

Comment les sciences des systèmes complexes renouvellent-elles la question de l'émergence ?

28 mars 2017

Séminaire EPHESE



Les « systèmes complexes » (SC)

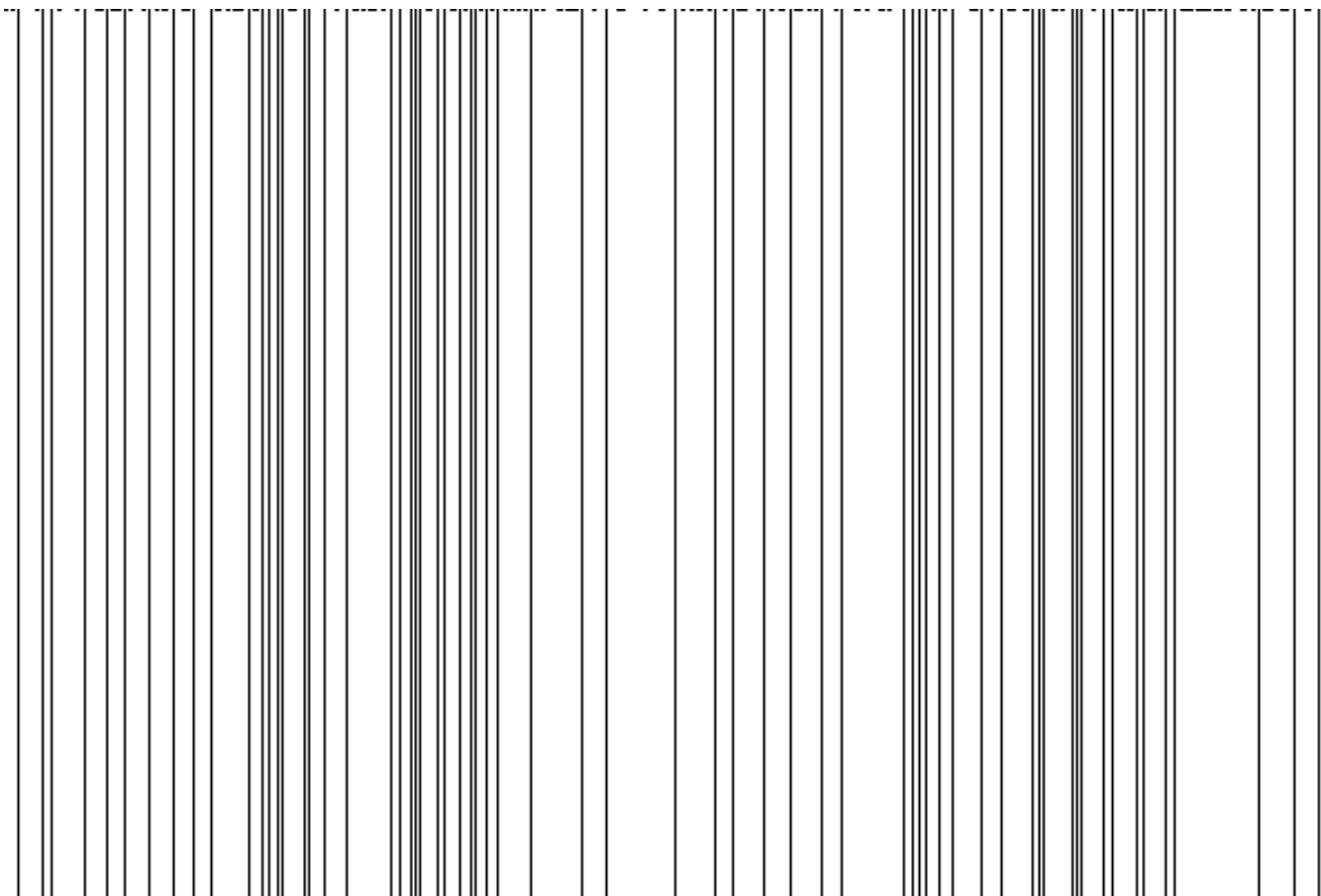
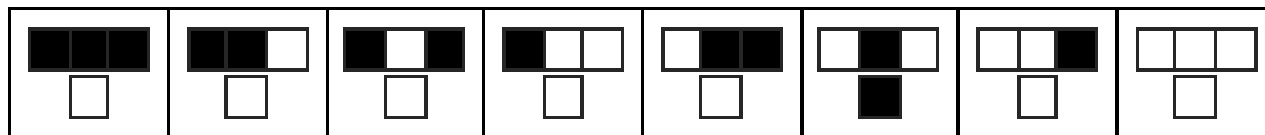
- Un champ interdisciplinaire, pas une science unifiée
- Se forme à partir des années 70
- Constellation de phénomènes-types, étudiés au moyen de nouvelles approches qui semblent partager un « air de famille »
- Marque l'essor d'un nouvel *anti-réductionnisme* chez un grand nombre de physiciens ou de biologistes

