

# L'ORIGINE DE LA LIBERTÉ

Alain Van Kerckhoven

« *Liberté, liberté chérie* »

(La Marseillaise, Claude Joseph Rouget de Lisle)

« *I'm not a number, I'm a free man!*

- *aaaahahahahahahahah* »

(The Prisoner, Patrick McGoohan)

## L'INTUITION DE LA LIBERTÉ

Je me dirige vers ma bibliothèque sans trop savoir quel livre choisir. Je viens de terminer *American Gods* de Neil Gaiman et cherche de quoi meubler la demi-heure qui me sépare de l'arrivée de mon invitée. Mon regard survole les titres, les planches, les bibliothèques. *Histoire de ma vie* de Casanova. Je prends le premier volume et commence la lecture.

De tels choix égrènent nos vies. La plupart d'entre eux sont insignifiants tandis que d'autres pourraient bouleverser l'existence de millions d'individus et faire l'objet de commémorations durant plusieurs siècles. Notre vie se structure autour de ces décisions qui, finalement, nous définissent plus que nos gènes. L'on entre dans l'histoire, semble-t-il, par ses actes bien plus par son patrimoine génétique.

J'ai choisi d'interrompre mes études universitaires. J'ai choisi d'être éditeur. J'ai choisi d'écrire le présent essai et ce choix est d'autant plus évident que personne ne me l'a imposé ni même suggéré. Autrement dit, j'ai ma destinée en mains et, si je suis ce que je suis, c'est en grande partie grâce (ou à cause) de moi.

Ceci présuppose un principe important : la liberté existe. C'est l'intuition de cette condition première qui me permet de me voir en homme libre, doté d'une volonté propre, d'un libre arbitre. Tel est au premier chef ce qui me distingue des machines, des minéraux, des végétaux et d'une grande partie du règne animal : je peux m'autodéterminer. Cette intuition est aussi profonde que celle d'exister et aussi indicible que cette intime sensation du *Je*.

Correspond-t-elle à une réalité tangible?

Deux positions opposées balisent le domaine des réponses possibles. L'idéaliste affirme que la responsabilité individuelle est une évidence première de chaque instant qui joue un rôle central dans la structure de nos vies et de nos civilisations, et qui s'autodémontre. À l'inverse, le déterministe suit une approche cartésienne et s'appuie sur les récentes avancées des sciences cognitives pour conclure que le libre arbitre n'est qu'une illusion et la conscience une chimère. Ce débat voit se confronter des approches radicalement différentes du monde qui vont souvent de pair avec des visions politiques antagonistes.

Mon propos sera de confronter ce fort sentiment d'autodétermination à une réflexion voulue rationnelle et apolitique sur les limites et les origines possibles de la liberté d'action afin d'en préciser la nature fondamentale. Je tâcherai de faire économie de références et d'exemples afin d'être aussi concis et linéaire que possible.

Ce court essai n'a d'autre prétention que de répondre à cette question qui me fut posée chez un libraire : « Penses-tu que nous soyons libres? » Voici donc ce que j'en pense.

## LES LIMITES DE LA LIBERTÉ

Certains éléments étaient nécessaires pour que je devienne éditeur. Par exemple, je ne suis pas atteint d'une maladie incompatible avec cette profession. Par exemple, j'ai rencontré sur ma route des gens, des événements qui ont éveillé mon intérêt pour la création contemporaine. Par exemple, je n'avais pas charge de famille et pouvais m'aventurer dans une entreprise financièrement hasardeuse. Ma liberté de choix fut ainsi sérieusement canalisée par de nombreux facteurs extérieurs.

On peut rétorquer qu'il s'agit là d'évidences car si nous avons besoin d'éléments déterminés pour réaliser un choix, nous en sommes bien sûr tributaires : si nous choisissons de rouler il est nécessaire d'avoir des roues. Appelons ces évidences des *contraintes visibles*. Elles sont la première limitation à nos libertés. Pour reprendre une dichotomie usuelle, les contraintes visibles recouvrent le déterminisme génétique et une partie du déterminisme social. Elles constituent le premier élagage d'importance du monde des possibles.

