

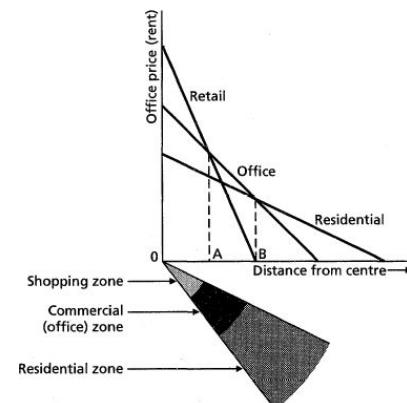
SE-12

Etude de phénomènes spatiaux : modèles basés-agents Introduction historique et conceptuelle

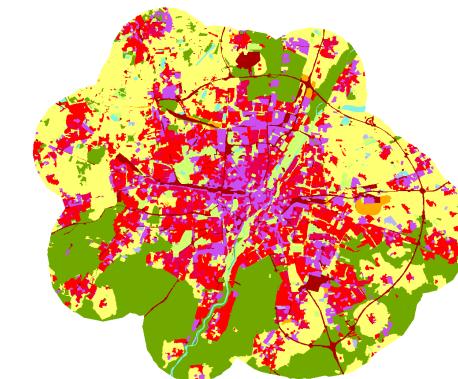
Thomas Favre-Bulle (ALICE)

André Ourednik (Chôros)

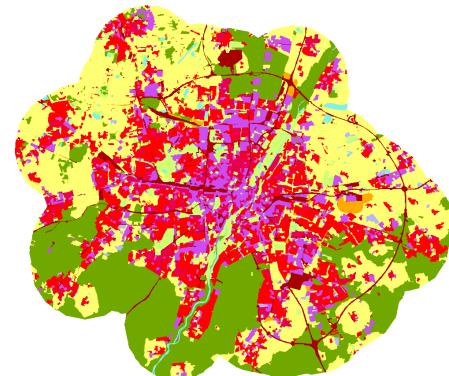
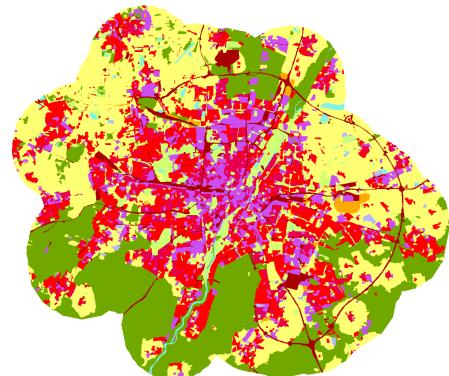
top-down



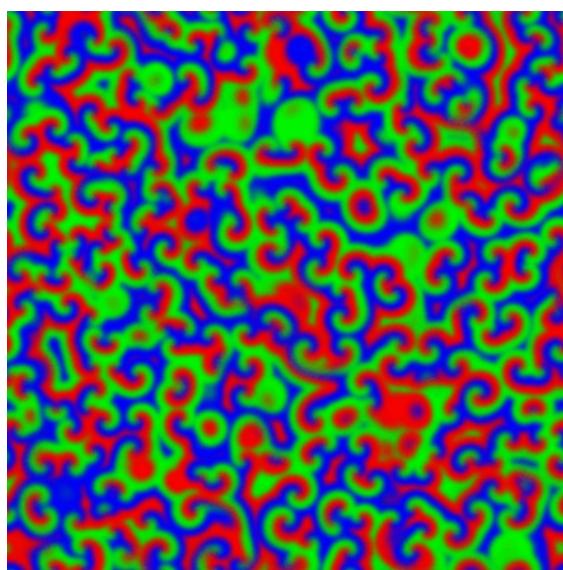
bottom-up



émergence

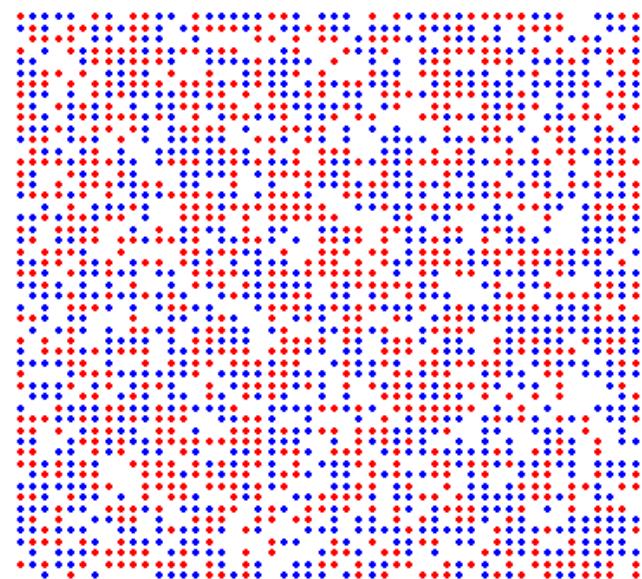


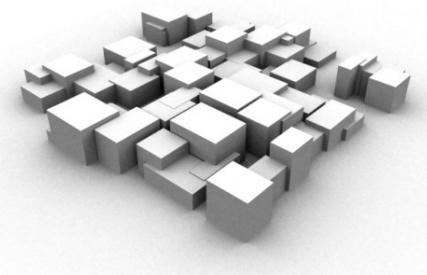
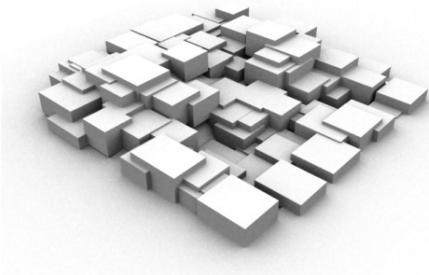
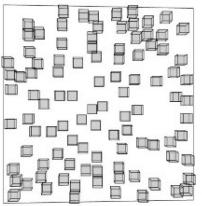
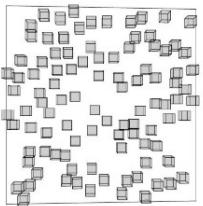
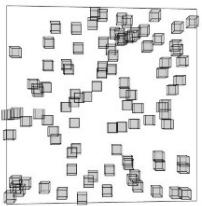
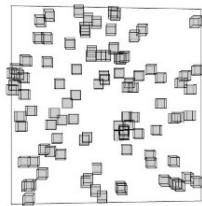
Automates Cellulaires



Modèles Basés Agents

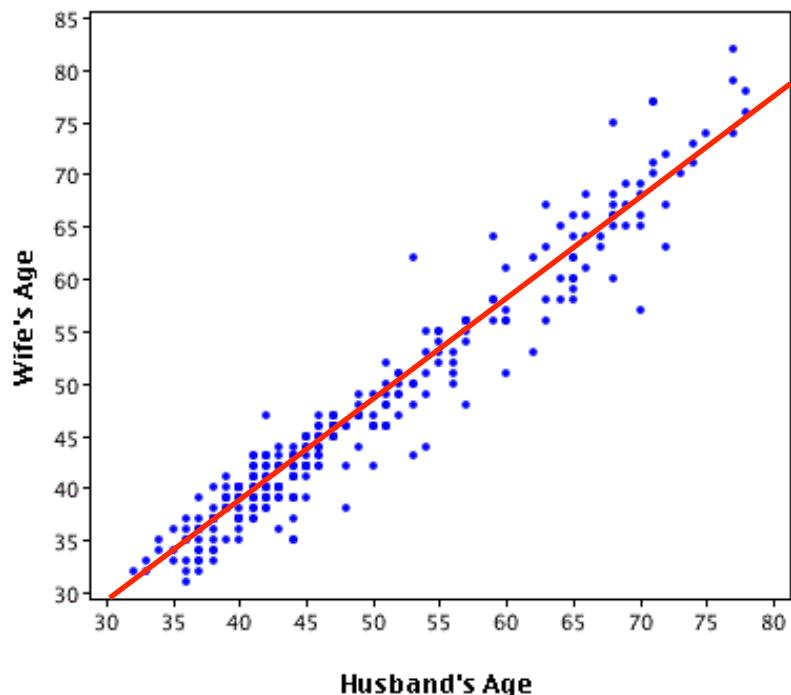
Step 1





m o d è l e

= description délibérément *schématique* d'un phénomène, servant à le comprendre dans ses *grandes lignes*.



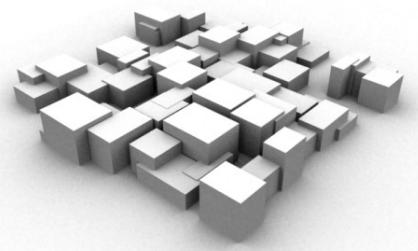
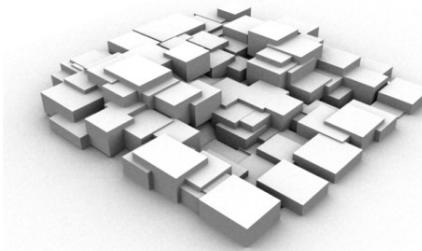
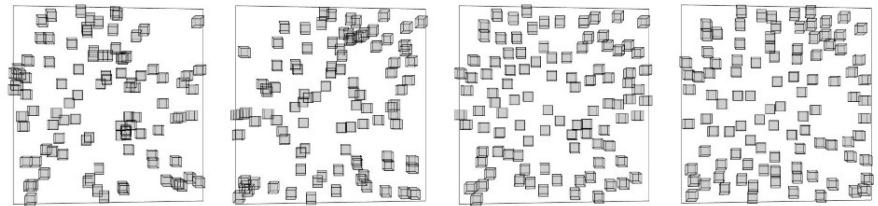
$$A_W = 0.95A_H + 0.2$$

m o d è l e

= description délibérément *schématique* d'un phénomène, servant à le comprendre dans ses *grandes lignes*.

Modèle et simulation dans un modèle dynamique

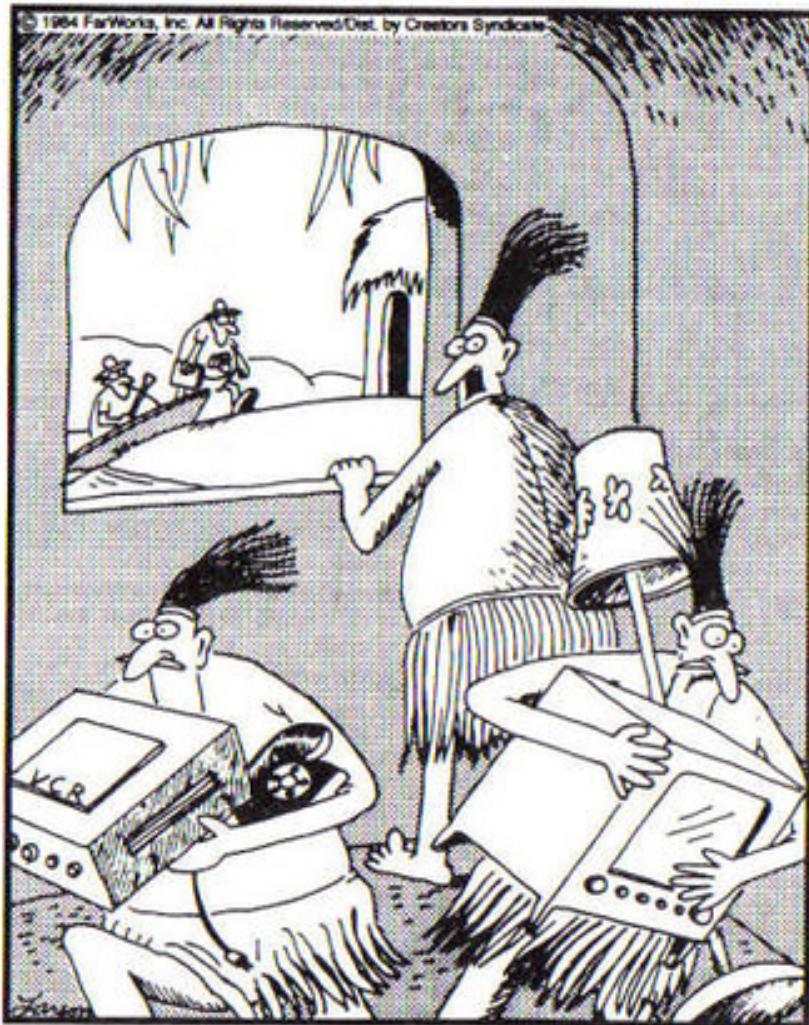
- **Modèle** (\approx structure de l'algorithme) :=
 - objets
 - règles de transition
 - paramètres
 - etc.
- **Simulation** (\approx exécution de l'algorithme) := déroulement dynamique du système pour un ensemble de:
 - conditions initiales spécifiques
 - paramètres spécifiques



m o d è l e

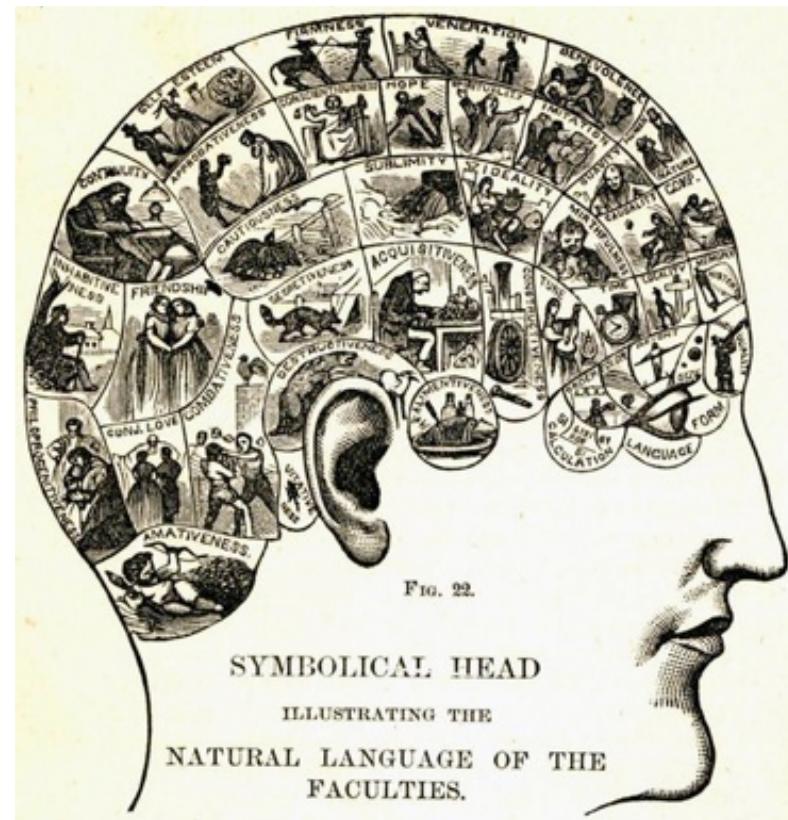
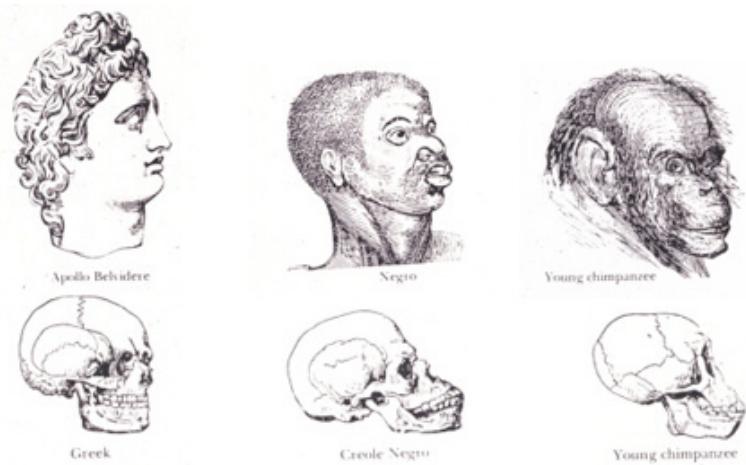
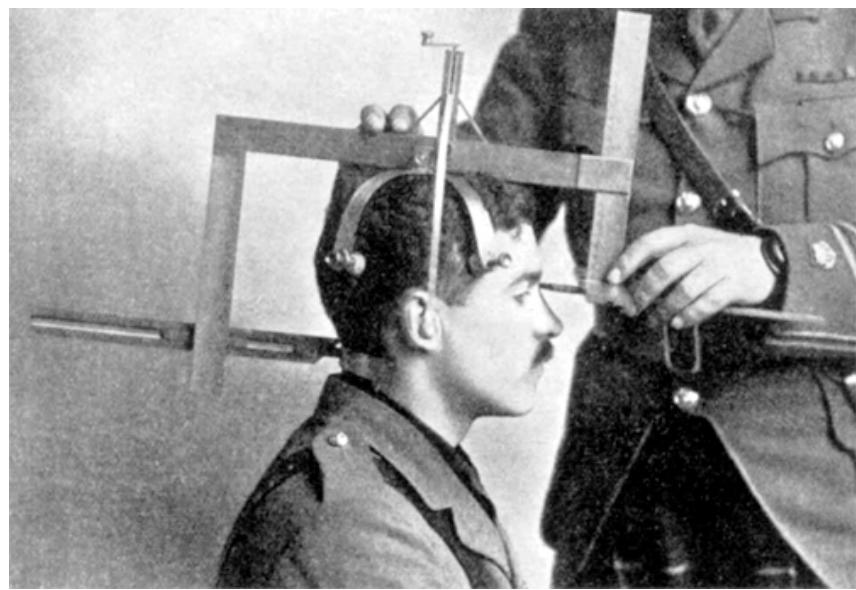
- = description délibérément *schématique* d'un phénomène, servant à le comprendre dans ses *grandes lignes*.
- ≠ le phénomène lui-même
- = une manière de comprendre un phénomène parmi plusieurs manières possibles