La fin d'un « âge d'or » réductionniste ?

- De la fin des années 20 aux années 70 : un réductionnisme triomphant dans les sciences de la nature ?
- Les succès de la mécanique quantique (1924-1926, Heisenberg, Schrödinger) : chimie quantique, propriétés électriques et magnétiques des métaux, capacité calorifique des solides, physique nucléaire, techniques d'imagerie...
- La biologie moléculaire

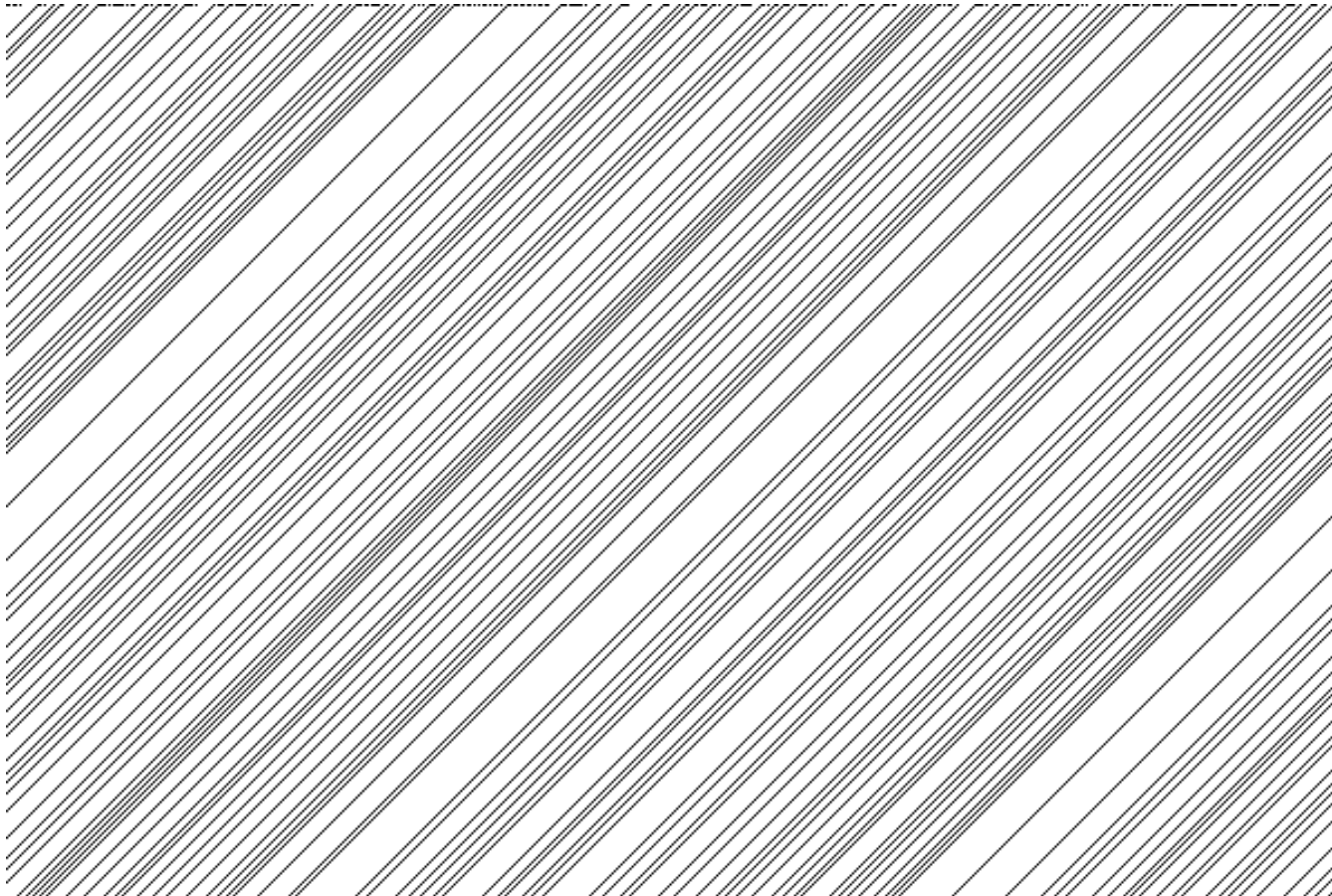
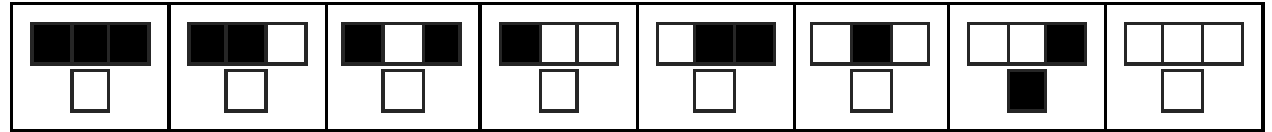
« Bestiaire » : Les automates cellulaires