Reprenons maintenant l'exemple du livre choisi dans ma bibliothèque. Outre les contraintes visibles (que je sache lire, que je possède ce livre...), d'autres éléments ont concouru à diriger mon choix : le fait que je revienne de Venise, l'attente d'une personne aimée, voire d'autres facteurs plus ou moins conscients tels que mon humeur du moment ou la recherche d'un état d'esprit plus particulier. Je les regroupe sous l'étiquette de *contraintes discrètes*.

Ces contraintes visibles et discrètes trouvent une expression quotidienne dans les tribunaux où elles alimentent les argumentations des avocats et modulent la sévérité des peines. La question de savoir si l'accusé était responsable de ses actes est d'importance dans la plupart des codes pénaux. En conséquence, dans le sillage des commentaires que leurs arrêts suscitent, le débat entre les partisans du libre arbitre et ceux d'un déterminisme (qu'il soit génétique, neurologique, social ou autre) revêt une importance toute particulière. Notons-le, la question souvent posée aux experts : « *Le prévenu était-il responsable de ses actes?* » est une question booléenne qui n'admet guère de nuances. C'est oui ou c'est non.

Que l'on soit toujours responsable de ses actes et les sanctions se chargent d'une signification punitive à laquelle elles ne peuvent prétendre si le libre arbitre n'existe pas. Pareilles implications investissent les principaux enjeux de nos sociétés et confèrent à la question du libre choix une valeur morale, éthique et politique dont il est difficile de s'abstraire.

Nous avons démontré que deux types de nécessités limitent notre liberté mais nullement dans quelle mesure. Étouffent-elles totalement le libre arbitre au point d'en faire une illusion dont nous sommes les jouets ou sont-elles au contraire négligeables? Ou, selon les cas, le degré de liberté d'action se trouve-t-il quelque part entre le zéro et l'infini? L'intuition nous souffle la dernière hypothèse car les positions extrêmes nous gênent. Si elle avait raison, les tribunaux auraient bien tort.

Être responsable de ses actes suppose de décider. Où ces décisions prennent-elles naissance, et dans quelles circonstances?

## UN LIBRE ARBITRE FUGACE

Le libre arbitre est généralement défini comme la faculté de se déterminer sans autre cause que la volonté. Et se déterminer, c'est agir après avoir perçu.

Nous sommes faits de cellules. Tout ce que nous connaissons du monde est perçu par le biais de cellules (cellules rétinienne, cils auditifs, papilles gustatives, poils...) et transmis à l'amas cellulaire qu'est le cerveau par le biais de cellules nerveuses. Toute notre action sur le monde s'effectue au moyen de cellules musculaires qui nous permettent de parler, de prendre, d'écrire. Ces cellules sont à nouveau commandées par des cellules nerveuses commandées par le cerveau.

C'est de proche en proche que ces cellules s'influencent afin de faire transiter des signaux de perception ou d'action. Et tout ceci s'effectue – comment pourrait-il en être autrement? – en parfaite conformité avec les lois de la physique, de la chimie, de la logique<sup>1</sup>.

Dans cette perspective, il est difficile de concevoir qu'une (ou chacune) de nos cellules puisse être dotée d'une volonté propre. Une cellule pancréatique, un neurone, un globule rouge peut-il, en une certaine circonstance, prendre une décision libre? Autrement dit, dans des circonstances physico-chimiques strictement identiques, aurait-il pu avoir un comportement différent?

Imaginons que la réponse soit positive. Dans ce cas, un neurone ayant choisi un comportement spécifique l'aurait nécessairement fait sans aucune raison... puisque, s'il en avait été autrement, la raison qui l'aurait poussé à privilégier une solution à une autre eut précisément été une contrainte. En conséquence, une cellule ne peut agir qu'en fonction d'un contexte physico-chimique auquel elle se plie, en fonction de lois strictes qui ne laissent nulle place à une quelconque volonté ou liberté de choix. Ces contraintes ne sont visibles ou discrètes qu'en fonction du degré de connaissance que nous en avons.

Dès lors, si je peux expliquer pourquoi j'ai choisi l'autobiographie de Casanova, cela ne revient-il pas à admettre que mon choix dépendait de ces raisons... et qu'il n'était donc pas vraiment libre? Et si nous acceptons ce principe, il nous faut aussi considérer comme secondaire le fait d'être conscient ou non des motivations d'un choix<sup>2</sup>, et d'admettre que même si l'on en connaît pas les motivations, celles-ci existent. En manière telle que ce que nous appelons « choix » n'a rien à voir avec l'idée conjecturale d'un libre arbitre. Au-delà des contraintes visibles, les contraintes discrètes forment un univers dense et compact, non mesuré.

