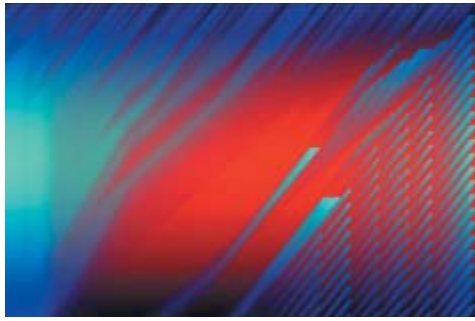


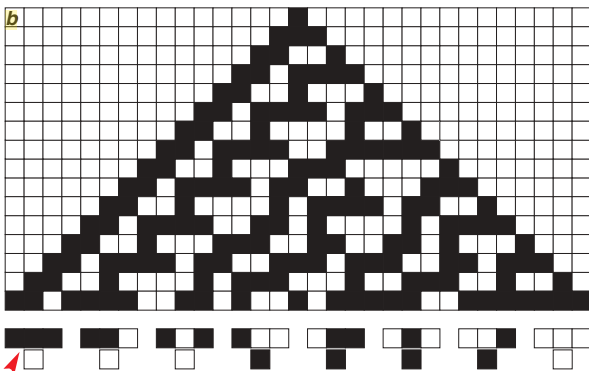
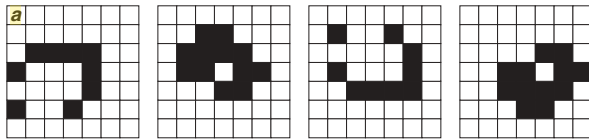


L'art cellulaire

BERNARD CAILLAUD

Dans l'art informatique, la logique et le tube cathodique remplacent le ciseau et le pinceau. Les formes, qui pourtant résultent de règles simples, sont étonnantes et, en partie, imprévisibles.

Au début des années 1960, les artistes découvrent un nouveau champ d'expression : l'ordinateur. Pour les adeptes de l'art informatique, l'écran du tube cathodique se substitue à la toile ou au bloc de marbre des générations précédentes. À cette époque, le mathématicien John von Neumann s'intéresse à la mise au point du *kinematon*, une machine qui, à partir d'éléments de son environnement, fabriquerait une copie d'elle-même. Ses études aboutissent à l'élaboration, avec Stanislas Ulam, d'une version formalisée de cette machine, les automates cellulaires. Dans ces constructions, un espace est subdivisé en éléments identiques, nommés cellules, qui évoluent par étapes discrètes en obéissant à des règles simples de voisinage : dans un plan, le devenir d'une cellule dépend de l'état de ses huit plus proches voisines. Par exemple, dans un plan divisé en cases noires ou blanches selon une répartition initiale aléatoire, une règle stipulerait que, d'une étape à la suivante, une cellule dont le nombre de voisines noires est pair reste inchangée, sinon, elle change de couleur.



Un automate cellulaire explore le devenir de cellules qui évoluent par étapes selon des règles de voisinages. Dans le *Jeu de la vie* (a), un automate à deux dimensions, les règles stipulent que, d'une étape à la suivante, une cellule blanche devient noire si exactement trois de ses huit voisines sont noires et qu'une cellule noire ne le reste que si elle a deux ou trois voisines noires, sinon elle devient blanche. Dans le cas d'un automate à une dimension (b), on peut définir huit règles de voisinage (en bas). Par exemple, selon l'une d'elles (flèche rouge), une cellule noire entourée de deux cellules noires devient blanche. Lorsque les états successifs sont alignés, les motifs qui apparaissent sont *a priori* imprévisibles et on y découvre à la fois des régularités et des structures variables.

Mon tableau de la page ci-contre, *Chromatisation N° 5*, est le résultat d'un automate cellulaire plus complexe. Pénétrons les mystères de ces constructions de l'esprit rendues visibles par l'informatique. Puis, nous découvrirons que leur domaine d'application ne fait que croître.

Au moment de leur apparition, les automates cellulaires restent confidentiels, ils seront popularisés dans les années 1970 grâce au *Jeu de la vie* (voir la figure a) du mathématicien John Conway. Là aussi, sur un plan quadrillé supposé infini, des cellules changent d'état colorimétrique (une cellule est noire quand elle est vivante, blanche lorsqu'elle est morte) à mesure que des règles simples sont appliquées : une cellule blanche naît à l'instant $t + 1$ si exactement trois de ses huit voisines sont vivantes à l'instant t ; une cellule vivante, noire, à l'instant t ne survit à l'instant $t + 1$ que si elle a deux ou trois voisines vivantes, sinon elle meurt et devient blanche. Certaines configurations initiales de cellules s'étendent, d'autres produisent des motifs périodiques, d'autres encore disparaissent, reproduisant ainsi l'évolution de certaines populations animales. Le *Jeu de la vie* est au cœur de *Biowall*, une œuvre de Daniel Mange, du Laboratoire de systèmes logiques, à l'École polytechnique de Lausanne, exposée en octobre 2002 à la Maison européenne de la photographie, à Paris.