Automate « règle 4 »
(S. Wolfram)



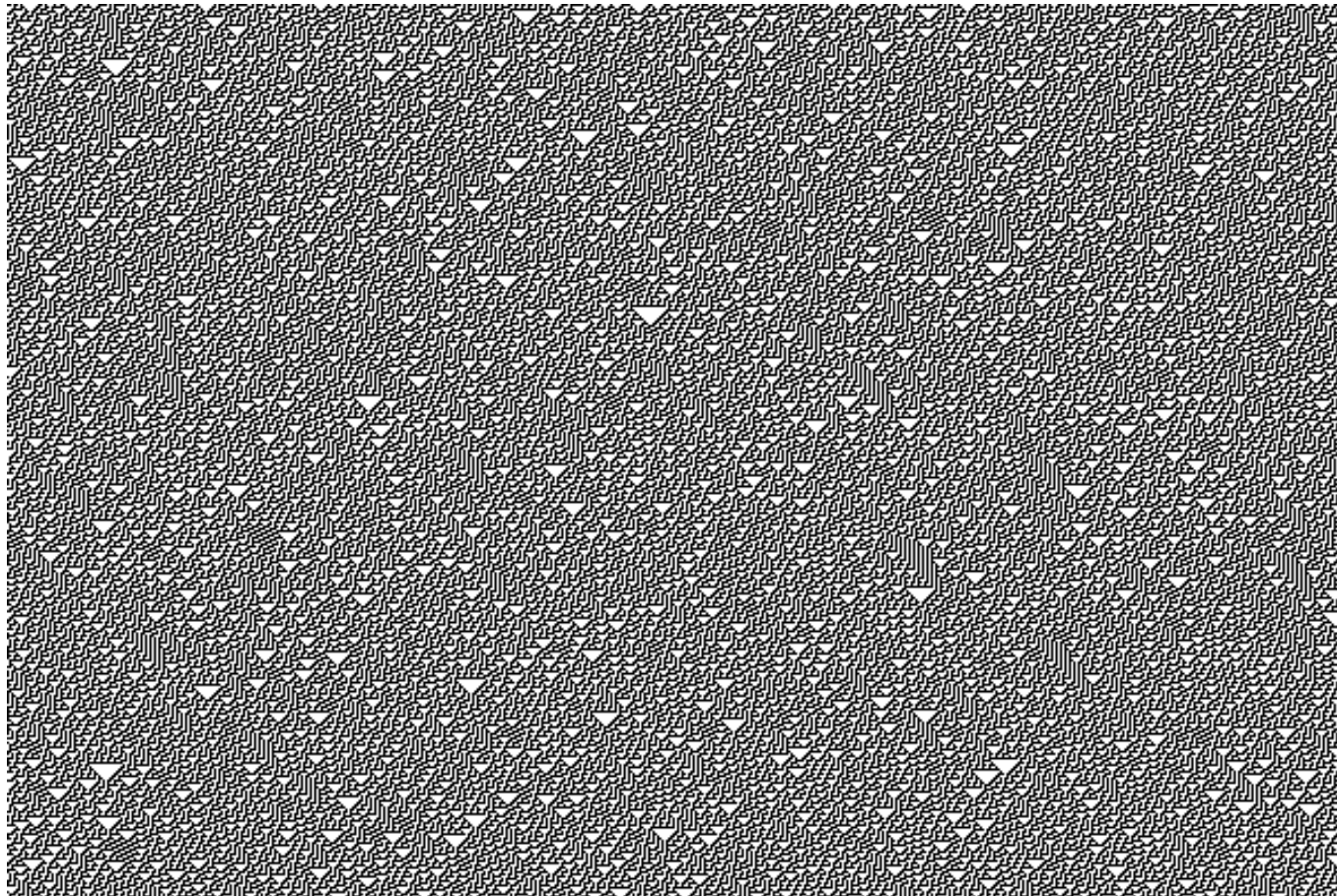
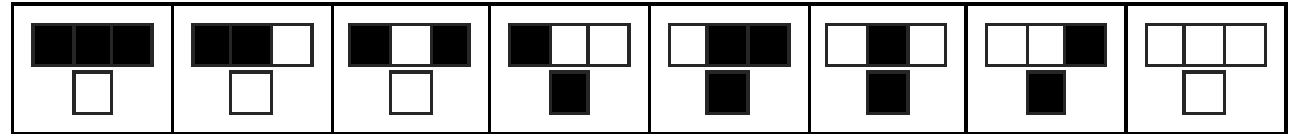
« Bestiaire » : Les automates cellulaires