Toutefois, ceci ne démontre pas qu'il ne puisse *jamais* y avoir d'autodétermination. En effet, les raisons que nous donnons aux choix pourraient être des élucubrations inconscientes *a posteriori*... un peu comme ces impressions de *déjà-vu* ou comme ces rêves improvisés à la volée pour justifier un événement perturbant le sommeil et donnant l'impression de lui avoir été préalable.

Soyons donc plus concrets et descendons encore de quelques niveaux vers le fondamental.

---

<sup>1</sup> Constater cela n'est guère plus réductionniste que de constater que vingt-six lettres ont suffi à Shakespeare pour écrire son oeuvre, ou quatre lettres à la nature pour rédiger le génome humain. La complexité d'une oeuvre est indépendante de la variété de ses éléments.

<sup>2</sup> Sauf à admettre que la liberté d'un choix se résume à l'inconscience de ses causes.

## LE DÉTERMINISME

L'univers physique (donc tout ce qui est observable : nous, notre esprit, nos décisions, nos sentiments inclus) se résume à un ensemble de particules, de forces et de lois<sup>3</sup>.

En première approche, ceci conduit à un monde froidement déterministe. Dans un champ de forces donné, une particule donnée ne peut avoir qu'un comportement unique. L'univers prend ainsi la forme d'un gigantesque billard dont les innombrables boules et collisions génèrent des configurations dynamiques dessinant notre galaxie, le dernier souffle de Socrate ou moi-même écrivant ceci.

Nous y dissimulons sous le terme de *hasard* la somme de nos méconnaissances des lois physiques ou des conditions initiales. Les mutations génétiques ou le jet d'un dé ne résultent que du jeu d'un nombre fini de lois physiques sur un nombre fini d'éléments. Leur complexité ne transcende que nos capacités cognitives. Dans un tel univers, la position de chaque boule à un instant donné est la pure conséquence des forces qui lui ont été imprimées, et de rien d'autre.

Certes, le concept d'une volonté consciente agissant sur elle-même, si elle n'y a aucun fondement scientifique, ne peut être exclue. En revanche, ainsi que nous l'avons vu plus haut, il serait rigoureusement impossible à cette volonté consciente d'agir sur le monde physique. Or, c'est bien cette action physique dont les conséquences sont évoquées pour tenter de démontrer l'existence du libre arbitre : le libre arbitre est censé nous offrir des choix d'actions sur le monde et, incidemment, sur nous-mêmes.

Dans cet univers horlogique, chaque mouvement est rigoureusement déterminé et aucune liberté n'existe. Le chemin que suit une particule ou un système est l'unique chemin possible, chaque état de cet universel billard n'étant que la conséquence directe et inéluctable de l'état qui l'a précédé... en ce compris chaque geste, chaque regard, chaque regret.

Ses conséquences politiques et sociales sont drastiques à deux niveaux. Tout d'abord, si toutes nos actions sont le fait d'éléments que nous ne contrôlons pas, nous ne pouvons être tenus moralement responsables. Ensuite, ceci s'appliquant à la société elle-même, il serait incohérent d'en déduire que tribunaux et sanctions sont absurdes puisque eux aussi découlent d'éléments incontrôlés et implacables. Le monde, dont nous et nos pensées sommes parties intégrantes, est simplement ainsi puisqu'il ne pourrait être différent.

L'univers déterministe est un livre écrit qui tourne lui-même ses pages.

---

<sup>3</sup> Une objection souvent rencontrée à ce stade du discours affirme que l'univers physique n'est pas tout, que le monde des idées, des sentiments, des créations spirituelles voire d'autres entités encore peut coexister. Dans ce cas, de deux choses l'une. Soit ce monde 'spirituel' interagit avec le monde 'matériel' et ces interactions doivent suivre des lois conformes à celles de l'univers physique. Il semble alors étrange de distinguer l'un de l'autre, puisqu'ils partagent du moins certaines lois. Soit, à l'inverse, ce monde spirituel ne peut interagir et ne peut donc être observable, ni directement ni indirectement. Il n'a donc pas sa place dans un discours scientifique.