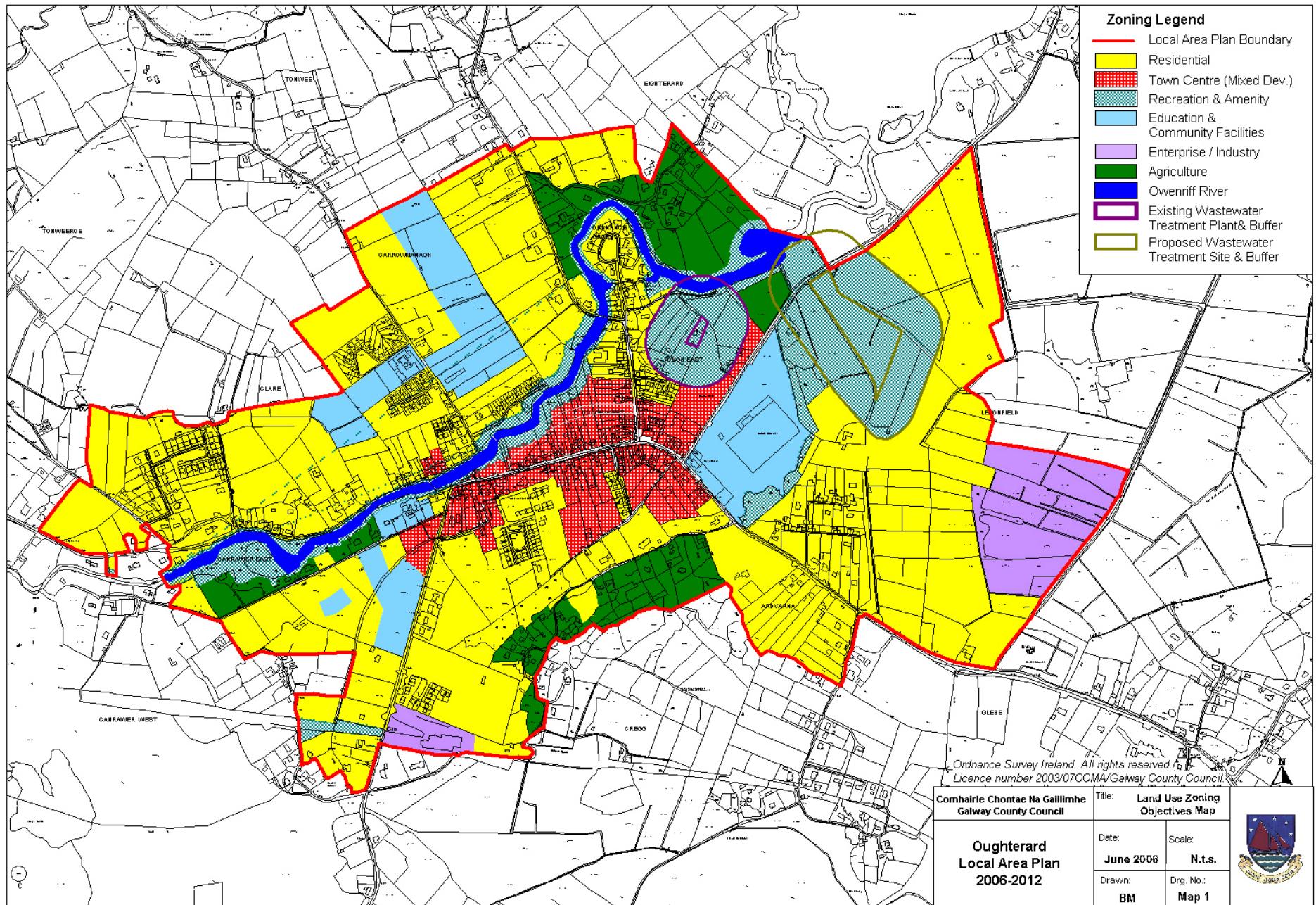
Mais le modèle participe au phénomène qu'il modélise

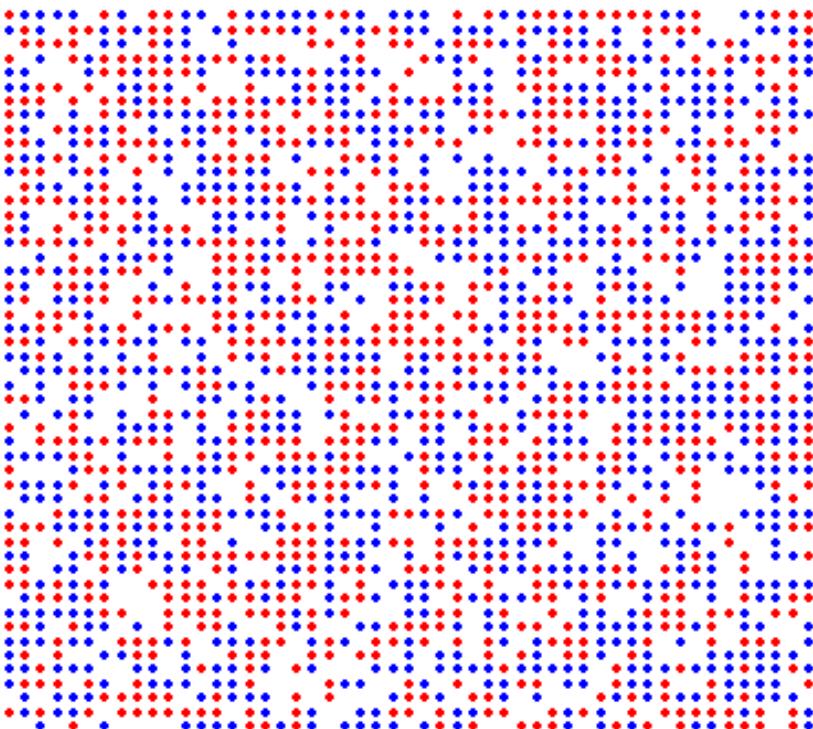


"Anthropologists! Anthropologists!"

The Far Side® by Gary Larson © 1984 FarWorks, Inc. All Rights Reserved. Used with permission.



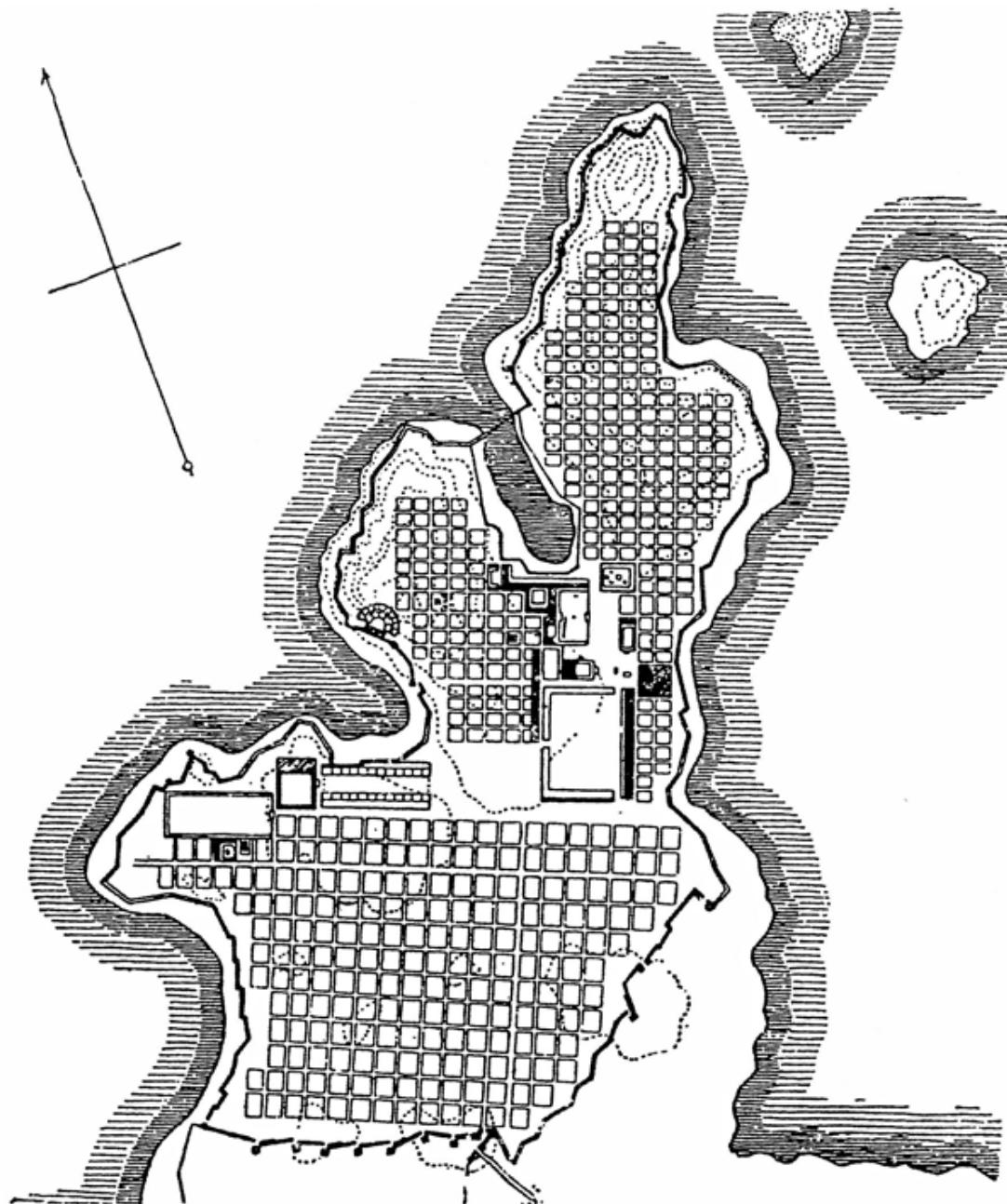




≠

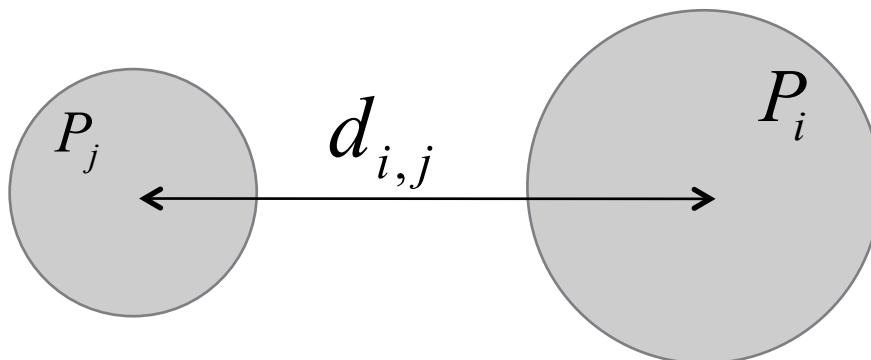


MODÈLES TOP-DOWN



Carte de Milet comme
conçue par Hippodame,
450 av. J. C.
Source: Armin von
Gerken 1935

Modèle gravitaire de l'échange entre deux villes



$$I_{i,j} = k \cdot \frac{P_i \cdot P_j}{d_{i,j}^n}$$

$I_{i,j}$ = the intensity of interaction between i and j

P are the populations, d is the distance

constants:

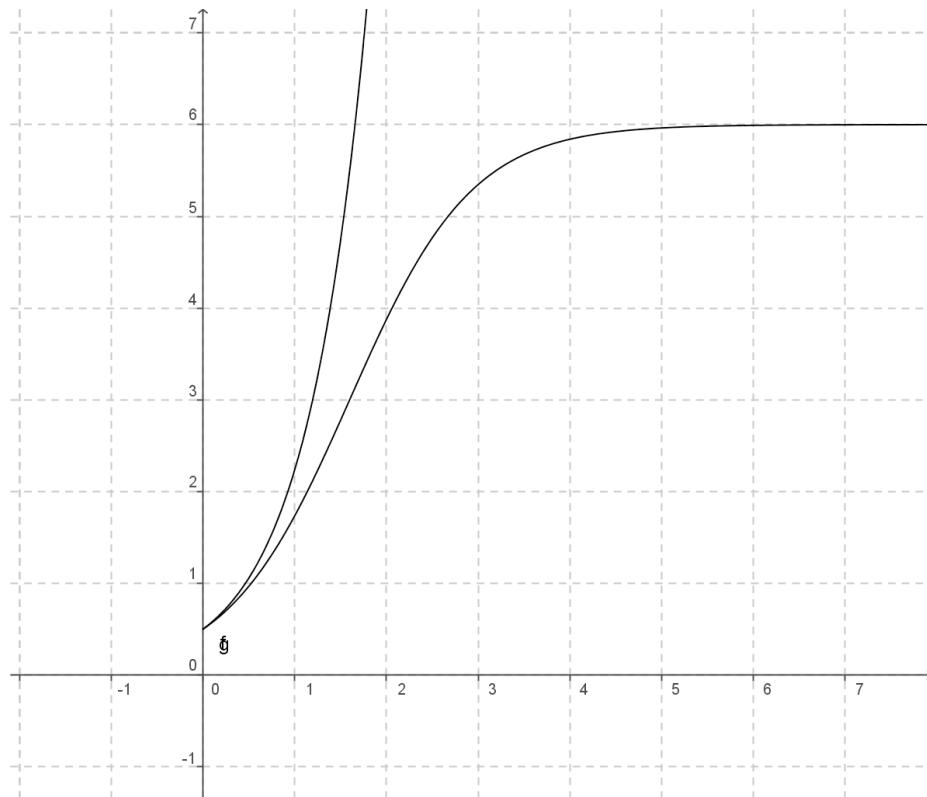
k = general tendency to interact

n = spatial friction
(dissuading effect of distance)

Ernst Georg Ravenstein, 1885, *Laws of Migration*
William J. Reilly, 1931, *The law of retail gravitation*

