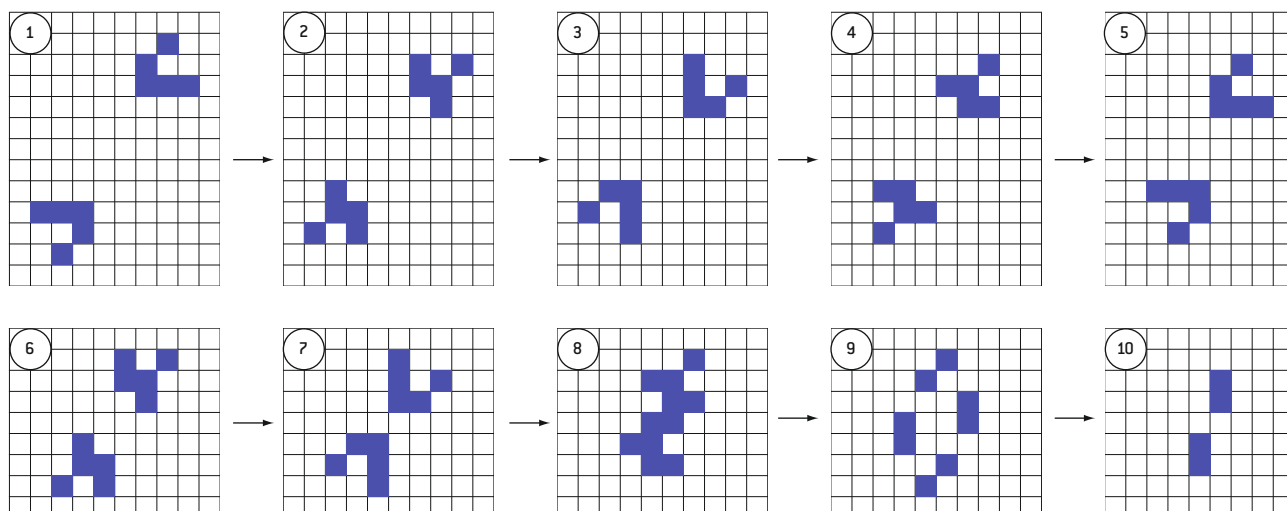




2. JOHN VON NEUMANN A UTILISÉ LES AUTOMATES CELLULAIRES pour démontrer la possibilité de l'autoreproduction. Chaque case (ou cellule) carrée d'un damier infini porte le même petit automate. Cet automate peut être dans un état pris parmi un nombre fini d'états fixés à l'avance. L'évolution se fait selon un temps discret : l'état de l'automate à l'instant $n + 1$ est déterminé par son propre état et ceux de ses voisins (par exemple les huit automates disposés autour de lui, ou une autre combinaison fixée une fois pour toutes) à l'instant n . L'automate cellu-

laire le plus étudié est l'automate du *Jeu de la vie* de John Conway : chaque cellule-automate est dans l'état vivant (*bleu*) ou mort (*blanc*) ; si une cellule est vivante et qu'elle est entourée de deux ou trois cellules vivantes elle reste vivante, sinon elle meurt ; si une cellule est morte et qu'elle est entourée de trois cellules vivantes, elle passe dans l'état vivant, sinon elle reste morte. On a représenté ici les dix étapes de la rencontre de deux configurations glisseurs (configuration se déplaçant en diagonale) conduisant à leur annihilation mutuelle à l'étape suivante.

ne nous apprend rien ! Dans notre univers, les lois de conservation de l'énergie et de la matière interdisent ce type d'autoréplication. Il n'est cependant pas impossible d'avoir des situations proches, où par exemple une particule et de l'énergie produisent deux particules identiques. Les prions anormaux qui provoquent la maladie de la vache folle se multiplient par contact en transformant la molécule *Prp-c* (normalement présente et sans effet nocif) en molécule *Prp-sc* (le prion anormal), tout comme le fait une cellule bleue de l'automate *trivial* qui transforme les cellules blanches qui l'entourent. Notons que dans ce type d'autoréplication, seuls des objets élémentaires se multiplient.

Un autre type d'autoréplication évidente, cette fois par gros blocs, est possible dans notre univers. Si l'on impose à l'univers une loi de conservation de la matière, le système autoréplicateur doit aller chercher les composants de son double dans son environnement et les assembler. C'est ce qui se passe dans le monde vivant ; l'idée que des composants sont disponibles et que s'autoréplicier, c'est les collecter et les assembler, n'est ainsi pas à exclure.

Un cas extrême et facile à réaliser en robotique est le suivant. Le robot A-B est formé de deux morceaux A et B (par exemple une tête et un corps) qui, isolément, sont inertes. Assembler deux éléments A et B se fait facilement, par exemple à l'aide d'aimants qui, dès que A et B sont proches, les solidarisent. On suppose aussi que la mise en contact de A et de B met en marche le robot A-B. Le sol environnant contient des morceaux A et B, inertes, car isolés. On programme le robot A-B de telle façon que, dès sa mise en marche, il recherche un morceau A et un morceau B, puis les assemble, ce qui donne alors un autre robot A-B, qui lui-même se met en marche, etc.

Certaines réalisations en robotique sont des systèmes autoréplicateurs dans ce sens : le robot assemble quelques pièces complexes déjà présentes dans son environnement et produit ainsi un double de lui-même. Les cristaux, et peut-être même les virus, sont autoréplicateurs dans ce sens.

De telles autoréplications ne sont pas satisfaisantes pour décrire ce que l'on observe dans le monde des êtres vivants évolués : dans un véritable processus d'autoréplica-

tion, il faut que l'objet qui se multiplie soit lui-même complexe et ne résulte pas de l'assemblage d'un petit nombre de composants complexes déjà là. En clair, à la définition naïve donnée précédemment, il faut ajouter :

Pour qu'il y ait vraiment autoréplication, l'objet qui se multiplie ne doit pas être trop simple et ne doit pas résulter de l'assemblage de quelques morceaux complexes présents dans son environnement.

Malheureusement, cette modification n'est pas encore satisfaisante. Ni dans un monde semblable au nôtre ni dans un monde d'automates cellulaires, les nouvelles exigences ne garantiront une autoréplication semblable dans sa logique à celle observée chez les êtres vivants.

Autoréplication d'une structure complexe

Commençons par le montrer dans le cas des automates cellulaires. Von Neumann l'ignorait (sinon il l'aurait mentionné), mais il existe une famille d'automates cellulaires simples et remarquables qui ont la très étonnante propriété suivante.