## UN MONDE QUANTIQUE

Au début du XXe siècle, cette conception s'est vue vigoureusement ébranlée par la théorie quantique. À son échelle la plus fine, l'univers devenait statistique et non plus mécanique : les particules ne sont plus caractérisées par un ensemble de paramètres mais par une fonction d'onde ; l'électron atomique n'est plus en orbite autour du noyau mais y possède une densité de probabilité de présence ; le vide fourmille de particules et d'antiparticules qui se créent et s'annihilent d'une façon individuellement imprévisible mais statistiquement descriptible. La source de la liberté, de la volonté, du libre arbitre ne serait-elle pas finalement là, dans ce magma indéterministe qui constitue la trame la plus intime de notre univers?

Au moins deux éléments vont à l'encontre de cette hypothèse.

Tout d'abord, les phénomènes quantiques ne s'expriment qu'à une échelle quantique : il s'agit du phénomène de décohérence. Se combinant en très grands nombres pour former des objets macroscopiques, la résultante de leurs caractéristiques quantiques n'a plus grand-chose de quantique. En fait, si l'ensemble des particules formant une boule de billard sont régies par des fonctions d'ondes, la boule de billard est, elle, régie par les lois de la mécanique classique<sup>4</sup> de telle façon que, si le libre arbitre avait une origine quantique, il ne pourrait guère s'exprimer dans notre expérience quotidienne.

Certains contre-arguments peuvent être avancés, comme par exemple l'idée que, au niveau neuronal, un tout petit nombre d'électrons peut faire la différence sans subir de décohérence importante. Mais il y a tant de connexions, tant d'influx pour lesquels joueraient la décohérence que cela semble une hypothèse bien fragile. Et surtout, il y a le second élément...

Si la physique quantique met beaucoup d'eau dans le vin déterministe, ce n'est guère l'eau recherchée par les idéalistes. En effet, les phénomènes quantiques sont aléatoires : un événement a une certaine probabilité de se produire dans des circonstances données. L'univers déterministe nous avait plongés dans un labyrinthe sans autre possibilité que de suivre les méandres de l'unique chemin qui s'offrait à nous. La physique quantique a fait tomber des pans de mur, nous offrant par endroit des bifurcations... mais tirant à pile ou face le chemin que nous prendrons.

La nature quantique de l'univers ne permet ainsi d'échapper au déterminisme que par le biais de l'aléatoire, ce qui est bien loin des conceptions habituelles de "volonté" ou de "libre arbitre". Désormais, le couple formé par le hasard et la nécessité semble occuper tout l'espace des possibles.

Si la texture fondamentale de l'univers n'offre guère de prise pour y dénicher les sources de notre apparente liberté, cela ne laisse qu'une alternative : soit il s'agit d'une illusion, soit d'une propriété émergente.

---

<sup>4</sup> Si les ressources de calcul permettent dans l'avenir de dresser la fonction d'onde d'une boule de billard, le résultat sera bien sûr en phase avec le comportement de cette boule prévu par la mécanique classique.

## LA LIBERTÉ COMME PROPRIÉTÉ ÉMERGENTE?

Prenons les briques Lego les plus simples. Ces briques sont incapables de se mouvoir par elles-mêmes. Quel que soit l'assemblage que l'on puisse en concevoir, ce dernier ne pourra se mouvoir par lui-même. Si aucune des personnes travaillant pour une firme ne peut communiquer en italien, cette firme ne pourra pas traiter d'affaires en italien. C'est ce type de postulat que nous avons tacitement suivi jusqu'à présent : nous avons admis que l'empilement de particules et de cellules ne répondant qu'à des lois mécaniques ou statistiques ne pouvaient mener qu'à des êtres humains sous la seule influence des mêmes lois.

Le postulat *Lego* est-il ici inapplicable? L'autodétermination peut-elle être une *propriété émergente* des systèmes complexes, et ceci peut-il nous offrir une clé utile? Et avant tout, qu'est-ce qu'une propriété émergente?

La vie, l'intelligence, la culture, le langage sont des propriétés émergentes : elles ne proviennent pas des éléments du système mais de l'agencement de ces éléments. Elles sont en outre irréductibles aux propriétés de ces éléments. Si le libre arbitre existe, il ne peut donc être qu'une propriété émergente. Reste notamment à voir comment cette émergence aurait pu s'opérer.