Modèle de Malthus et de Verhulst

Malthus: $x' = ax$

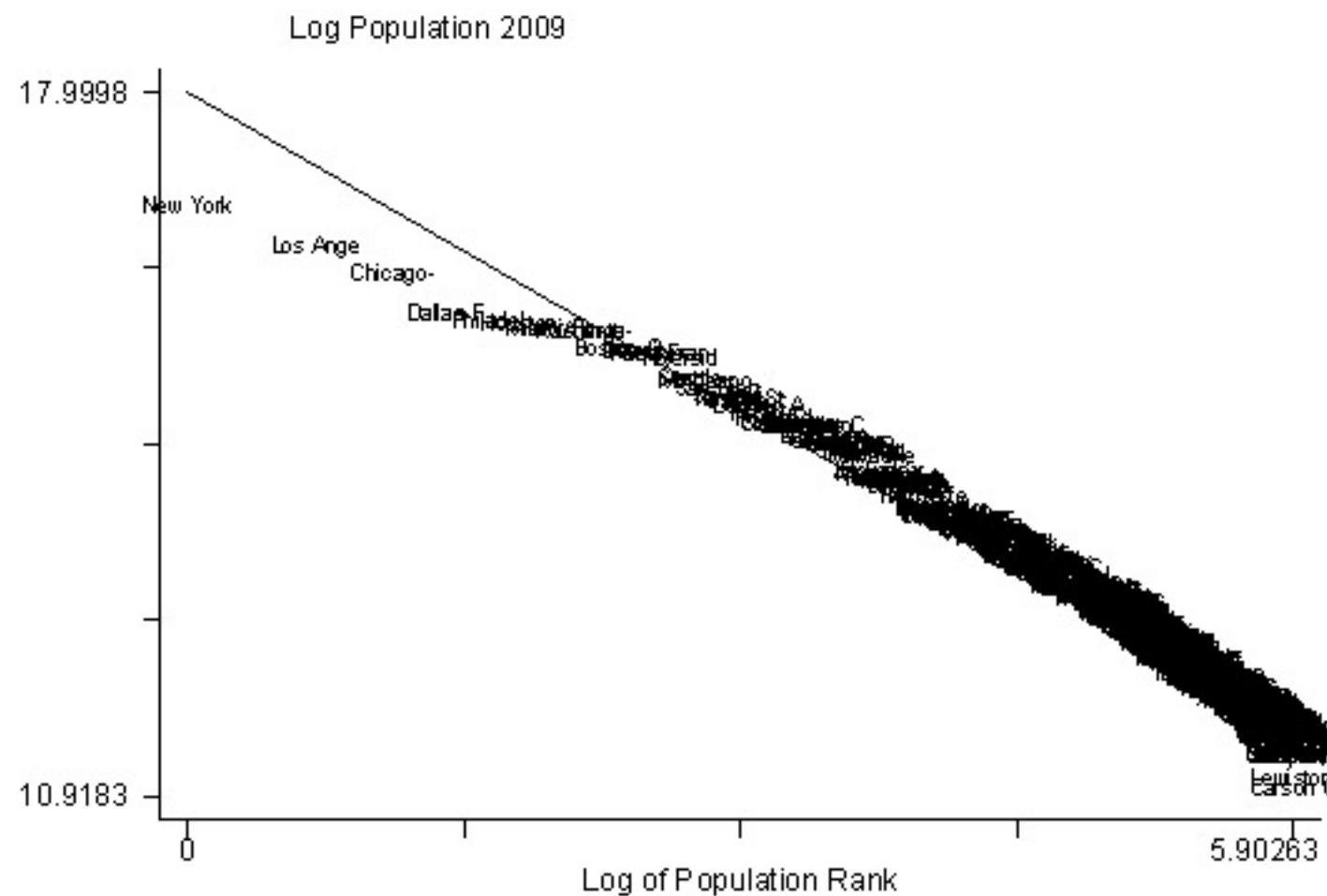


convergence vers un équilibre K

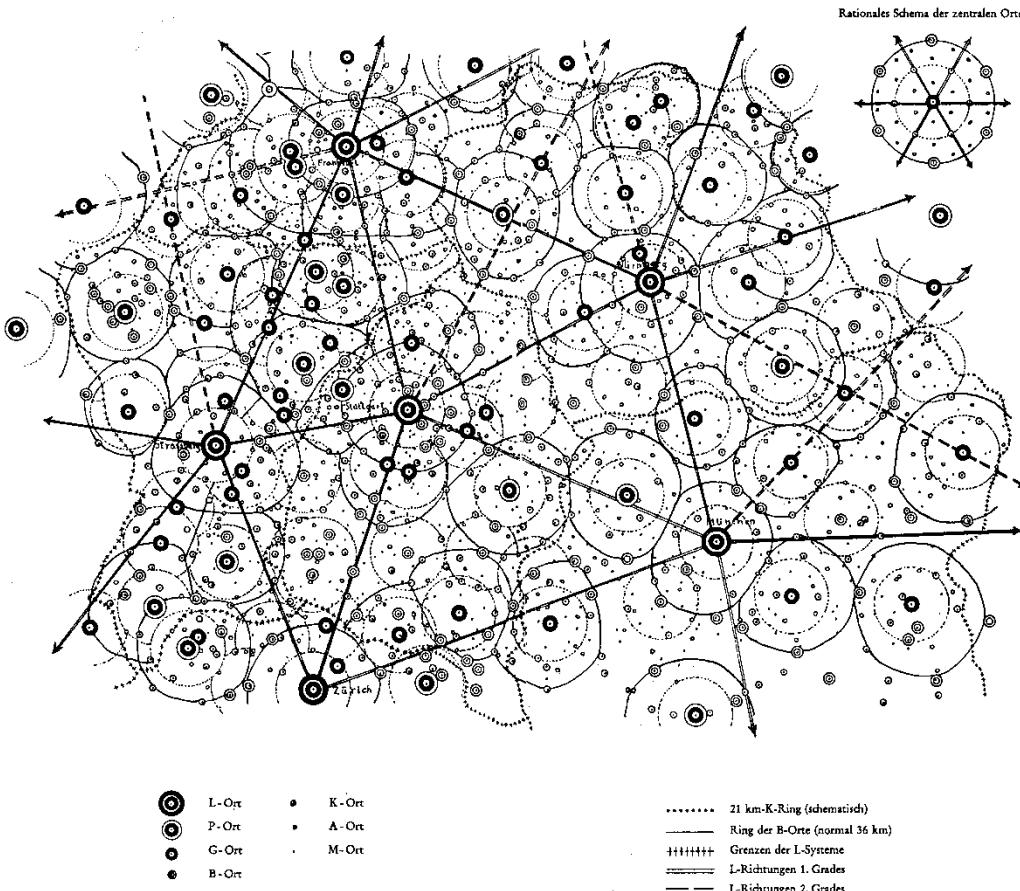
Verhulst: $x' = ax(1-x/K)$

Malthus, *An Essay On The Principle Of Population* (1798 1st edition, plus excerpts 1803 2nd edition), Introduction by Philip Appleman, and assorted commentary on Malthus edited by Appleman. Norton Critical Editions.
Pierre-François Verhulst, « Notice sur la loi que la population poursuit dans son accroissement », *Correspondance mathématique et physique*, n° 10, 1838, p. 113-121

“Loi taille-rang” | “Loi log-normale” | “Power-law”



MODÈLES « INTERMÉDIAIRES »

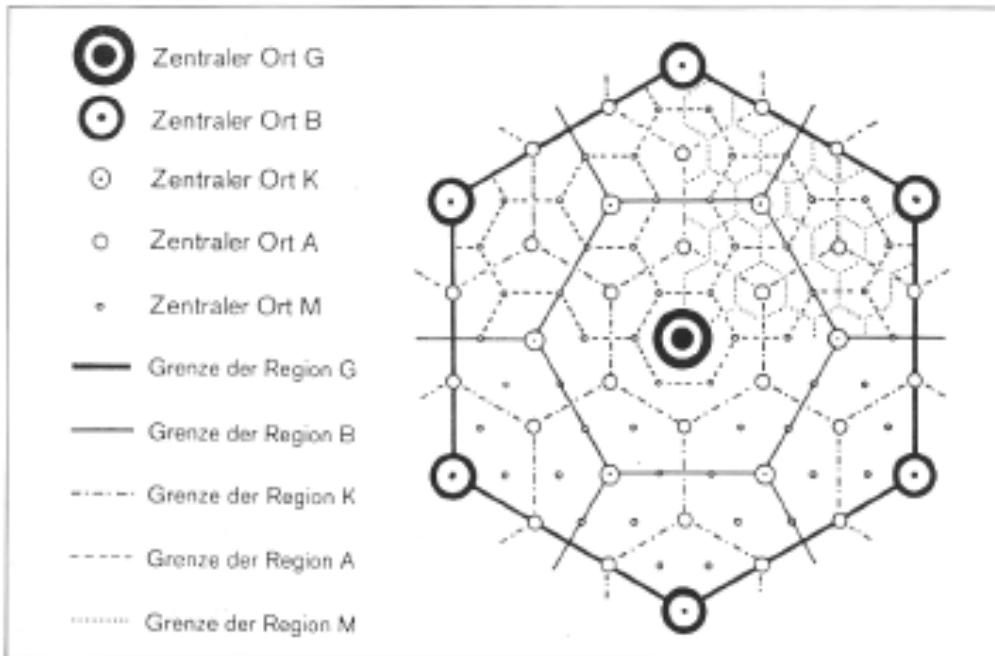


Karte 4
Das System der zentralen Orte in Süddeutschland

Walter Christaller, 1933, *Die zentralen Orte in Süddeutschland*.

Walter Christaller

À la recherche de principes structurant la répartition des villes de l'Allemagne du Sud



Walter Christaller

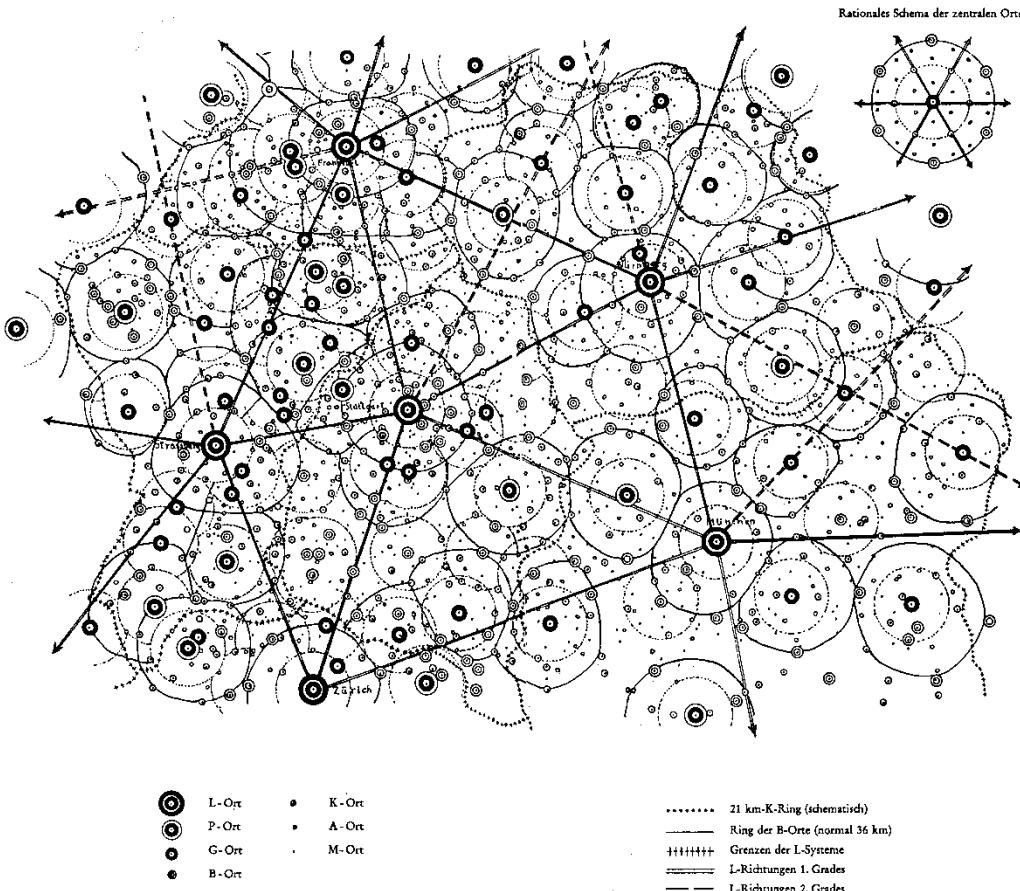
Théorie des lieux centraux

Pluralité de produits

Espace structuré par la mobilité individuelle:

plus la fréquence d'usage est grande

- moins on est disposé à voyager loin pour le produit
- le produit ou le service doit être proche
- seuls les grands centres offrent des services| produits d'usage occasionnel

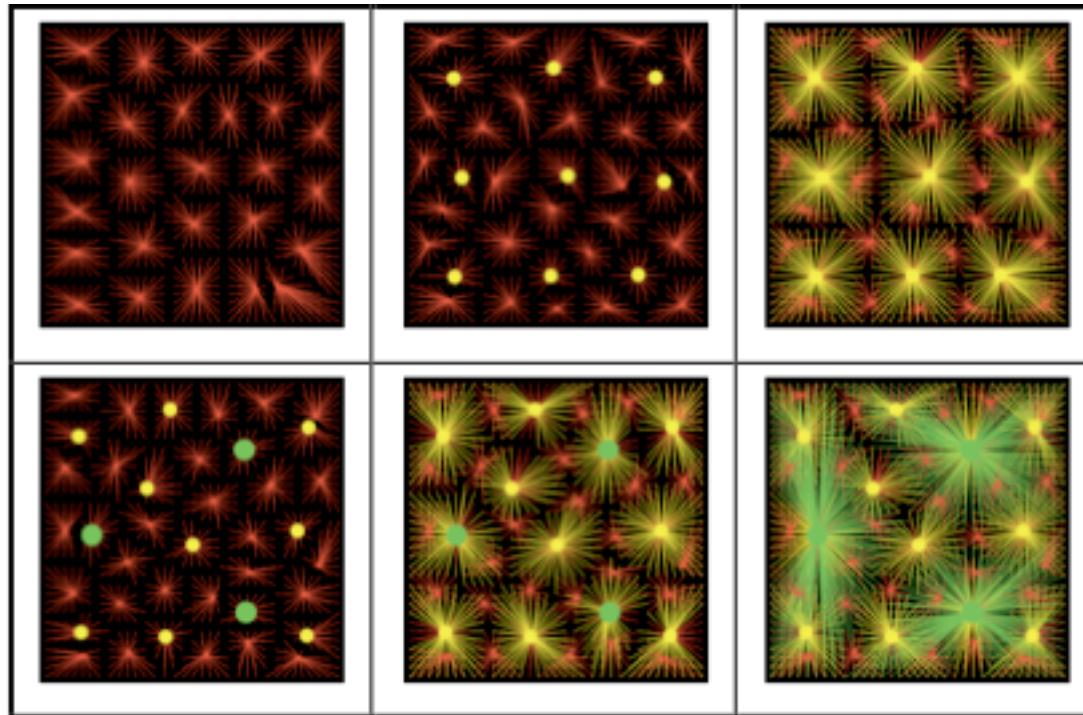


Karte 4
Das System der zentralen Orte in Süddeutschland

Walter Christaller, 1933, *Die zentralen Orte in Süddeutschland*.

Walter Christaller

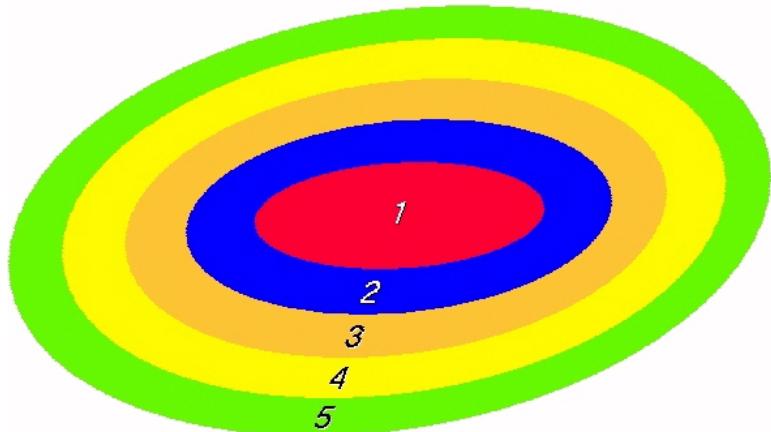
À la recherche de principes structurant la répartition des villes de l'Allemagne du Sud



Banos, A., Moreno, D., Pivano, C., & Taillandier, P. (2011).
“Christaller, toujours vivant!” *Cybergeo: European Journal of Geography*. <http://cybergeo.revues.org/24877>

Le modèle de von Thünen

Axiome: un marché central (1.)



1. *City*
2. *Intensive Agriculture*
3. *Forest Resources*
4. *Grain Farming*
5. *Livestock Farming*

Johann Heinrich von Thünen, 1826, *Der isolirte Staat in Beziehung auf Landwirtschaft und Nationalökonomie*, Hamburg.

Y = tonnes/hectare

P = prix de vente dans le marché central

C_p = coût de production

C_t = coût de transport

d = distance du marché (ville)

$$\text{Rente foncière } R = Y(P - C_p) - Y(C_t d)$$

2. Fruits, légumes, produits laitiers

se dégradent rapidement et doivent être immédiatement transportés au marché

3. Bois

matériaux construction et de chauffage au temps de von Thünen

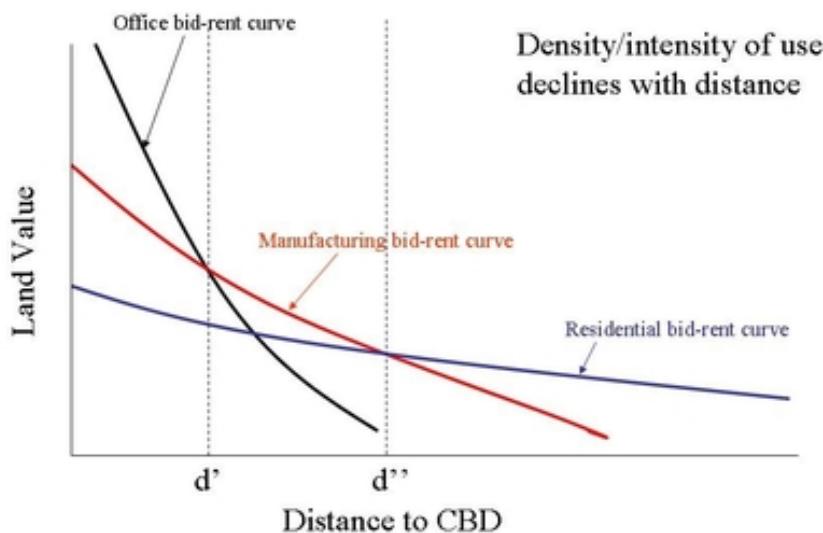
prix de vente faible, coût de transport élevé

4. Grains.

prix de vente plus élevé, coût de transport par tonne identique

5. Viande

prix de vente élevé, coût de transport bas (les animaux se transportent eux-mêmes)



Modèle d'Alonso

Hypothèses:

Compétition pour l'espace: un m^2 à une distance d du centre peut seulement être occupé par l'activité capable d'en retirer le plus grand profit, i.e., payer le plus grand loyer.

Certaines activités offrent plus de revenu par m^2 que d'autres.

Certaines activité perdent plus de profit que d'autres en s'éloignant du centre. (elles dépendent plus de l'accessibilité)

William Alonso, 1964, *Location and Land Use: toward a general theory of land rent*, Harvard University Press.

