,0757 	18,1145 	18,1361 	18,1773 	18,2346 	18,3558
18,3596 	18,6431 	18,7286 	18,7878 	19,0349 	19,1076
19,1206 	19,1456 	19,1540 	19,2406 	19,3673 	19,6605
19,6829 	19,7418 	19,9768 	20,0518 	20,1158 	20,1528
20,1732 	20,2261 	20,3931 	20,4098 	20,4760 	20,5012
20,5031 	20,5110 	20,5369 			