Automate « règle 2 »



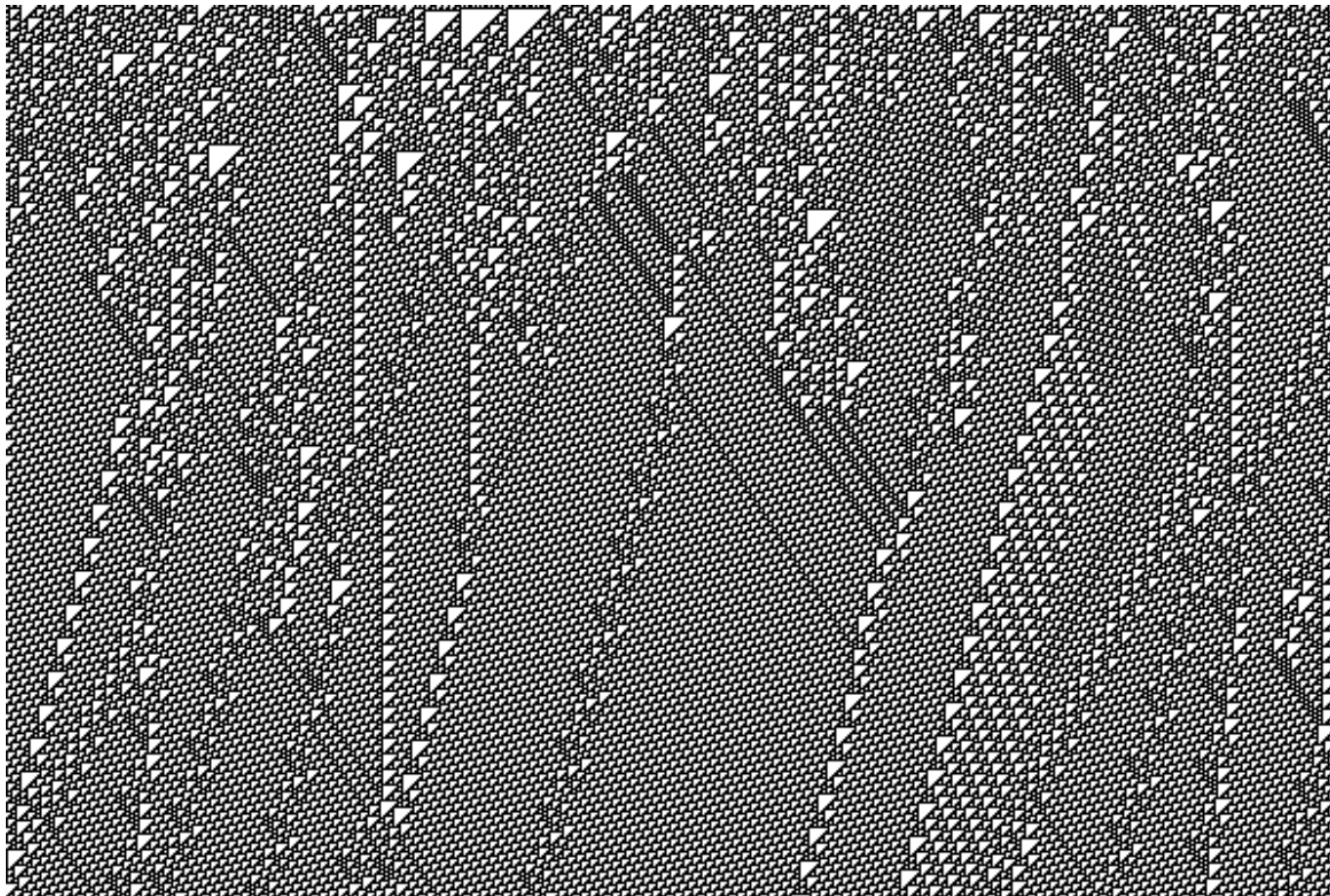
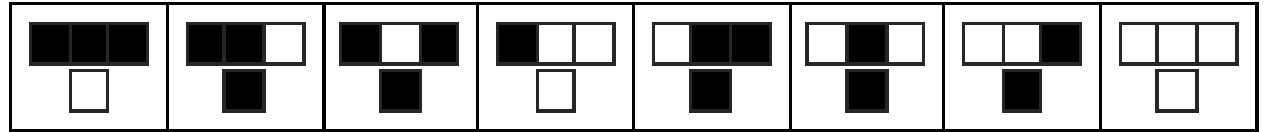
« Bestiaire » : Les automates cellulaires

Automate « règle 30 »



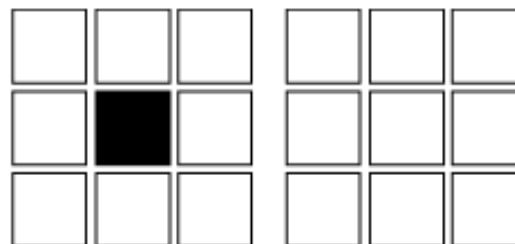
« Bestiaire » : Les automates cellulaires

Automate « règle 110 »



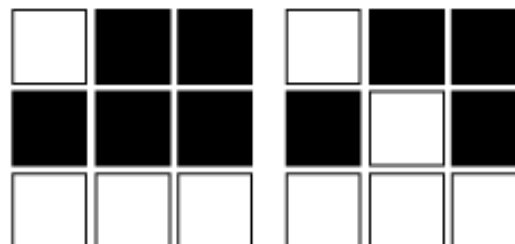
« Bestiaire » : Les automates cellulaires

Le Jeu de la vie
(John H. Conway, 1970)



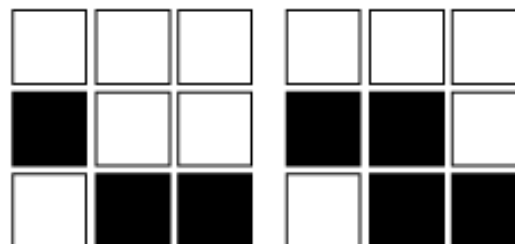
Loneliness

A cell with less than 2 adjoining cells dies.