VERS LA COMPLEXITÉ

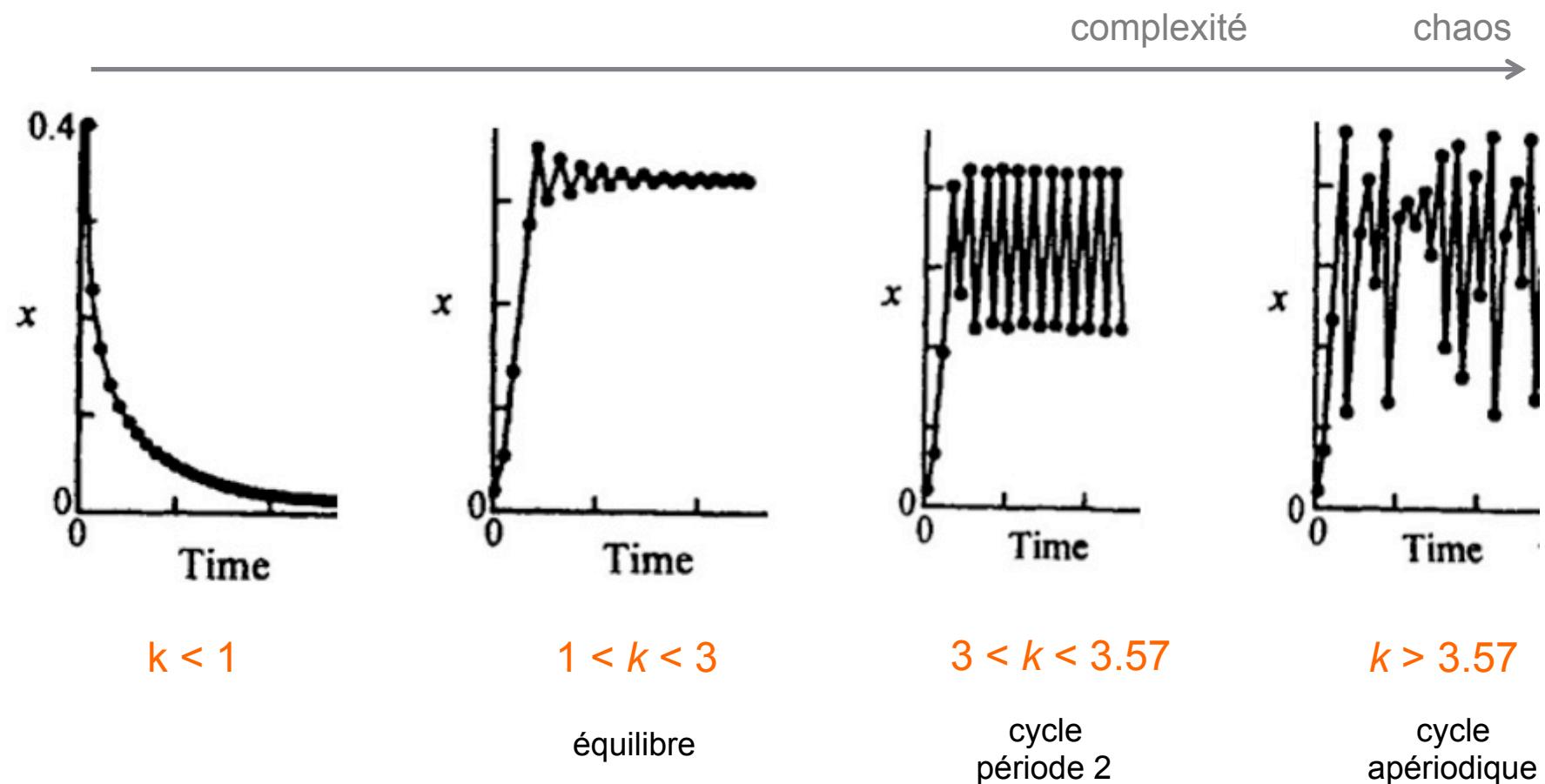
« complexe », adj.

Composé d'éléments qui entretiennent des rapports nombreux, diversifiés, difficiles à saisir par l'esprit, et présentant souvent des aspects différents.

Du latin *complexus*, participe passé du latin classique *complecti* « embrasser, comprendre » d'où la notion de « fait d'éléments différents, imbriqués ».

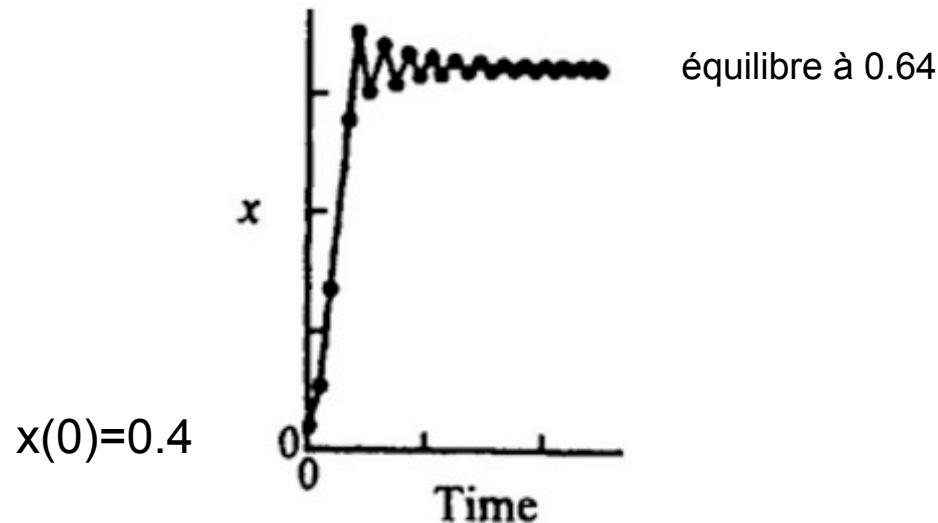
Sensibilité aux paramètres et aux conditions initiales

$$x_{t+1} = k x_t (1-x_t)$$



Sensibilité aux paramètres et aux conditions initiales

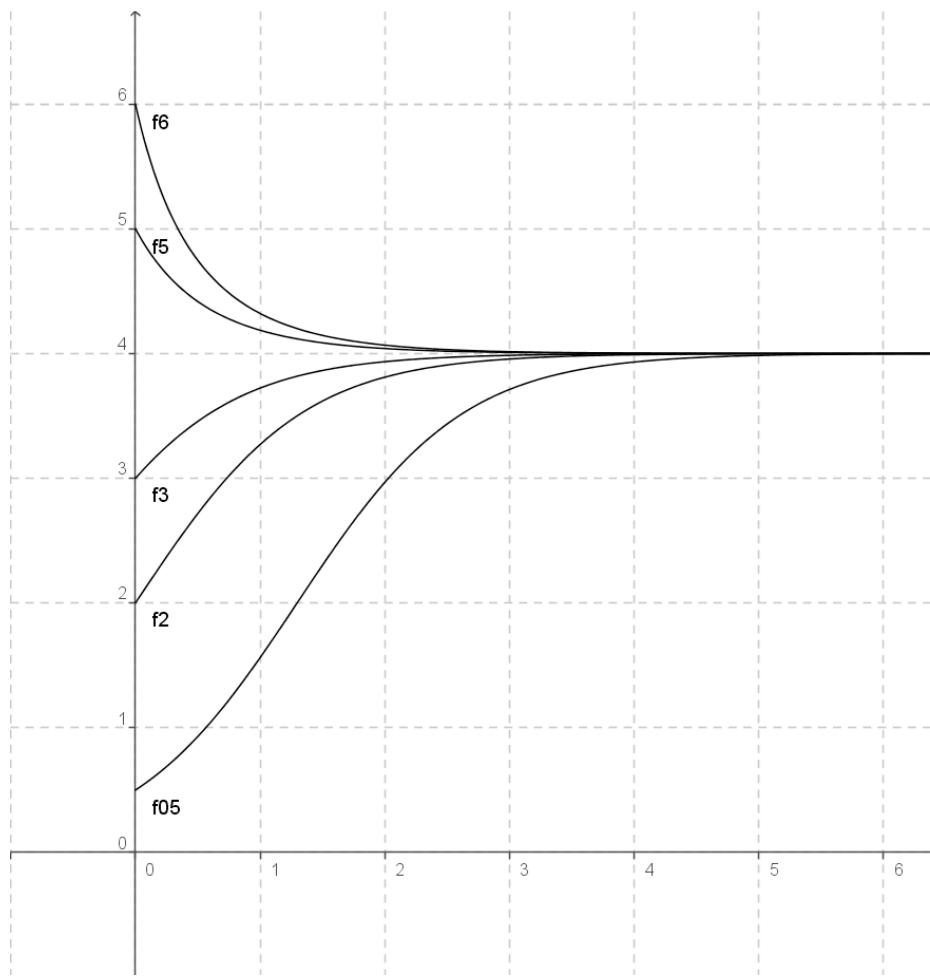
$$x_{t+1} = k x_t (1-x_t)$$



$$k = 2.8$$

équilibre
convergent

Sensibilité aux paramètres et aux conditions initiales



convergence vers un équilibre

Verhulst: $x' = ax(1 - x/K)$

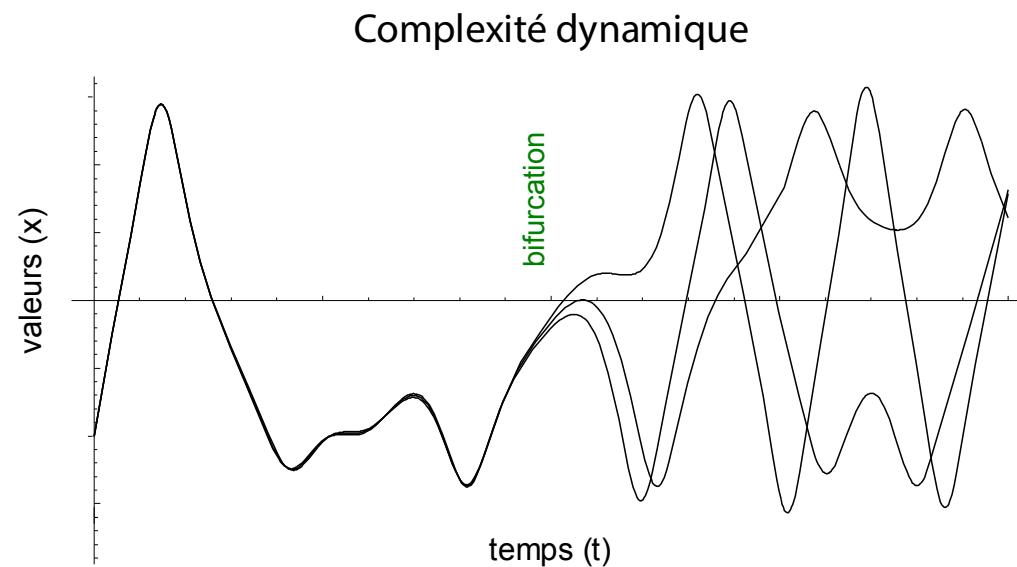
avec $a=1.5$ et $K = 4$:

$$\frac{\partial x(t)}{\partial t} = 1.5 x(t) \left(1 - \frac{x(t)}{4}\right)$$

Sensibilité aux paramètres et aux conditions initiales

$$\begin{aligned} dx/dt &= v \\ dv/dt &= x - x^3 - gv + d \cos(at) \end{aligned}$$

constantes: g, d, a



Equation différentielle de Duffing, avec les paramètres initiaux

$$v(0)=1; x(0)=\textcolor{red}{1.0000}$$

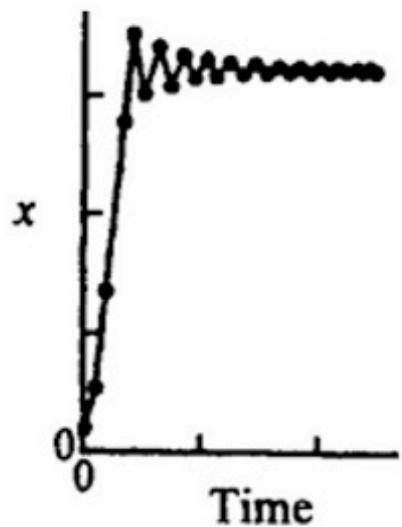
$$v(0)=1; x(0)=\textcolor{red}{1.0001}$$

$$v(0)=1; x(0)=\textcolor{red}{1.0002}$$



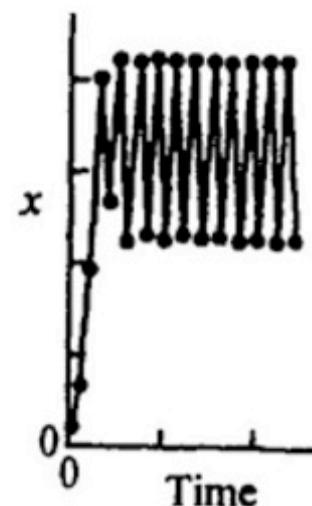
Longueur et régularité de cycle

$$x_{t+1} = k x_t (1-x_t)$$



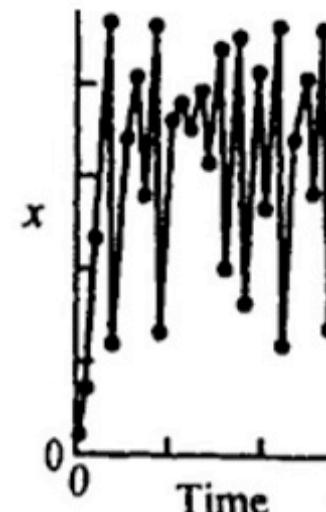
$$1 < k < 3$$

équilibre



$$3 < k < 3.57$$

cycle
période 2



$$k > 3.57$$

cycle
apériodique

Longueur et régularité de cycle

$$x = \cos(t)$$

$$y = \sin(t)$$

point de départ :

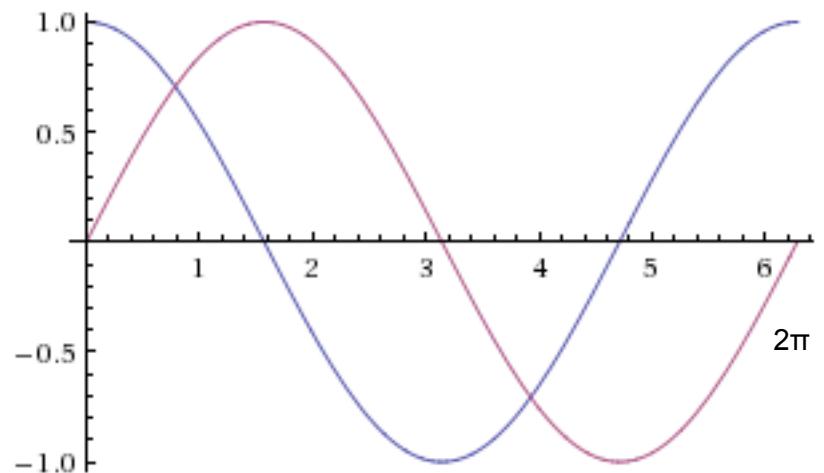
$$x=1$$

$$y=0$$

formulation
différentielle:

$$x' = -y$$

$$y' = x$$



Longueur et régularité de cycle

$$x = \cos(t)$$

$$y = \sin(t)$$

point de départ :