Pour ce faire, il sera plus facile de considérer un monde conceptuel plus simple que le nôtre. Si des structures autodéterminées peuvent émerger dans un univers simple, elle pourront le faire d'autant plus probablement dans un univers aussi complexe que le nôtre. Prenons pour ce faire le *Jeu de la Vie* de John Conway, régulièrement utilisé pour modéliser des phénomènes complexes.

Celui-ci prend place dans une matrice plane et infinie composée de cellules carrées. À chaque nouvelle génération (l'évolution y est discrète), l'état de chaque cellule est redéfini en fonction des états de ses huit voisines à la génération précédente<sup>5</sup>. L'informatisation particulièrement aisée de ces modèles permet de suivre le développement de structures dont le comportement rappelle étrangement divers comportements de types physiques, chimiques, biologiques voire sociologiques. Ainsi, certains automates cellulaires sont dotés de la capacité de se mouvoir, de se répliquer ou encore d'évoluer d'une façon *qui nous semble* affranchie de lois sous-jacentes.

Il a en outre été démontré que le Jeu de la Vie est une machine de Turing universelle, c'est-à-dire qu'il offre un cadre formel suffisant pour calculer tout algorithme, quelle que soit sa complexité. Ceci implique aussi que la complexité des structures qui peuvent y émerger ne se voit opposer aucune limitation *a priori*.

Une autre caractéristique de la création de Conway doit être soulignée : chaque cellule évolue en fonction de l'état de ses voisins immédiats. Nous savons que l'adaptation darwinienne repose sur la capacité des organismes à éviter les éléments qui leur sont nuisibles et à utiliser ceux qui leurs sont utiles. Bref, à "trouver" un chemin qui assure leur viabilité. Toutefois, ces capacités qui assurent l'émergence et le développement de structures globales (pluricellulaires, civilisations...) n'ont que des portées et des perceptions locales (membrane cellulaire, communications culturelles...)

---

<sup>5</sup> Une cellule "naît" si elle était entourée de trois voisins, "survit" si elle était entourée de 2 ou 3 voisins et "meurt" dans tous les autres cas. (Il sort des intentions de ce court essai d'offrir une présentation du Jeu de la Vie. Internet dispose de très nombreux sites dédiés à ce concept, facilement accessibles par les mots-clés "jeu de la vie", "lifegame" ou "Conway".)

## REDEFINIR LA LIBERTÉ.

Les structures du Jeu de la Vie nous obligent à repenser notre représentation du déterminisme. Des entités structurées, non algorithmiques, non prévisibles, et aux comportements en apparence arbitraires peuvent y apparaître et s’y développer. Un certain chemin semble avoir été accompli en direction du libre arbitre : le monde mi-horlogique mi-*pile ou face* est loin derrière nous. Nous avons vu là émerger des propriétés nécessaires à l’autodétermination.

D’un autre côté, n’est-il pas possible de poursuivre cette tentative de conciliation en repensant notre représentation du libre arbitre? Si, *en apparence*, un automate cellulaire peut avoir acquis un comportement complexe très éloigné des lois simplissimes de son univers, il importe de se demander si le libre arbitre dont nous sommes *en apparence* dotés ne serait pas d’une nature similaire.

Introduire la notion de *meme* nous aidera à aborder cette question. Un meme est un *élément* culturel tout comme un gène est un élément génétique. À l’instar de ce dernier, le meme est transmissible, peut subir des mutations, entrer en concurrence et, par conséquence, participer à une dynamique darwinienne de sélection naturelle<sup>6</sup>. Comme un gène, il peut se transmettre selon des canaux dédiés (éducation, presse...) ou se diffuser d’une façon virale (marque, ritournelle...) À l’inverse d’un gène toutefois, il assure avant tout une diffusion horizontale<sup>7</sup> de l’information et constitue de la sorte l’élément-clé ayant permis l’émergence de la culture et donc de la spécificité humaine<sup>8</sup>.

Richard Dawkins a été le premier à proposer l’idée que la dynamique darwinienne de ces memes pût être le moteur principal d’évolution de nos sociétés. Dans ce paradigme, notre état de pensée résulte à chaque instant d’une compétition entre les memes durables ou passagers qui constituent notre identité, de telle sorte que notre esprit peut être vu comme un biotope. La viabilité d’une idée, d’une chanson, d’un concept ne dépend dès lors pas d’une quelconque “qualité intrinsèque” (bonne ou mauvaise idée par exemple) mais du fait que ce complexe memétique dispose de fortes capacités compétitives.

