

Centre informatique
pédagogique (CIP)
Rue Théodore-de-Bèze 2
Case Postale 3144
1211 GENÈVE 3
Tél: (022) 318.05.30
Fax: (022) 781.03.50
Directeur:
Raymond Morel

Lettre n° 38

*A l'aide de la modélisation
informatique, un nouveau
champ de recherche a été
investi: celui de la complexité*

*Les chercheurs ont alors fait
une découverte essentielle:
l'évolution de certains systèmes
complexes peut être régie par
des processus simples*

*Des propriétés globales peuvent
émerger des interactions
locales entre les éléments
d'un système: le tout n'est
plus égal à la somme des parties*

Lundi 6 mars 1995 à 17 h

Complexité

Bernard Vuilleumier

L'explication de la nature et de la vie s'est longtemps fondée sur des principes déterministes simples. Obéissant aux lois de la mécanique de Newton, l'Univers tournait comme une horloge. Puis vint la théorie du chaos: une cause anodine, le frémissement de l'aile d'un papillon dans la forêt amazonienne, pouvait provoquer une tempête en Europe (voir lettres n° 27 et 28 du Club Modélisation & Simulation). A l'aide de la modélisation informatique, les chercheurs ont découvert un nouveau champ d'investigation – la complexité – qui se situe à la frontière du chaos. En 1984, est né le Santa Fe Institute. Ses protagonistes ne sont pas des anarchistes, mais des Prix Nobel de physique et d'économie tels Murray Gell-Mann et Kenneth Arrow; des mathématiciens et des informaticiens de talent venus de Los Alamos. Ils ont formé un courant de pensée iconoclaste et leur idée fondamentale est de créer une nouvelle science de la complexité. Ils manifestent tous une profonde impatience à l'égard de la pensée linéaire et réductionniste qui a dominé la science depuis l'époque de Newton. Ils partagent de nouvelles vues sur la dynamique des systèmes, l'évolution, l'ordre et le chaos. On se prend alors à rêver: la science de la complexité expliquera-t-elle l'essor, puis la décadence des civilisations disparues; les extinctions périodiques qu'a connues la Terre, comme celle des dinosaures; la multiplication des espèces du début de l'ère primaire; le développement de l'embryon humain...? Ira-t-elle même jusqu'à rendre compte de certains mystères de la conscience? Il est encore trop tôt pour l'affirmer catégoriquement, mais nous pouvons déjà subodorer que cette approche occupera une place centrale parmi les sciences du XXI^e siècle.

La complexité visée par cette nouvelle approche se situe entre l'ordre total et le désordre complet. En météorologie par exemple, les interactions complexes d'une multitude de composantes engendrent des phénomènes qui ne sont ni totalement ordonnés, ni complètement chaotiques, et qui donnent lieu à des structures. La physique considérait que l'on pourrait analyser le comportement des systèmes complexes lorsqu'on disposerait d'outils assez puissants, et que les modèles utilisés seraient compliqués. La découverte essentielle des chercheurs dans le domaine des systèmes dynamiques est que cette idée est fautive (voir lettre CM n° 33): l'évolution de certains systèmes complexes peut être régie par des processus simples. Mais, des interactions locales entre les éléments d'un système, peuvent émerger des propriétés globales que l'on n'aurait pas pu prédire d'après ce qu'on sait de ces éléments. Et les propriétés globales – sorte de comportement émergent – influent sur les éléments qui en sont localement à l'origine.

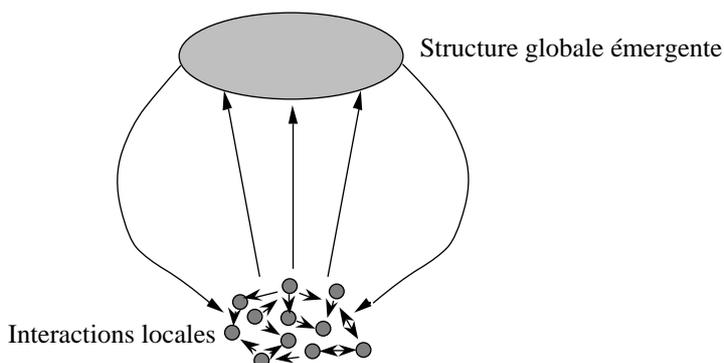


Fig. 1 : Schéma d'émergence dans un système complexe adaptatif (d'après Chris Langton). Des propriétés globales peuvent émerger de l'interaction locale entre les éléments du système. Et ces propriétés globales influent les éléments qui en sont localement à l'origine.