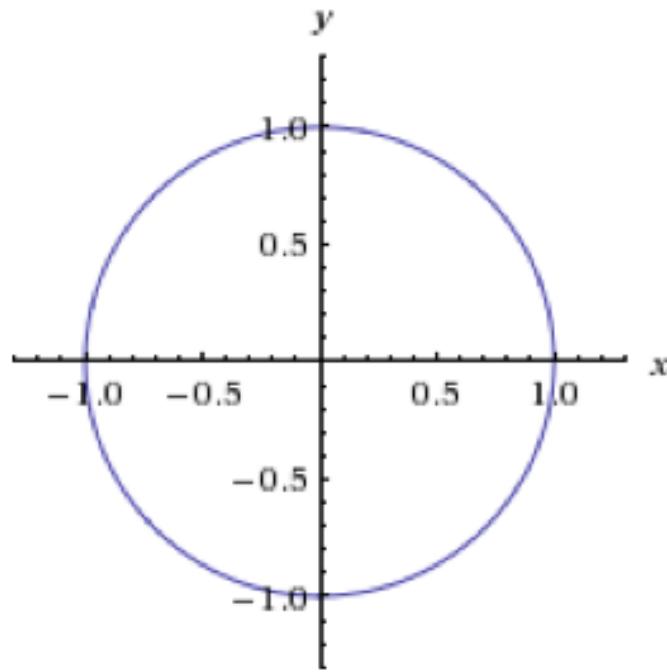
$$x=1$$

$$y=0$$

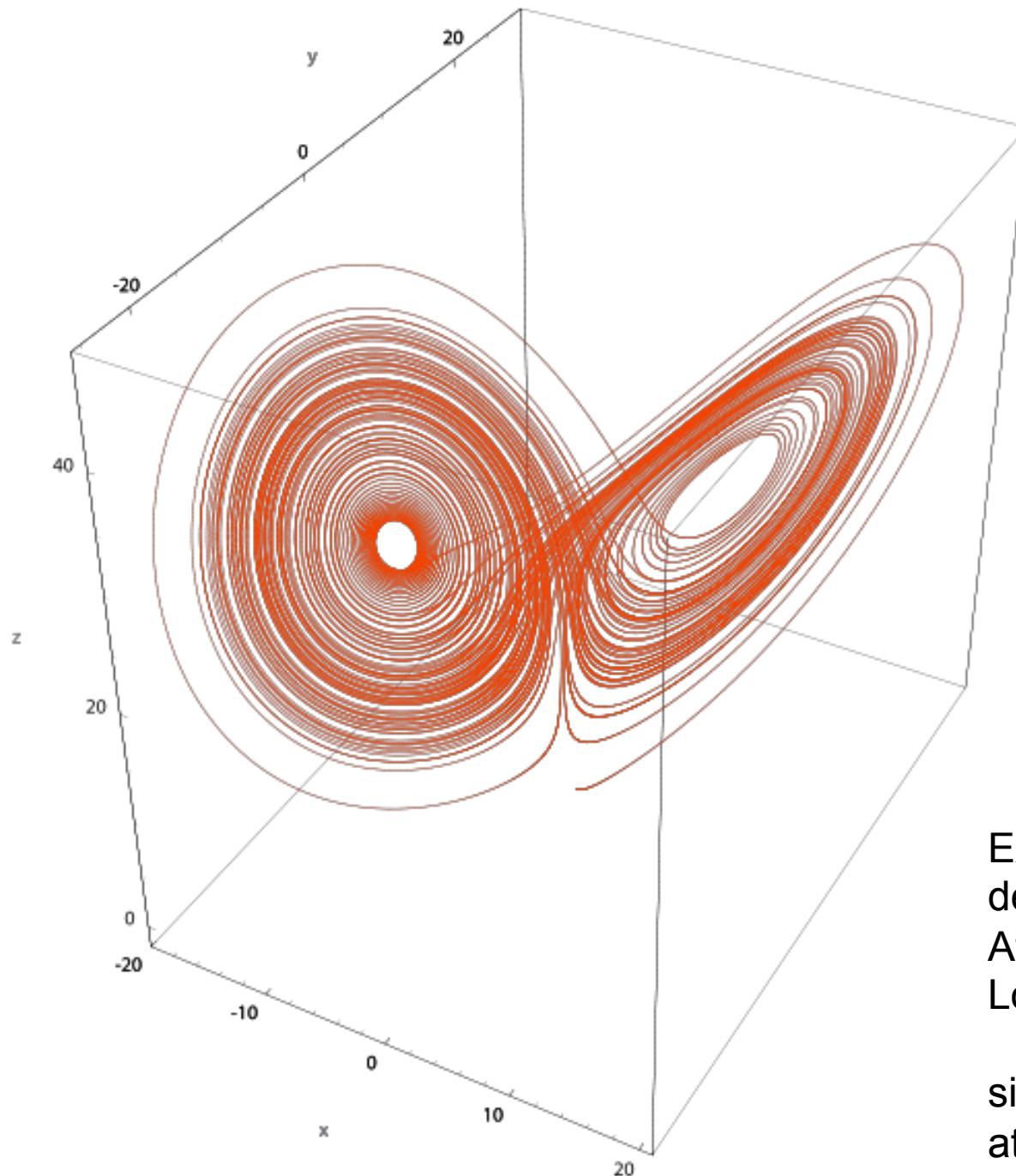
formulation
différentielle:

$$x' = -y$$

$$y' = x$$



“espace des phases” = carte de chaque point possible où peut se trouver le système



$$\begin{aligned} \frac{dx}{dt} &= s * (x - y) \\ \frac{dy}{dt} &= -x * z - y + r * x \\ \frac{dz}{dt} &= x * y - b * x \end{aligned}$$

paramètres:

$$s = 10$$

$$r = 28$$

$$b = 8/3$$

conditions initiales:

$$x=0$$

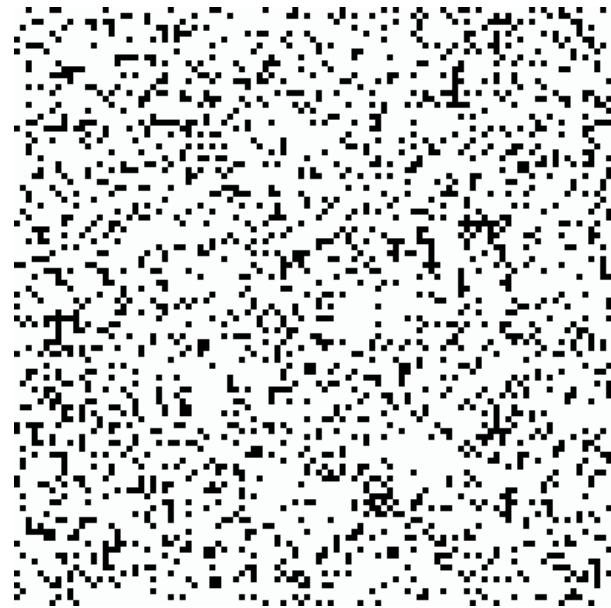
$$y=1$$

$$z=0$$

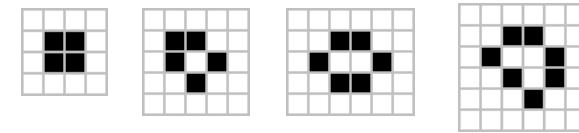
Exemple de chaos
déterministe:
Attracteur étrange de
Lorenz (1963)

simulation de la convection
atmosphérique

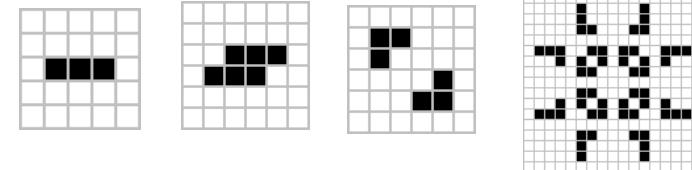
conditions initiales



état stable
équilibre

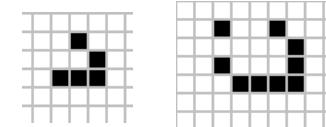


cycle

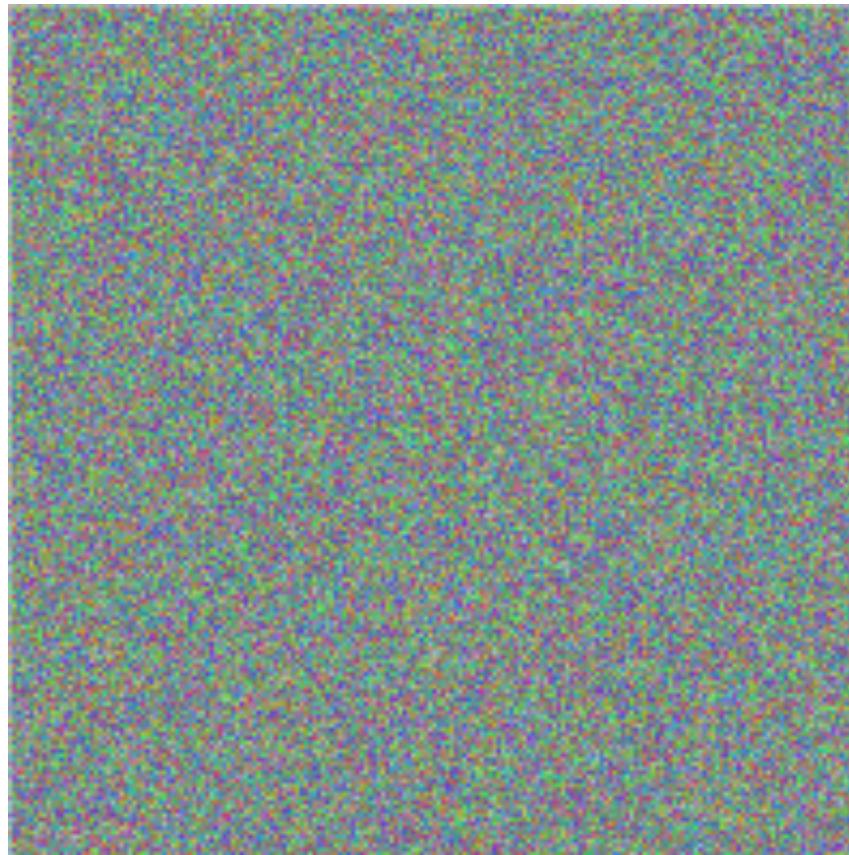


période 2

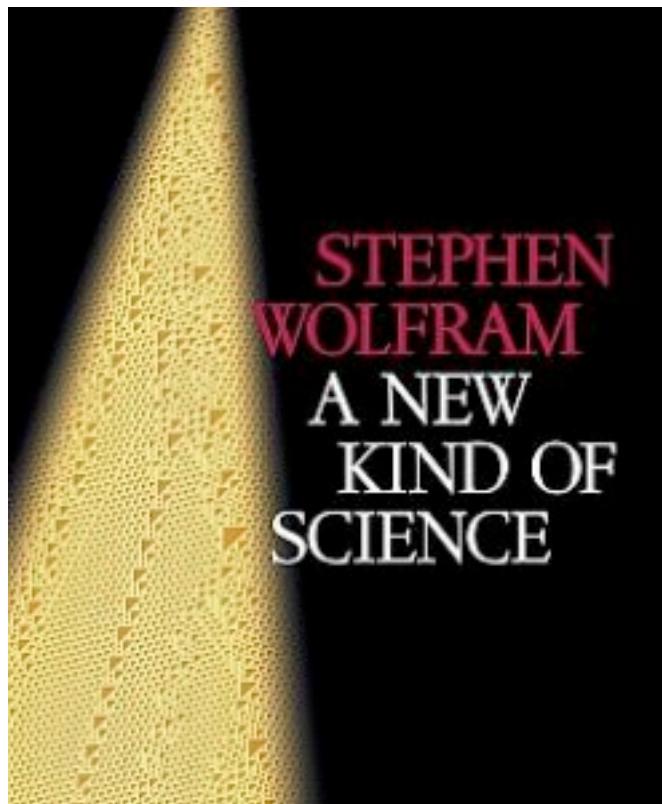
période 3



période 4 + translation

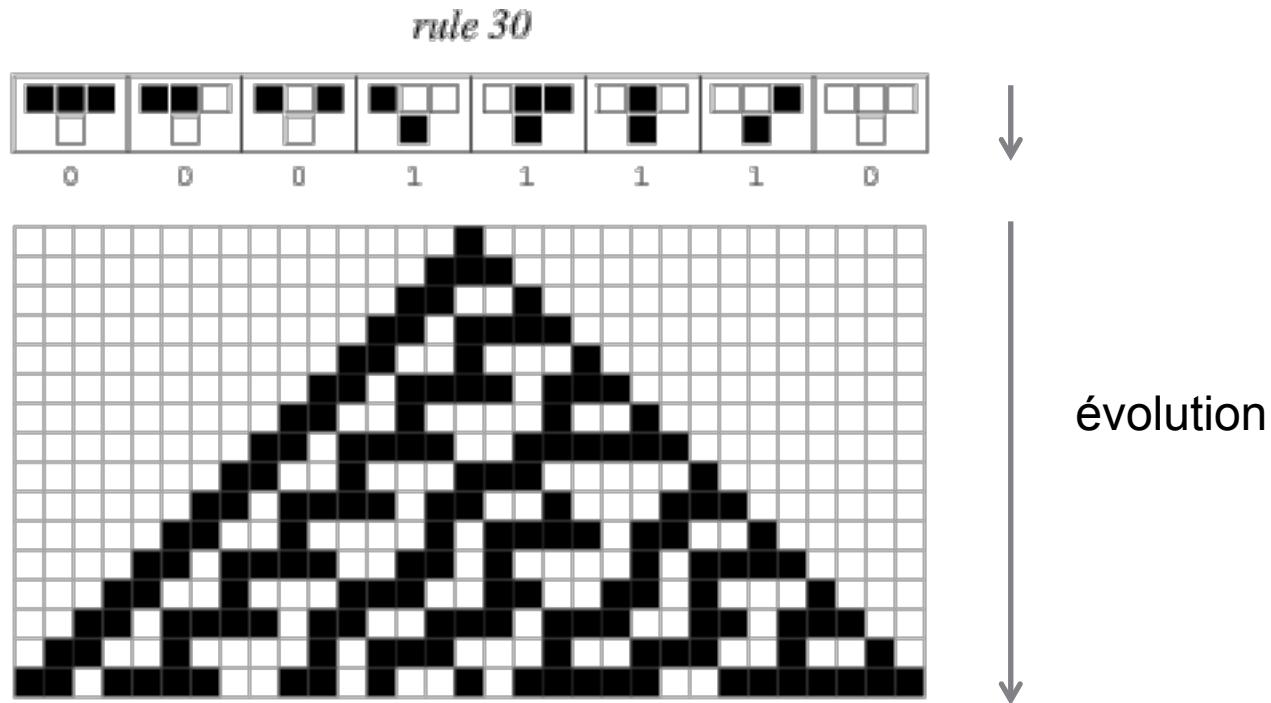


Cycle apériodique

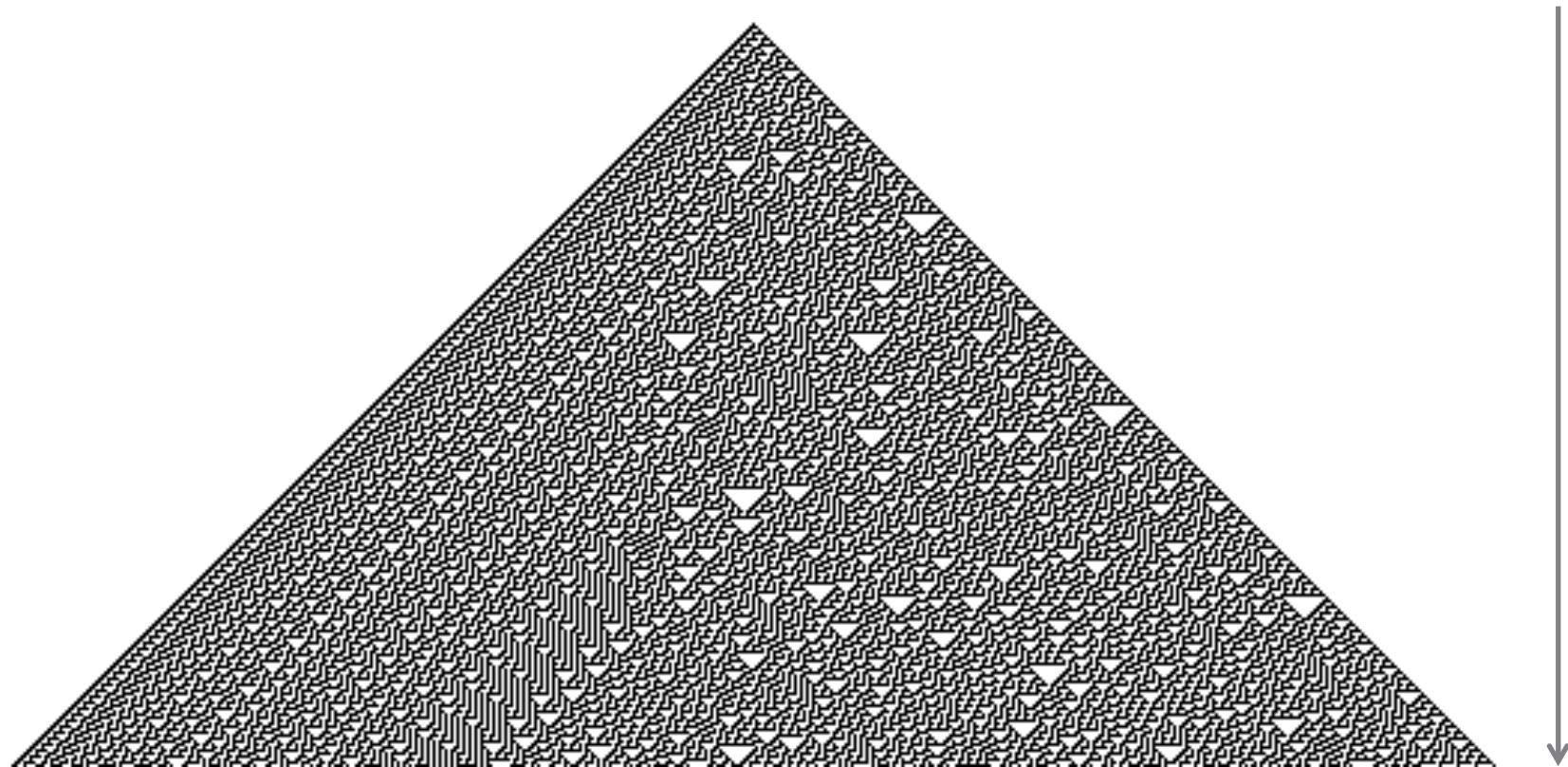
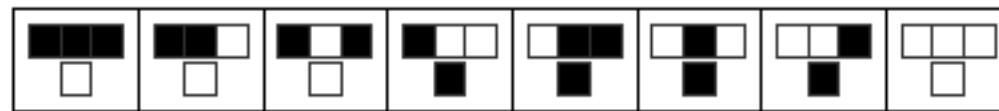