Bien sûr, il y a des mécanismes d’influence entre les gènes et les memes ou, dit autrement, entre les facteurs de déterminisme génétiques et les facteurs de déterminisme culturels. D’un côté, les gènes ont une influence directe sur l’organisation cérébrale, sur les mécanismes de perception et d’action ainsi que sur la reproduction du substrat memétique que sont les êtres humains. À l’inverse, les memes produisent les facteurs stimulant (esprit de coopération, stimulations romantiques, idéal familial...) ou inhibant (interdits moraux ou religieux, connotations culturellement négatives) la réplication des gènes. Ce sont aussi les memes qui sont à l’origine des minijupes, des opéras et des génocides.

---

<sup>6</sup> Offrir une introduction de la memétique sort aussi du cadre de cet essai. Le lecteur non familiarisé avec ces concepts pourra se référer à l’ouvrage de Richard Dawkins qui a, le premier, introduit ce concept : *The Extended Phenotype* (Oxford University Press, 1982).

<sup>7</sup> Il serait cependant erroné d’attribuer aux gènes une diffusion purement verticale du design. De nombreux travaux montrent en effet que la transmission horizontale de l’information génétique a été largement sous-estimée.

<sup>8</sup> La culture est bien sûr prise dans son acception la plus large (et la plus fondamentale), soit l’élaboration d’un vaste réservoir accessible d’information permettant aux individus de ne pas devoir réinventer chaque fois le théorème de Pythagore ou le mythe de Sisyphus.

L'approche darwinienne de la culture nous offre probablement cette perspective que nous cherchions. Elle nous montre clairement ce qui distingue l'homme de l'animal en présentant la culture non comme une simple conséquence d'une évolution biologique, mais surtout comme une révolution majeure sans laquelle, par exemple, nous ne pourrions nous interroger sur ce phénomène apparent d'autodétermination.

Arrivé à ce stade, nous ne pouvons que nous demander si la volonté, le libre-arbitre, la liberté de choix ne constituent pas le dernier "centrisme" à abandonner. Le géocentrisme a longtemps placé la Terre au centre de l'univers. L'anthropocentrisme faisait du bien de l'humanité la finalité de toute chose. Peut-être parlera-t-on plus tard d'autodéterminisme en se référant à cette âge où l'humanité se croyait maître de ses choix, sans trop chercher à savoir ce qui se cachait derrière ces mots.

Le glissement du géocentrisme à l'héliocentrisme ne nous a rien enlevé. Je crois que pareil glissement pourrait maintenant être appliqué au libre arbitre. Ce dernier serait alors compris comme une propriété émergente, tributaire d'un déterminisme plus large et plus ouvert que les anciennes conceptions le laissaient envisager, échappant à toute prévision et potentiellement illimité dans sa complexité.

Sous cet éclairage, le fait que *nous* n'en soyons pas maîtres est-il plus important que le fait que la Terre ne se trouve pas au centre de l'Univers?

## BIBLIOGRAPHIE

Blackmore, Susan. The Meme Machine. Oxford: Oxford University Press, 2000.

Conway, John H. Regular Algebra and Finite Machines. London: Chapman and Hall, Ltd., 1971.

Dawkins, Richard. The Extended Phenotype. Oxford: Oxford University Press, 1982.

Dawkins, Richard. The Selfish Gene. Oxford: Oxford University Press, 1976.

Dennett, Daniel. Freedom evolves. York: Allen Lane, 2003.

Dennett, Daniel and Christopher Taylor. “Who’s Afraid of Determinism? Rethinking Causes and Possibilities”. In R. Kane, editor, The Oxford Handbook of Free Will, Oxford: Oxford University Press, 2002.

Hofstadter, Douglas R. Metamagical Themas: Questing for the Essence of Mind and Pattern. New York: Basic Books, 1985.

Kane, Robert. The Significance of Free Will. Oxford, Oxford University Press, 1996.

Thatcher, John. “Self-describing turing machines and self-reproducing cellular automata”. In A. W. Burks, editor, Essays on Cellular Automata, pages 103-131. University of Illinois Press, 1970.