Travaux pratiques

Le concept de réseau d'automates est un concept clef dans l'étude des systèmes complexes

Pour se familiariser avec une convention de numérotation des règles d'évolution

Pour prendre pied dans le monde des réseaux d'automates unidimensionnels et illustrer la notion de structure globale émergente

Le concept de réseau d'automates

Durant les années quarante, le «père» de l'ordinateur moderne, John von Neumann, se pose la question suivante: est-il possible de construire un système artificiel capable de se reproduire, et quelles sont les conditions logiques suffisantes pour obtenir l'autoreproduction? Il cherche à abstraire de la reproduction biologique naturelle une forme logique indépendante de la réalisation matérielle et des processus physico-chimiques de la reproduction. Il considère alors un organisme artificiel constitué d'un quadrillage infini. Sur les carreaux «vivent» et «meurent» des êtres mathématiques: les automates cellulaires. A chaque carreau est associé un automate, et la collection d'automates figure en quelque sorte les cellules de cet organisme artificiel. La résolution logique du problème est alors ramenée à un choix de règles d'interactions entre les automates et à la recherche de configurations de cellules susceptibles de se multiplier au cours de la «vie» de l'organisme. En 1949, von Neumann parvint à exhiber un réseau d'automates à deux dimensions et 29 états par automate capable de s'autoreproduire. Dès lors, le concept de réseau d'automates a joué un rôle clef dans l'étude des systèmes complexes. Il permet une approche dynamique. Comme dans les méthodes différentielles, on part d'une description locale du système en envisageant les changements d'état à court terme des automates sous l'effet de leurs interactions, et on obtient la description globale du système. Le comportement global peut être d'une très grande richesse et s'interpréter en termes de propriétés émergentes. Cette notion recouvre l'idée que ces propriétés ne sont pas a priori prévisibles à partir de la structure des interactions locales.

Exercice 1

Ecrivez un programme permettant d'obtenir les numéros des règles «légales» d'évolution d'un réseau d'automates à une dimension et à 2 états par automate, dans lequel chaque automate n'interagit qu'avec ses plus proches voisins (pour le principe de la numérotation des règles, voir lettre CM n° 28).

Exercice 2

Examinez les évolutions définies par les 32 règles «légales» pour 21 étapes temporelles en partant:

- a) d'une seule cellule dans l'état «1»
- b) d'une configuration initiale de 21 cellules dont les états «0» ou «1» sont choisis aléatoirement.
- c) Etablissez une classification des règles d'après les évolutions observées.

Prochaine réunion: lundi 3 avril 1995 à 17h.