Revenons au tableau qui, à l'inverse des exemples précédents, est le produit d'un automate cellulaire à une dimension. Expliquons-nous. Sur une ligne de 480 cellules, le devenir de chacune, de l'instant t à l'instant $t + 1$, dépend des deux cellules voisines et d'elle-même. Lorsqu'on affiche, l'un au-dessous de l'autre, les instants successifs de l'automate, l'écran se remplit peu à peu. La deuxième dimension représente le temps, discret. L'écran n'affiche plus alors un seul état de l'automate cellulaire, mais l'ensemble de son évolution (voir la figure b).

Par ailleurs, ici, les cellules n'oscillent plus entre deux états, le noir et le blanc, mais plutôt, la couleur ayant fait irruption, entre de multiples états colorimétriques. Ces états, nommés C , sont représentés par un nombre, arbitraire, pris, par exemple entre 0 et 100. La couleur de la cellule, que l'on exprime par des proportions (les coordonnées R, V et B) des trois couleurs primaires, le rouge, le vert et le bleu, est une fonction de son état colorimétrique C . Les règles de changements d'état d'une cellule peuvent ne s'appliquer qu'aux états colorimétriques de cette cellule et de ces deux voisines, mais elles peuvent également tenir compte, en plus, du rang i (entre 0 et 480) de la cellule dans la ligne. C'est le cas ici : à l'instant $t + 1$, le nouvel état colorimétrique C_i^* de la cellule i est égal à $(-0,2C_{i-1} + 0,55C_t + 0,6C_{i+1} + 100i/480) \bmod 100$ où C_i , C_{i-1} et C_{i+1} sont les états colorimétriques, à l'instant t , de la cellule i et de ses voisines de gauche et de droite. La fonction *modulo 100* assure que l'état colorimétrique C^* est bien compris entre 0 et 100.

À partir de C_i^* , on calcule les coordonnées R, V et B de la cellule i . Toutefois, les fonctions de chacune d'elles sont différentes afin d'éviter l'apparition du gris. En outre, dans ces fonctions, on choisit d'utiliser la valeur j , c'est-à-dire le rang de la ligne considérée : la coordonnée R est égale à $C_i^* \sin(j\pi/480)$, la coordonnée V à $(100 - C_i^*) \sin(j\pi/480)$, la coordonnée B à $90 - 0,8C_i^*$. Une fois ces règles définies, on laisse «travailler» l'ordinateur et on regarde ce qui arrive à partir d'une ligne initiale de 480 cellules aux couleurs choisies au hasard. Dans le tableau ci-dessous, ces règles ont été appliquées à une ligne où les bleus et les noirs ont été privilégiés. À chaque ligne initiale est associé un résultat graphique différent. Le tableau reproduit à côté du titre montre un autre résultat des mêmes règles appliquées à une ligne initiale différente.

Le résultat est *a priori* imprévisible dans ses détails ! Toutefois, on peut formuler *a posteriori* des hypothèses sur quelques caractéristiques du résultat obtenu. Par exemple, les discontinuités qui apparaissent surtout à droite du tableau seraient dues à la périodicité des fonctions *sinus* ainsi qu'au *modulo* : ces deux éléments ramènent brusquement la valeur de C_i^* qui dépasse 100 à 0. Par ailleurs, pourquoi le rouge et le cyan n'apparaissent-ils qu'au centre du tableau, selon l'axe vertical ? Pour des valeurs de j très petites (en haut) ou proches de 480 (en bas), $\sin(j\pi/480)$ est proche de zéro, réduisant les proportions de rouge et de vert dans le haut et le bas du tableau dominés alors par le bleu, ou par le noir quand la proportion de bleu est elle-même basse.

Certains artistes ont trouvé dans les automates cellulaires un moyen de création quasiment infini. Toutefois, ces derniers restent aussi des outils pertinents d'analyse : par exemple, les automates cellulaires sont utilisés pour simuler le comportement d'un gaz, les propriétés magnétiques d'un matériau, le développement urbain, la propagation d'un feu de forêt...

Grâce aux automates cellulaires, on étudie des univers virtuels dont on contrôle l'ensemble des lois. Peuvent-ils nous aider à comprendre le nôtre ? C'est ce que pense Stephen Wolfram, spécialiste de la complexité, qui, en étudiant notamment de façon systématique tous les automates cellulaires à une dimension où les cellules oscillent entre deux couleurs selon leurs voisins immédiats, s'interroge sur les formes complexes produites par un programme simple. Selon lui, les automates cellulaires à une dimension sont des calculateurs universels, c'est-à-dire qu'ils peuvent simuler n'importe quelle «machine». Aussi, défend-il l'idée selon laquelle on pourrait peut-être «reconstruire» notre univers dans ses moindres détails à partir d'un programme simple.

Bernard CAILLAUD est artiste et chercheur associé à l'Université de Caen.

Bernard CAILLAUD, *La création numérique visuelle. Aspects du Computer Art depuis ses origines*, Europa, Paris, 2001.

Stephen WOLFRAM, *A new kind of science*, Wolfram media, 2002.