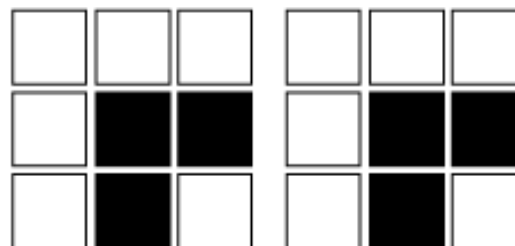
Overcrowding

A cell with more than 3 adjoining cells dies.



Reproduction

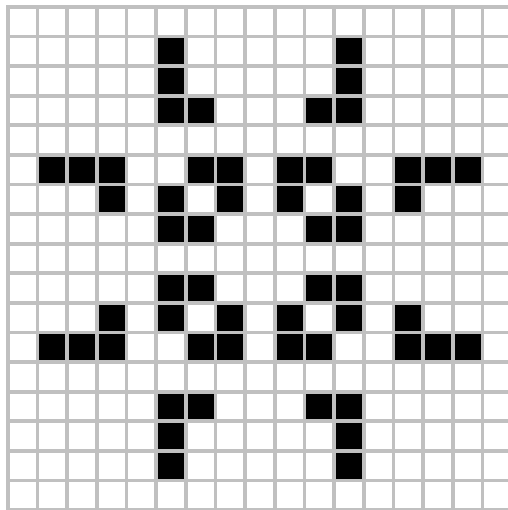