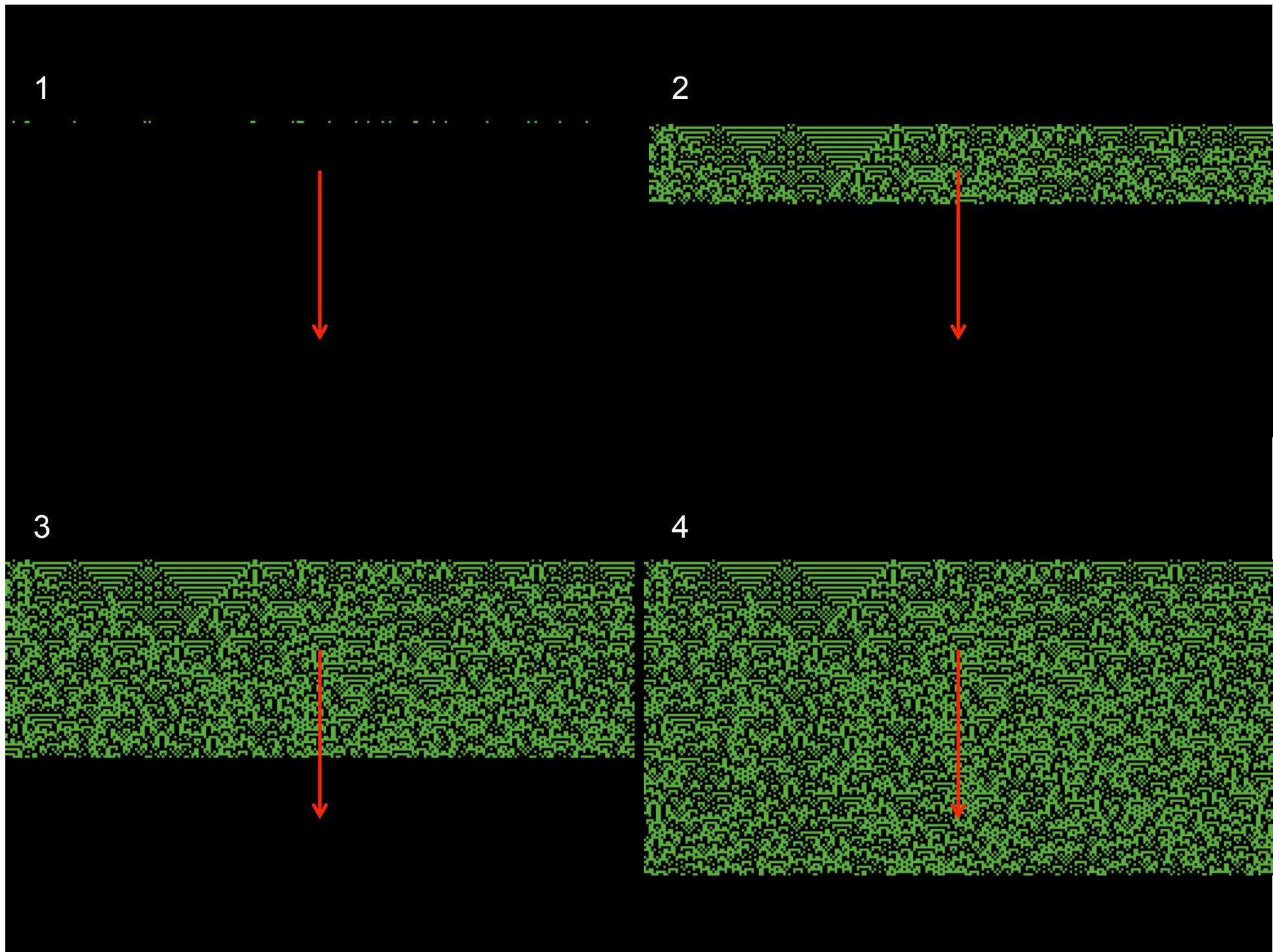
Wolfram, S. (2002). *A new kind of science*.
Wolfram media Champaign.

Automates cellulaires “élémentaires”, aussi dits “unidimensionnels”



règle 30





Exercice

- Ouvrez NetLogo, Models Library > Computer Science > Cellular Automata > CA 1D Elementary
- Testez avec diverses combinaisons de règles, en posant comme état initial « *single* » ou « *random* »:

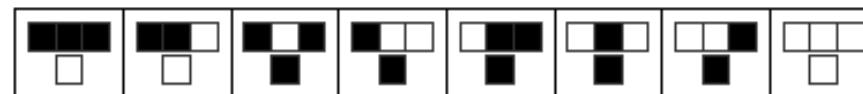
254



4



62

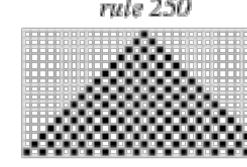
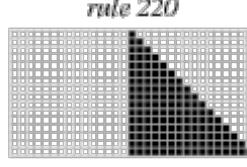
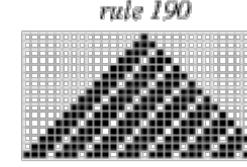
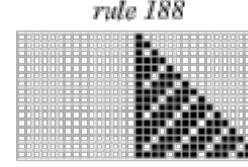
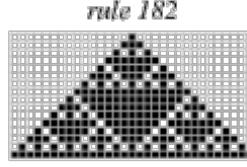
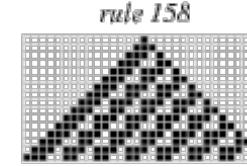
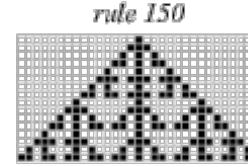
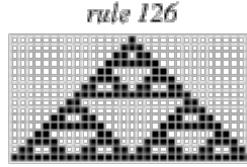
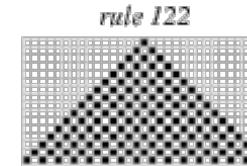
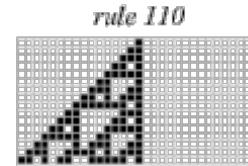
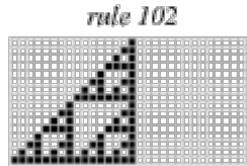
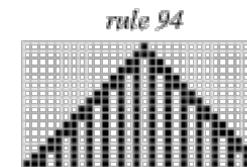
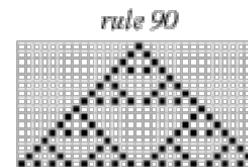
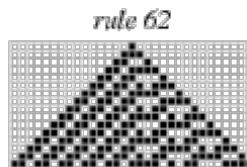
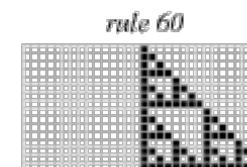
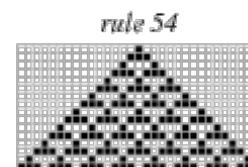
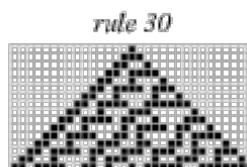
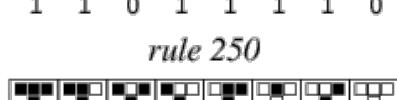
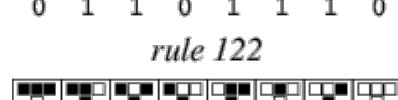
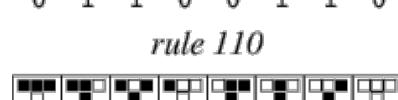
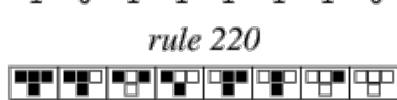
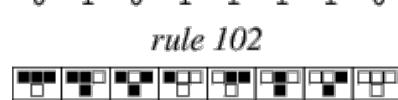
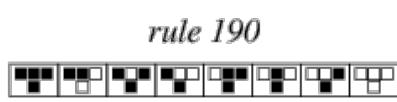
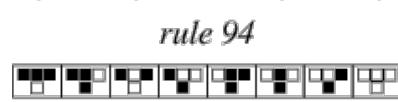
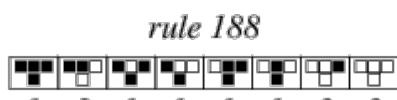
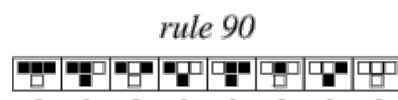
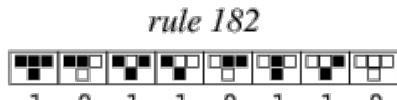
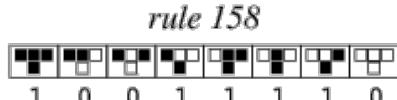
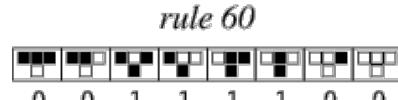
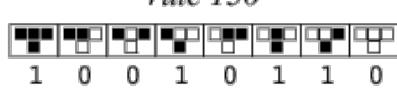
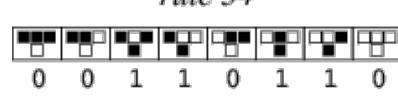
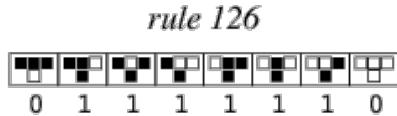
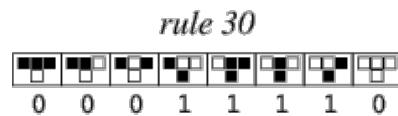


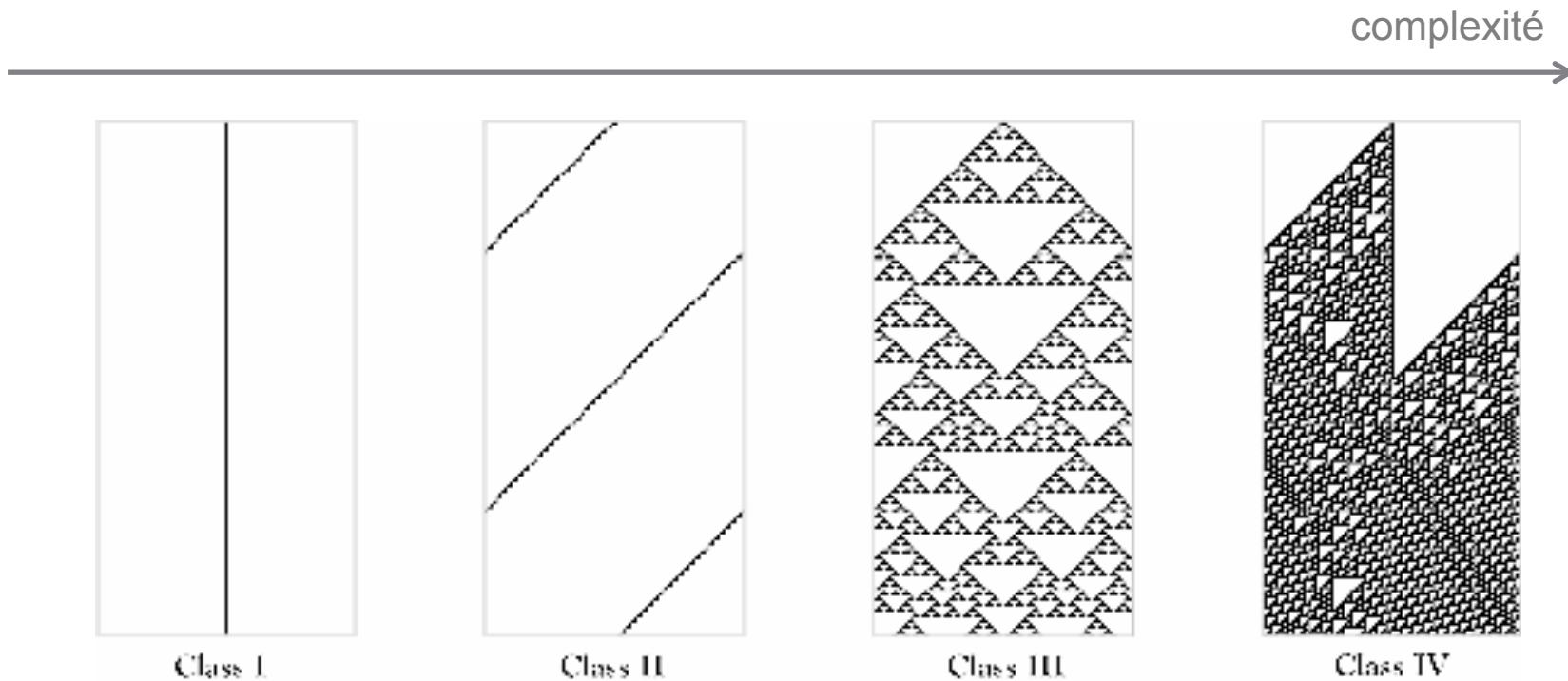
110



105

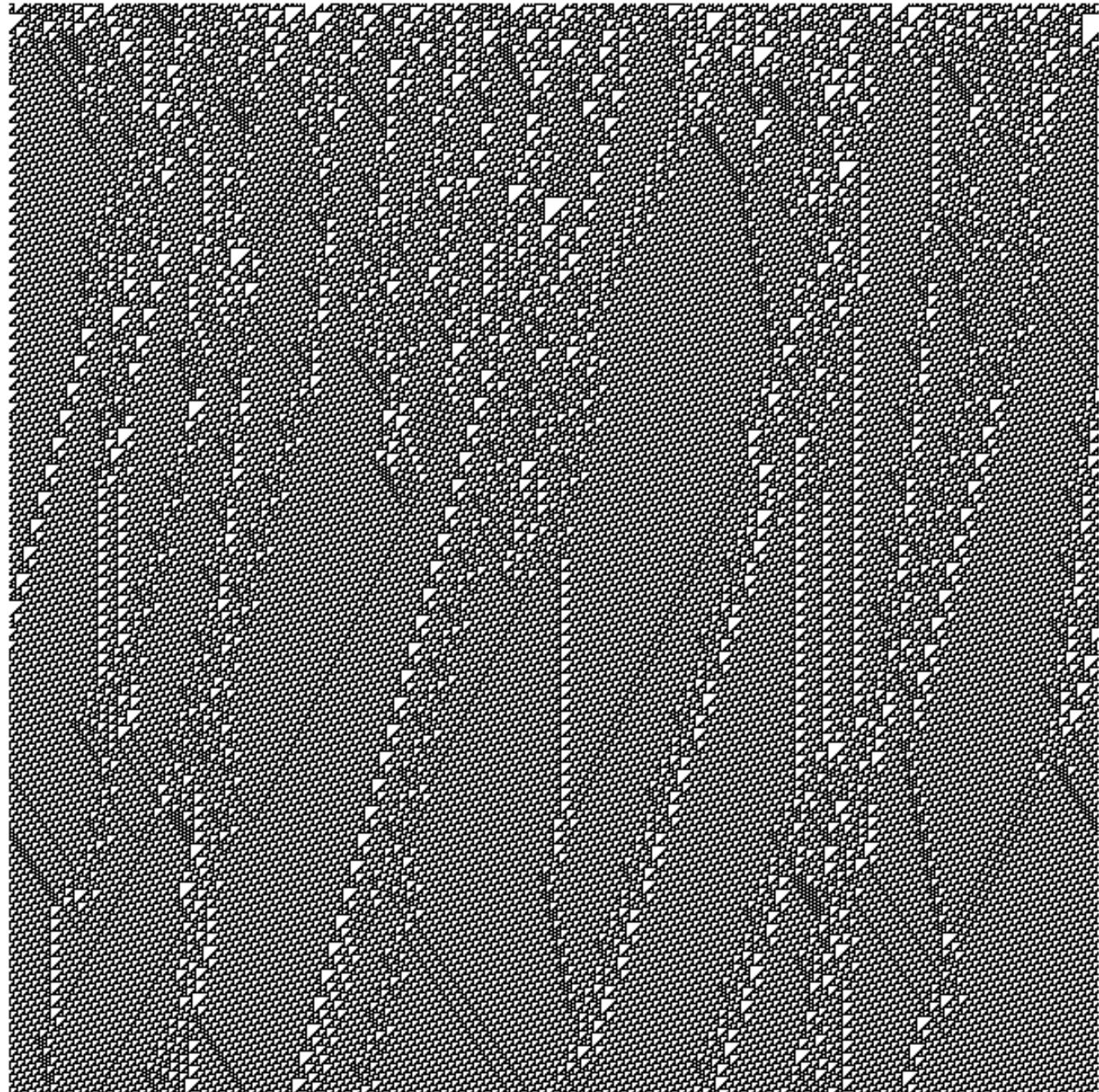
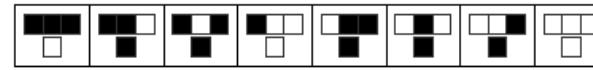




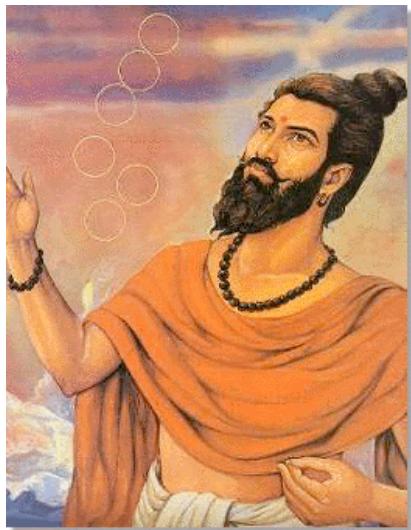


- Classe I : presque toute configuration initiale conduit à un état homogène.
- Classe II : des structures stables ou périodiques émergent, mais rien de plus.
- Classe III : comportement chaotique avec des motifs apériodiques. À long terme les fréquences d'apparitions des différents motifs se stabilisent.
- Classe IV : émergence de structures complexes capables de persévéérer dans leur auto-organisation malgré des perturbations structurelles.