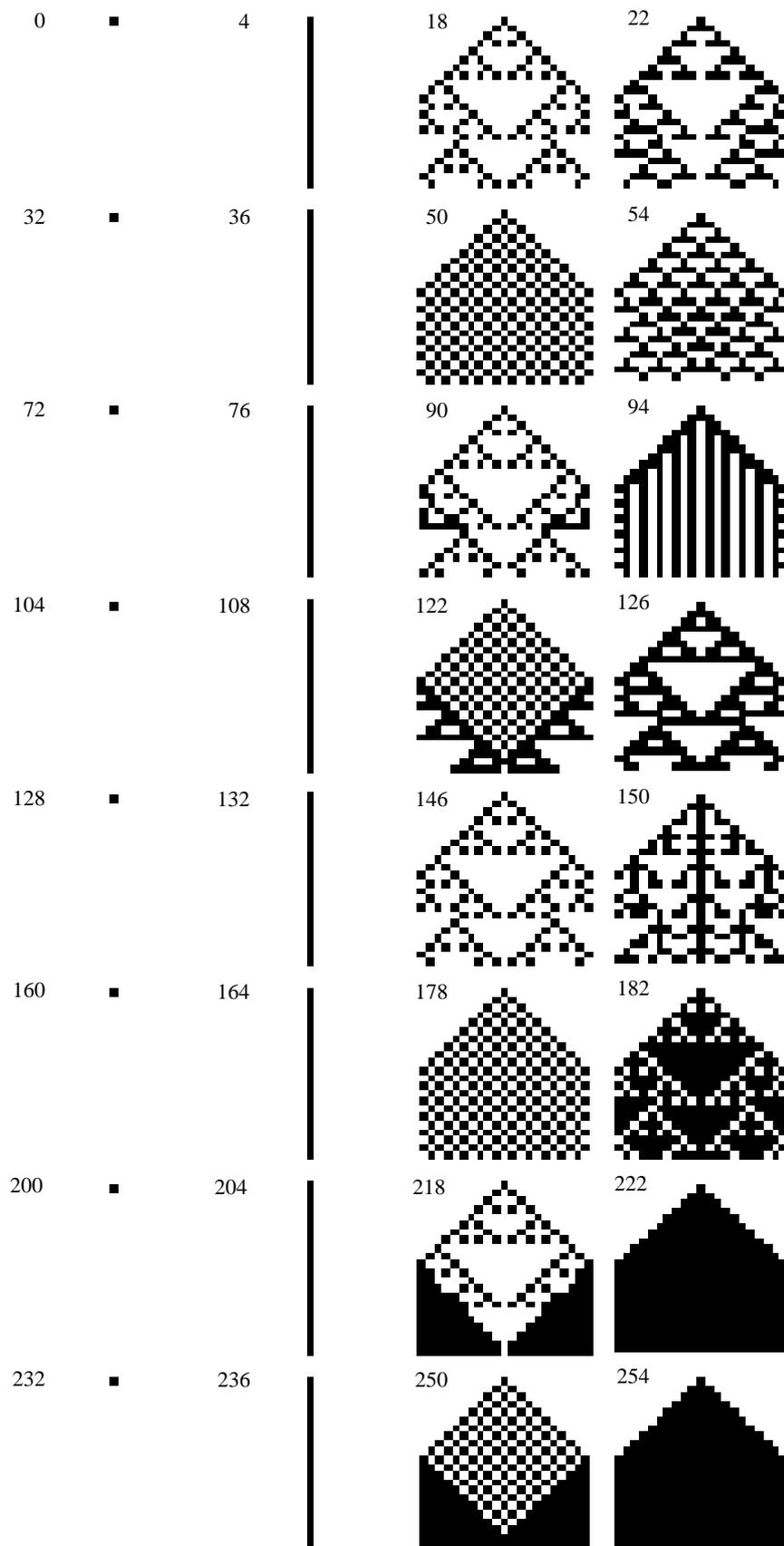


Fig. 2a: Evolution d'un automate unidimensionnel à deux états – constitué initialement d'une seule cellule – pour les 32 règles légales. On constate que pour les règles de la première colonne, la cellule initiale «meurt» alors que pour celles de la deuxième, elle reste «en vie». Dans les troisième et quatrième colonnes, l'automate s'étend en générant des structures plus ou moins compliquées.