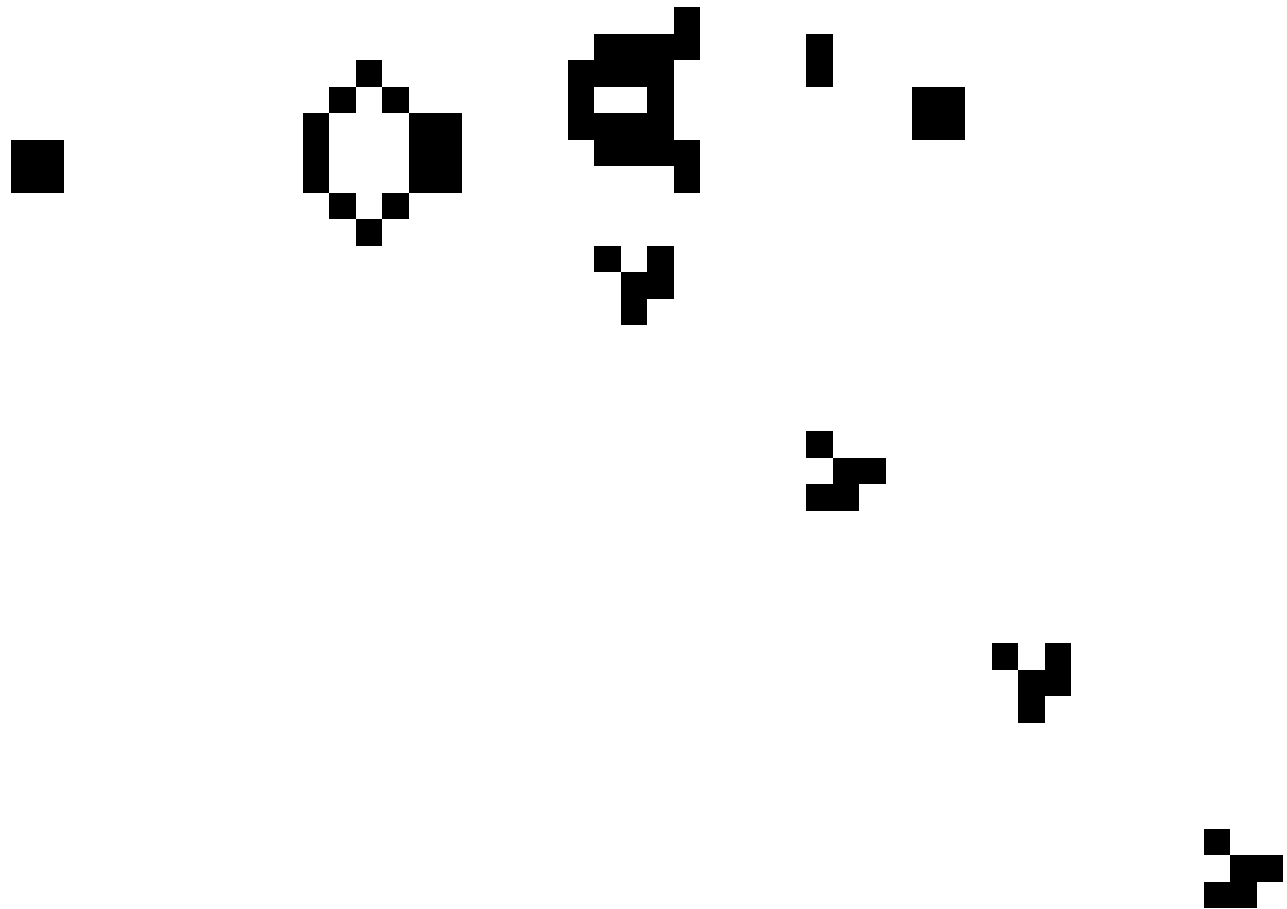
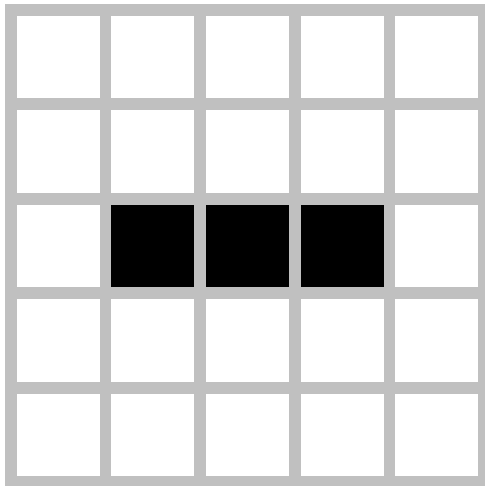
An empty cell with more than 3 adjoining cells comes alive.