Règle 110

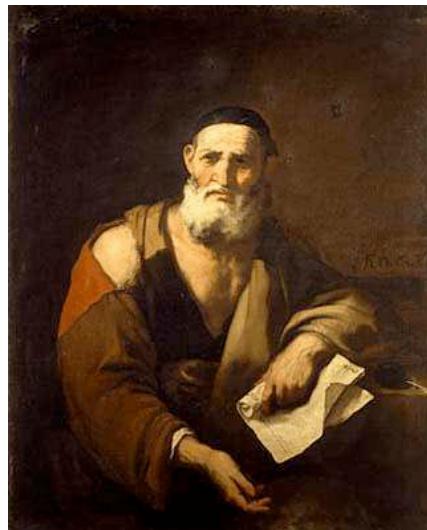


L'ATOMISME – UN UNIVERS DISCRET



Maharshi Kanada
कणाद
(v. 600 av. J.-C.)

āṇu
dvyanuka
tryanuka



Leucippe
Λεύκιππος,
(v. 460 – 370 av. J.-C.)

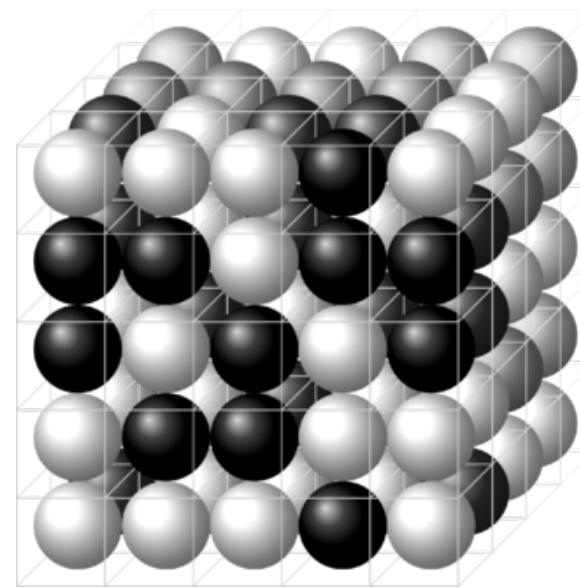


Démocrite
Δημόκριτος
(460 – 370 av. J.-C.)

a-tomos, l'indivisible



Stanisław Ulam



Rechnender Raum

K. Zuse, Bad Hersfeld

Mit 10 Bildern

Zusammenfassung: Der Verfasser unternimmt den Versuch, informations- und automatentheoretisches Denken auf physikalische Probleme anzuwenden. Neben einigen allgemeinen Betrachtungen wird im wesentlichen der Gedanke einer Digitalisierung räumlicher Beziehungen verfolgt, womit die Idee der Quantisierung der physikalischen Größen weiter verallgemeinert wird.

Summary: In the following contribution the author tries to apply an information and automata theory approach to certain problems of physics. Besides some general considerations, the main thought discussed is the idea of digitalizing spatial relations whereby the conception of quanticization of the physical quantities is generalized.

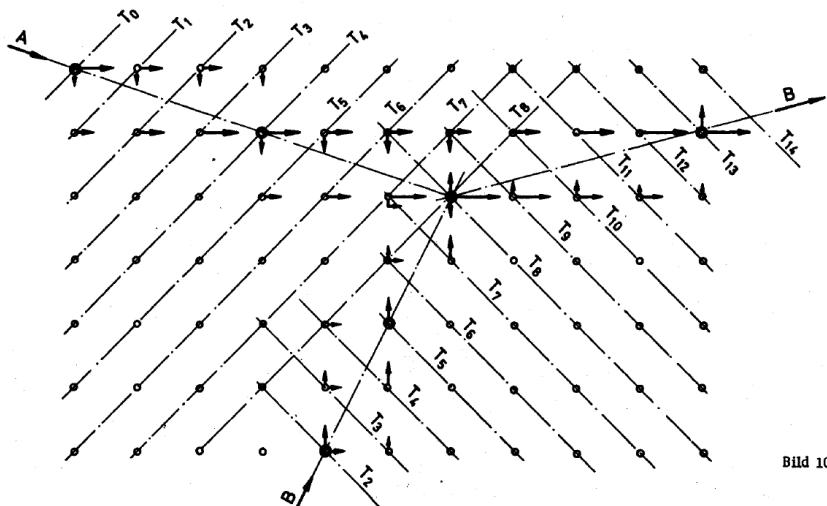
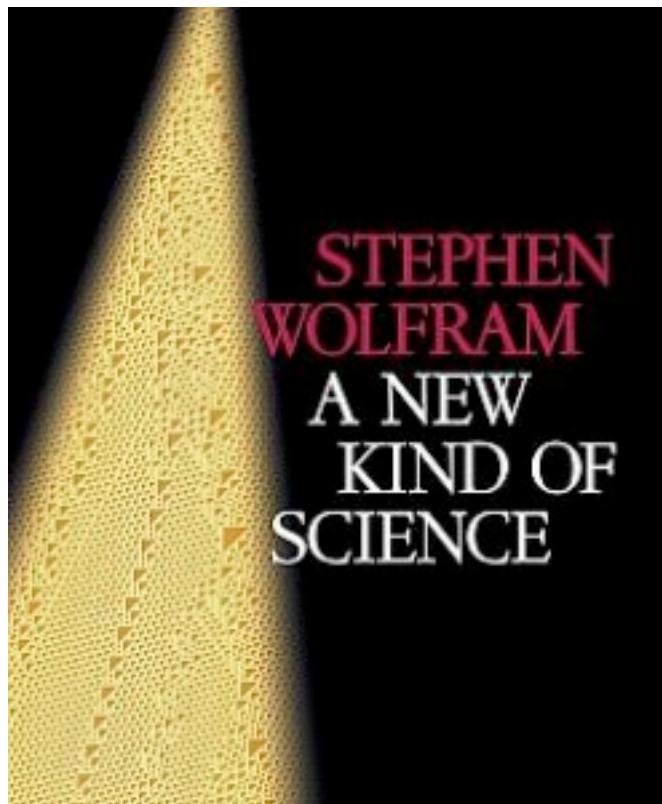


Bild 10



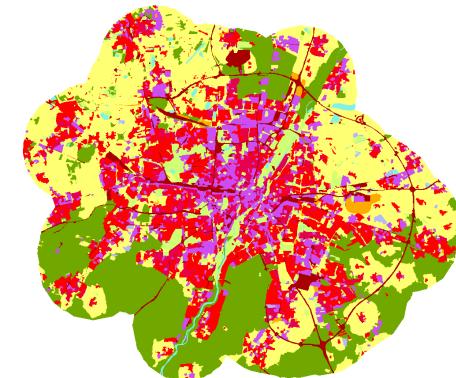
Zuse (1964), *Rechneder Raum*



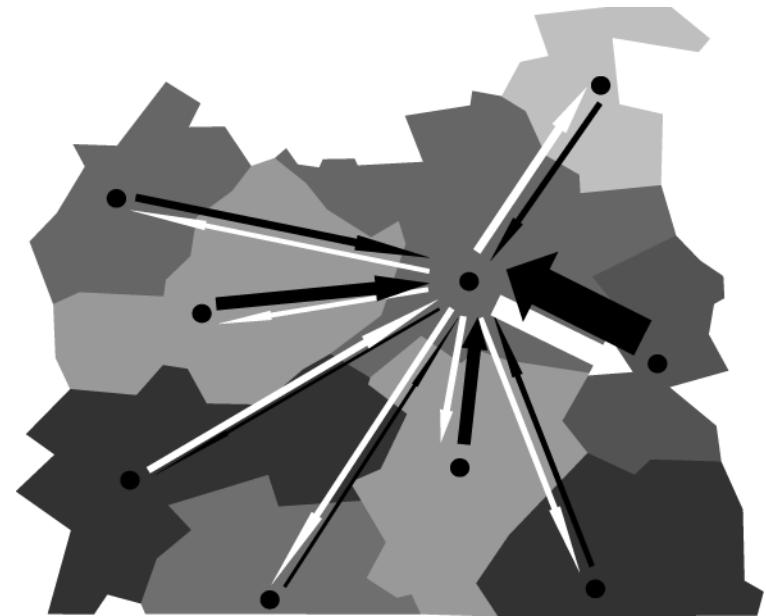
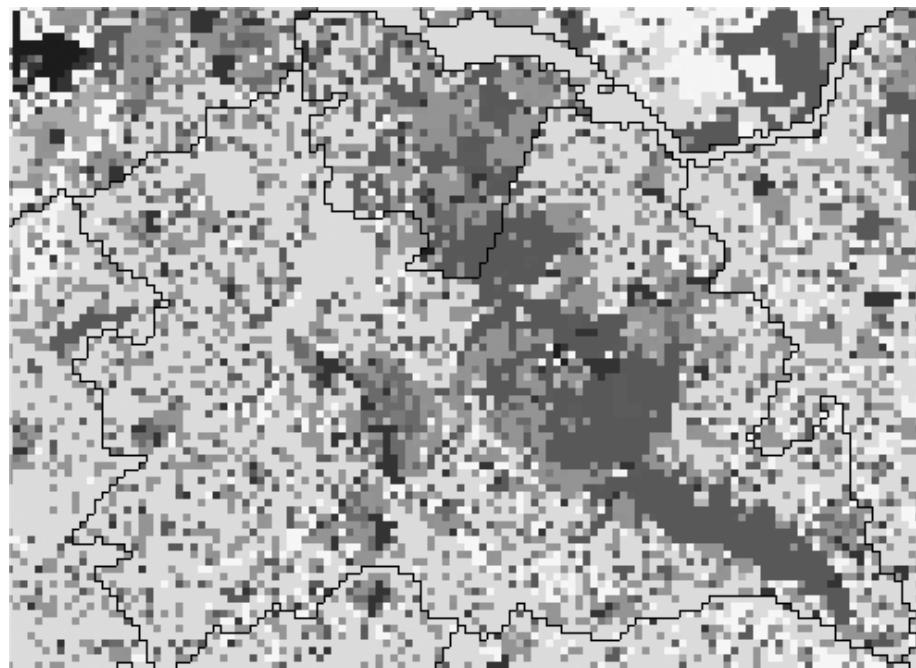
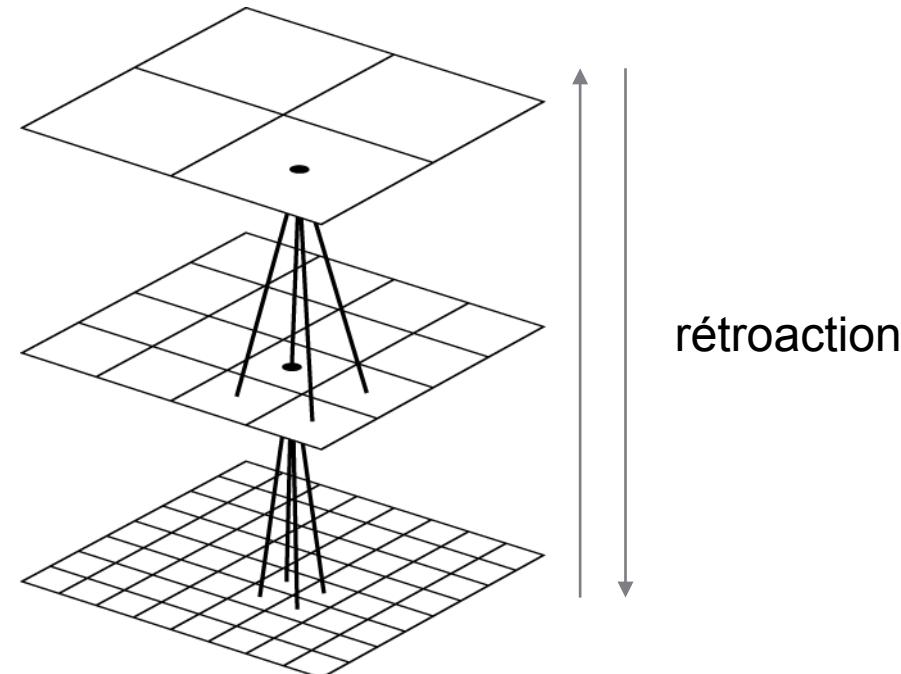
Wolfram, S. (2002). *A new kind of science*.
Wolfram media Champaign.

Atomisme (individualisme) vs. holisme et structuralisme dans les sciences humaines

- Individualisme
 - Le tout est le résultat de l'action des individus
 - Négation des phénomènes à plus grande échelle
- Holisme et structuralisme
 - Le tout précède ses parties.
 - Les individus sont des pions des structures qui les englobent

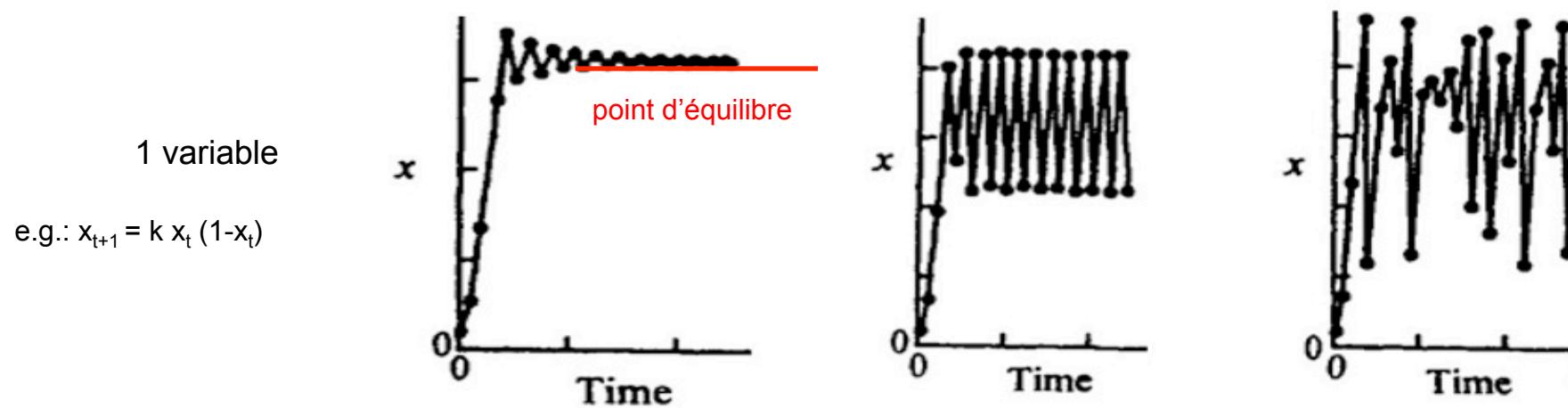


Échelles imbriquées

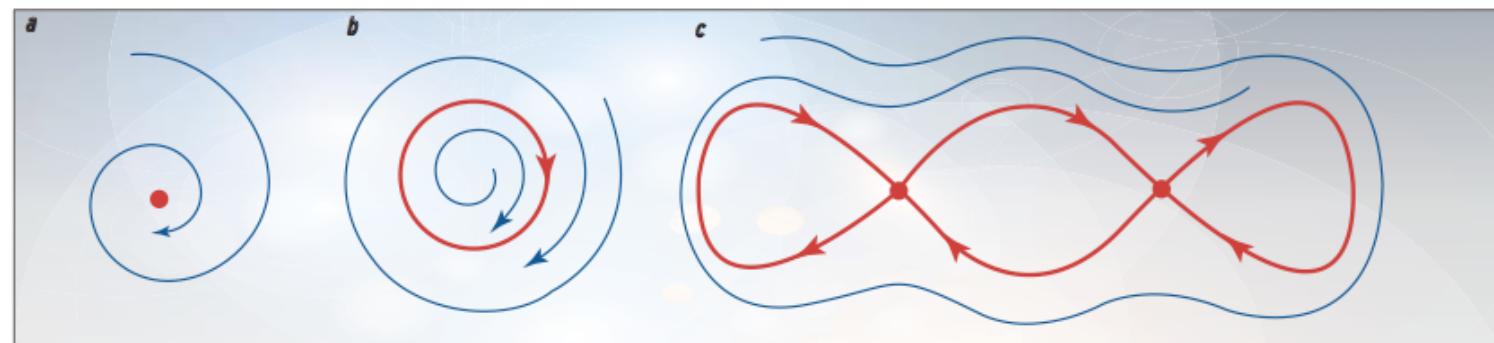


ÉMERGENCE ET AUTO-ORGANISATION

Émergence d'états et de cycles limites

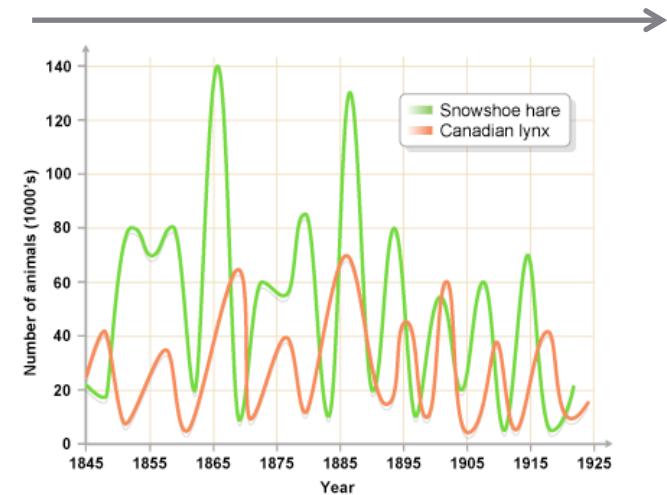
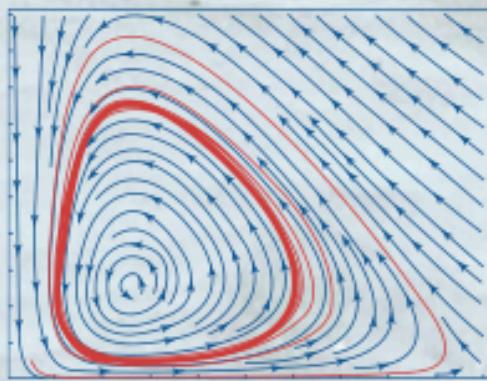