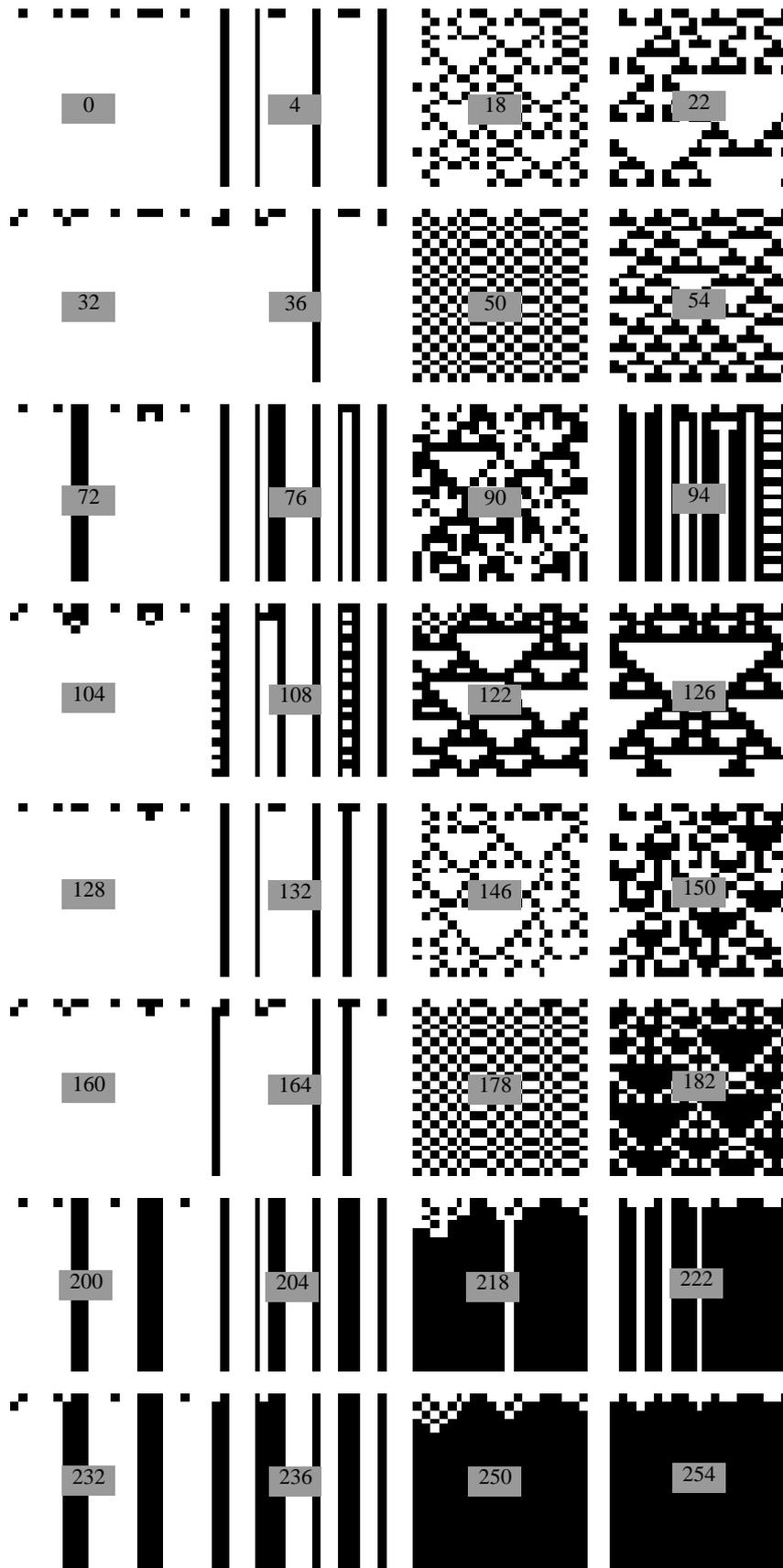


Fig. 2b: Evolution d'un automate unidimensionnel à deux états – constitué initialement d'une configuration de cellules – pour les 32 règles légales. On constate que les règles de la première et de la deuxième colonnes, appliquées à une configuration de cellules dont les états initiaux sont choisis aléatoirement, donnent lieu, après quelques étapes, à des cycles de période courte; on retrouve également des cycles de période courte dans les colonnes 3 et 4 (règles 50, 94, 178, 218, 222, 250 et 254). Toutes ces règles sont dites *simples*. Les autres règles, appelées *complexes*, font apparaître des *structures globales* traduisant des corrélations entre cellules éloignées les unes des autres.