Stasis

A cell with exactly 2 adjoining cells remains the same.

« Bestiaire » : Les automates cellulaires

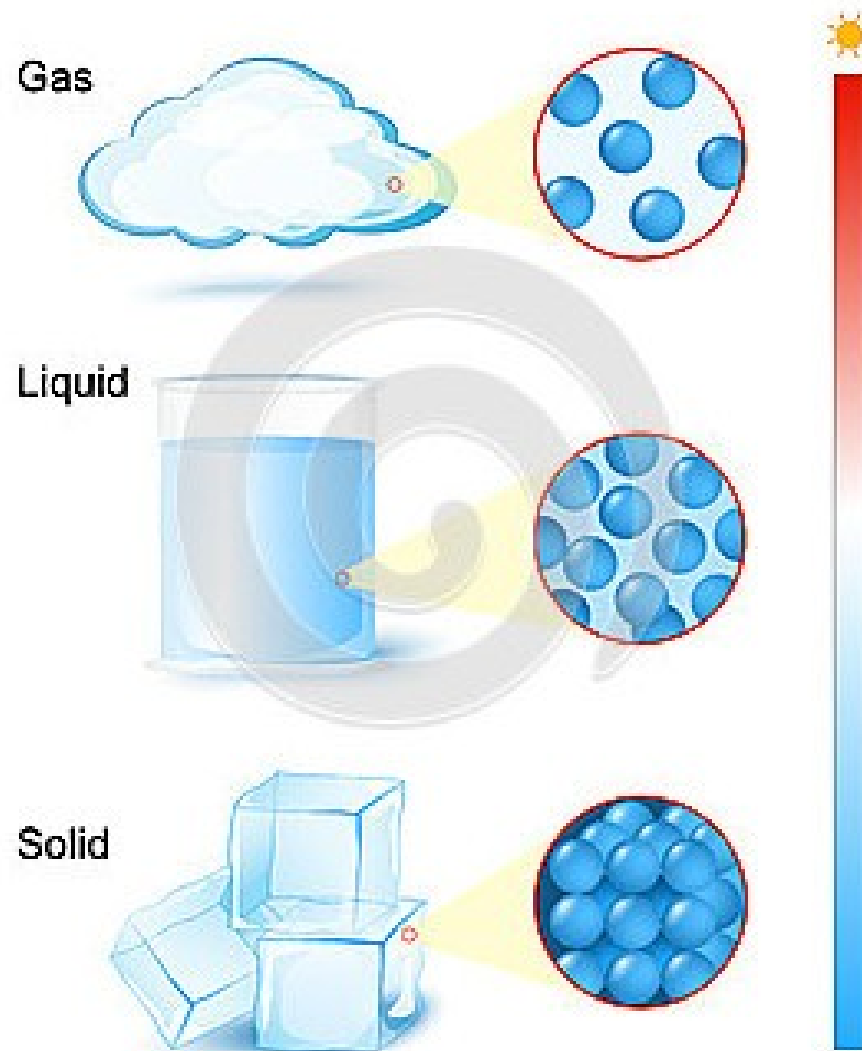




« Bestiaire » : Les modèles à base d'agents

- L'exemple des « boids » (Craig Reynolds, 1986) :
 - séparation ;
 - cohésion ;
 - alignement.

« Bestiaire » : Les transitions de phase





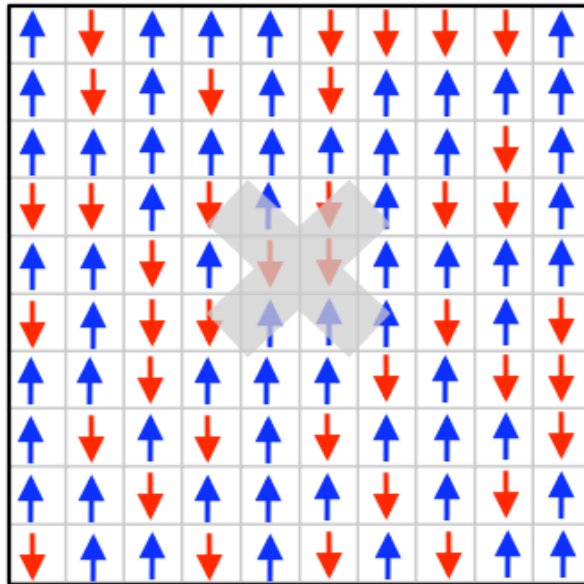