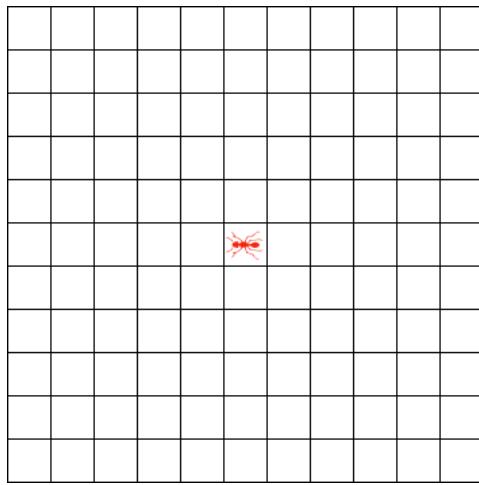
2 variables
(espace des phases)



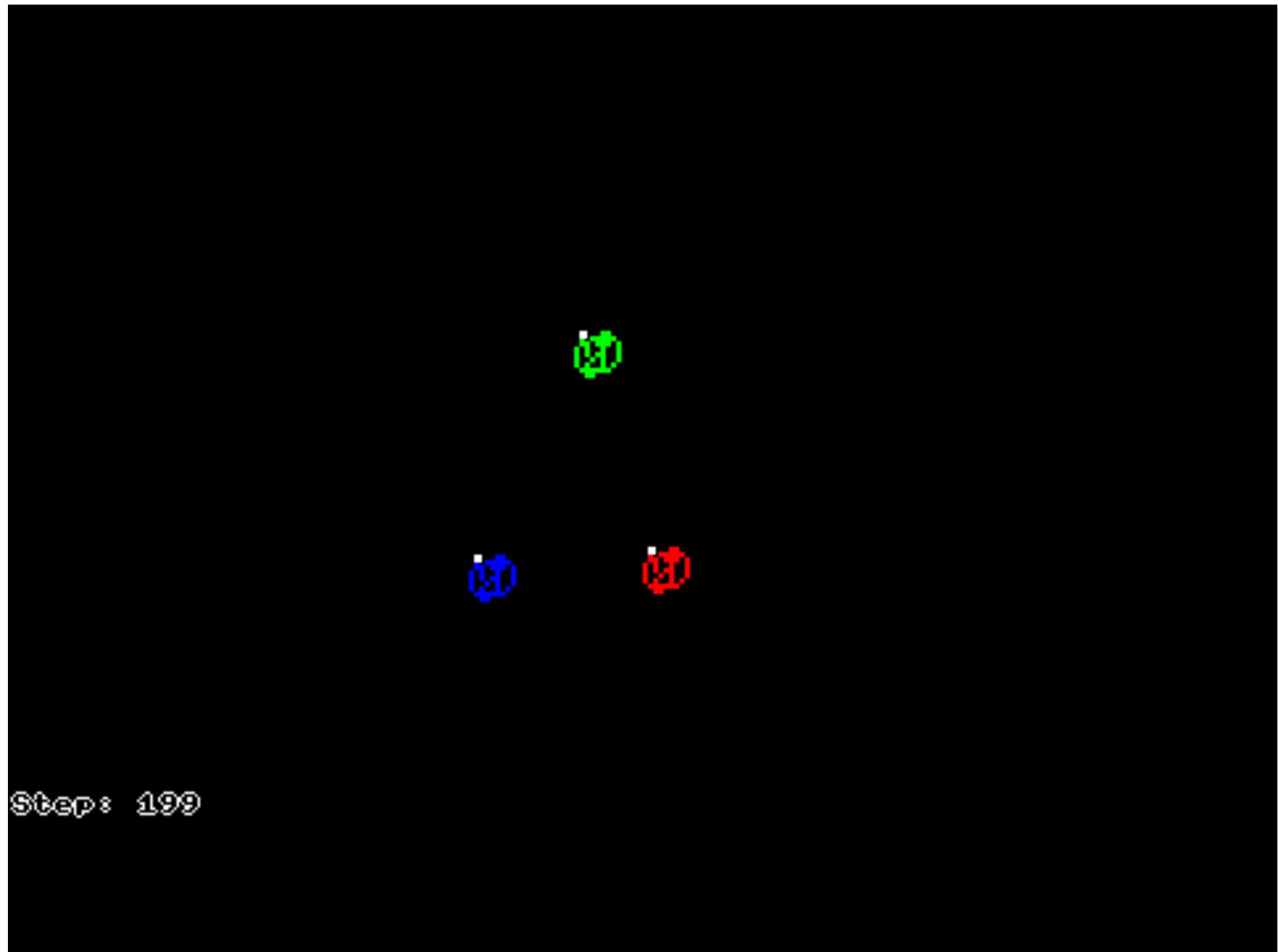
(a) point d'équilibre, (b) cycle limite (c) polycycle limite

émergence d'un cycle régulier





Fourmi de Langton



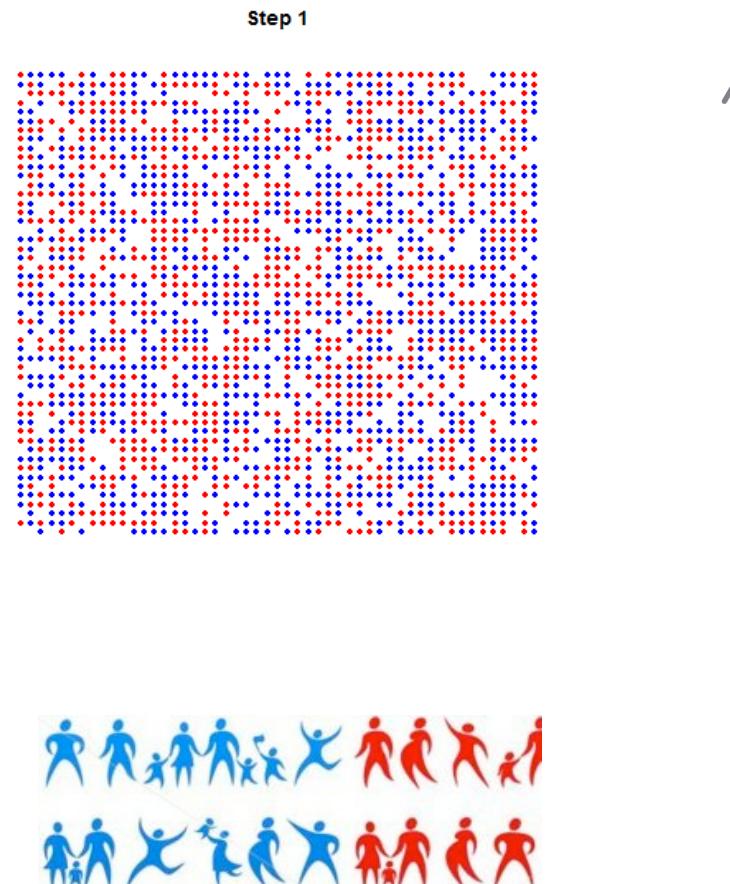
Step: 199

Émergence

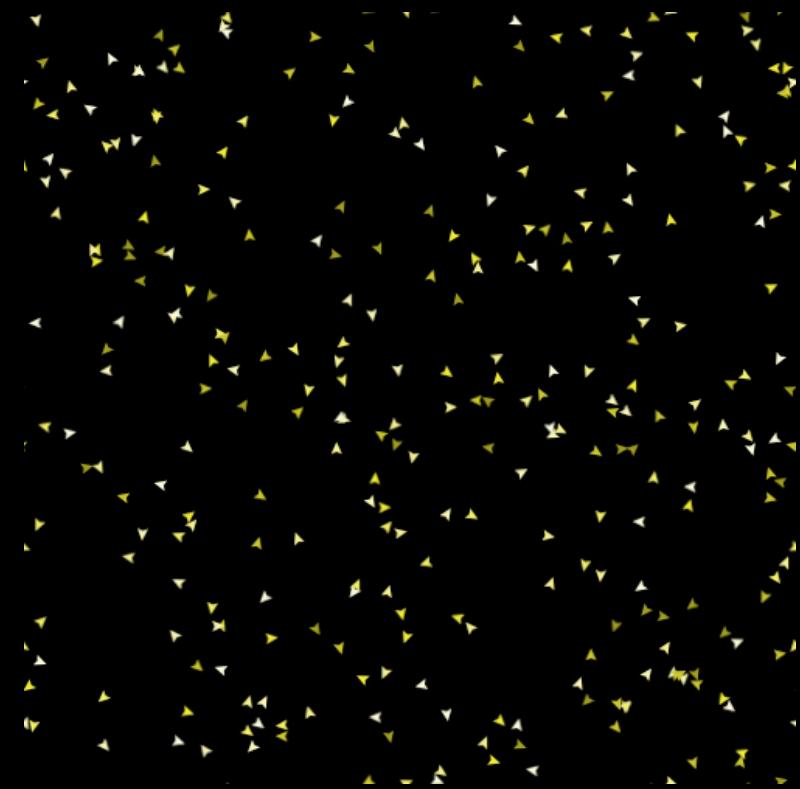
- « Le tout est supérieur à la somme de ses parties »
 - (Aristote, Des parties des animaux 1,1; Politeia, I, IV, 5)
- « *L'émergence, c'est donc l'entrée en scène des forces; c'est leur irruption, le bond par lequel elles sautent de la coulisse sur le théâtre, chacune avec la vigueur, la juvénilité qui est la sienne.* »
 - [Foucault, 1971, *Essai sur la notion d'Enstehung chez Nietzsche*]
- *Il y a émergence d'un « comportement collectif ou d'une structure globale” à « un niveau d'organisation supérieur»*
 - [Cocu/Caruso 2002]

Émergence et échelle

- *Échelle du phénomène global*
- *Échelle de l'action des individus*



“Flocking”



conditions initiales



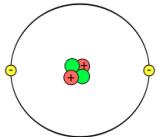
comportement émergent

Exercice:

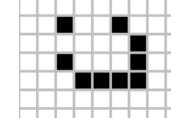
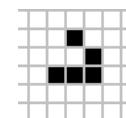
- ouvrir NetLogo > Models Library > Bilogy > Flocking
- tester les paramètres

Émergence et échelle

Emergence d'un individu d'un « ordre » supérieur



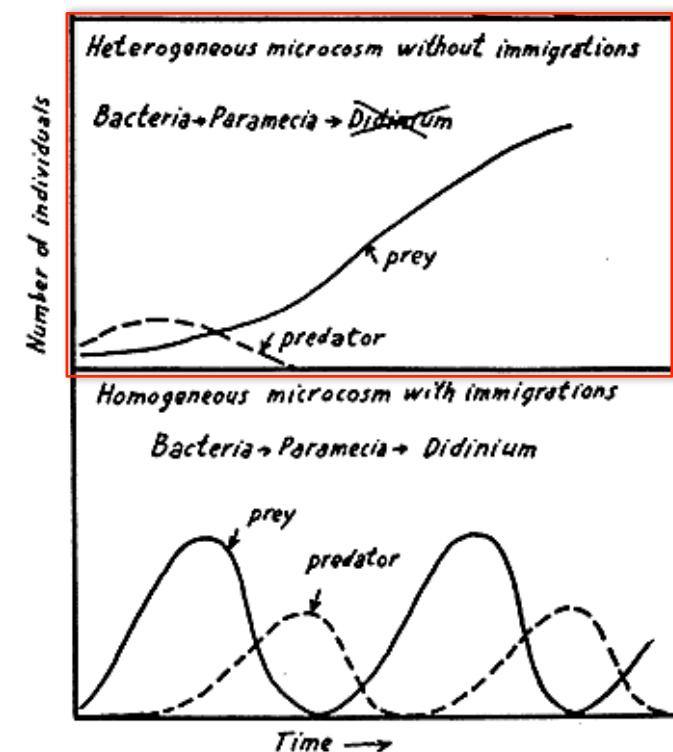
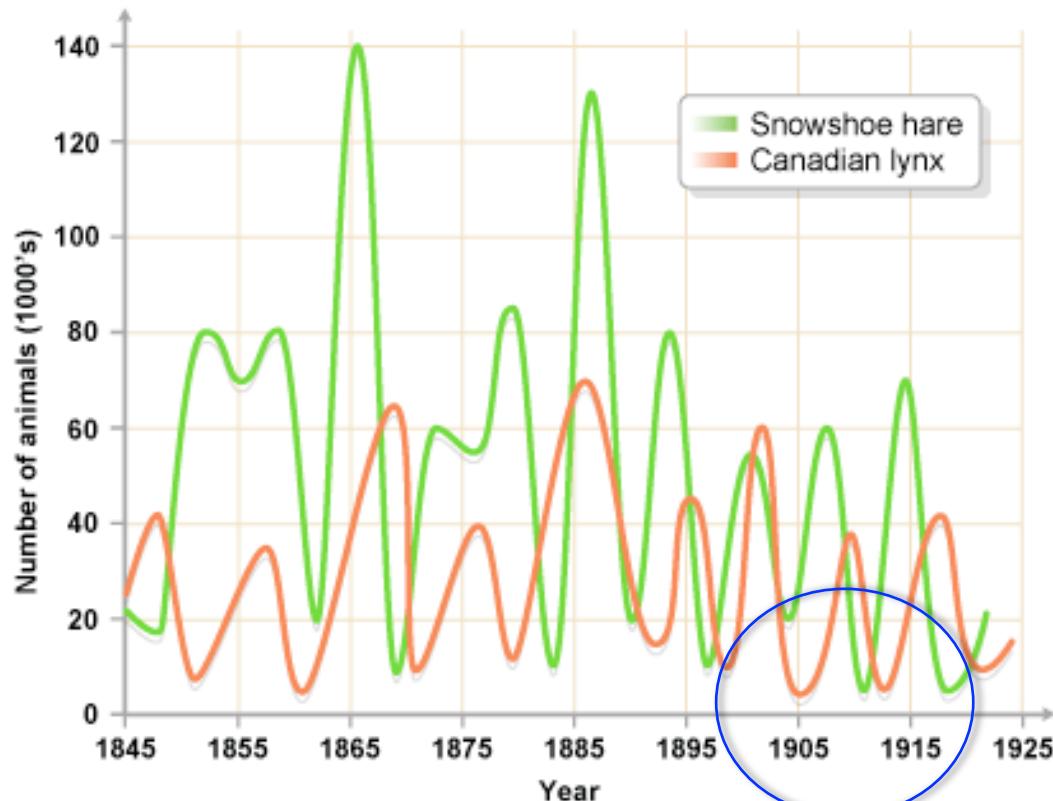
↑
émergence



L'émergence de la catastrophe

- « Les gens ne peuvent admettre que les choses arrivent ‘comme ça’. L'idée du complot est à la base de toute religion: il faut qu'il y ait une volonté à l'origine des événements, qu'elle soit d'origine divine ou humaine. Ainsi, le crime ou la grande catastrophe n'arrivent jamais par hasard! Le complot machiavélique derrière les événements est une mythologie naturelle, qui répond à un besoin humain. »
 - Umberto Eco, *Le Temps*, mars 2014

L'émergence de la catastrophe



Exercice

- Ouvrez NetLogo, Models Library > Curricular models > *BEAGLE Evolution* > « *Wolf sheep predation* »
- Explorez sous quelles conditions l'une ou l'autre espèce disparaît
- Alternativement: étudiez le même aspect avec *Curricular Models* > *BEAGLE evolution* > « *Urban suite – pollution* »

Résumé des concepts clés

- Complexité
- Etat limite, cycle limite
- Émergence
 - apparition de formes ou de comportement cohérentes, observables à une échelle plus vaste que celle de l'action individuelle
 - phénomènes qui ne relèvent pas de buts individuels, mais qui résultent malgré cela de l'action des individus.
- Auto-organisation, auto-poïèse
- Atomisme, monde discret
- Équilibre