« Bestiaire » : Les brisures spontanées de symétrie (BSS)

- Philip W. Anderson, « More Is Different », *Science*, 1972.
- Exemple pédagogique : la convection de Rayleigh-Bénard (I. Prigogine).

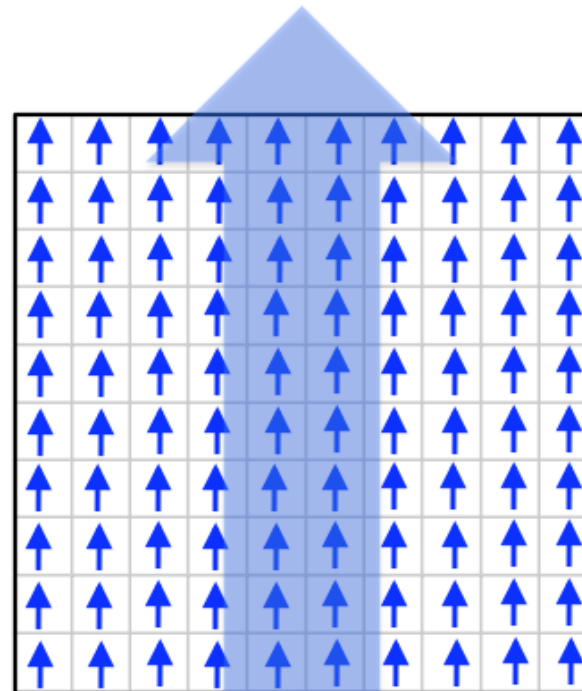
« Bestiaire » : Les brisures spontanées de symétrie (BSS)

- Aimantation dans les métaux ferromagnétiques :

magnetic moments



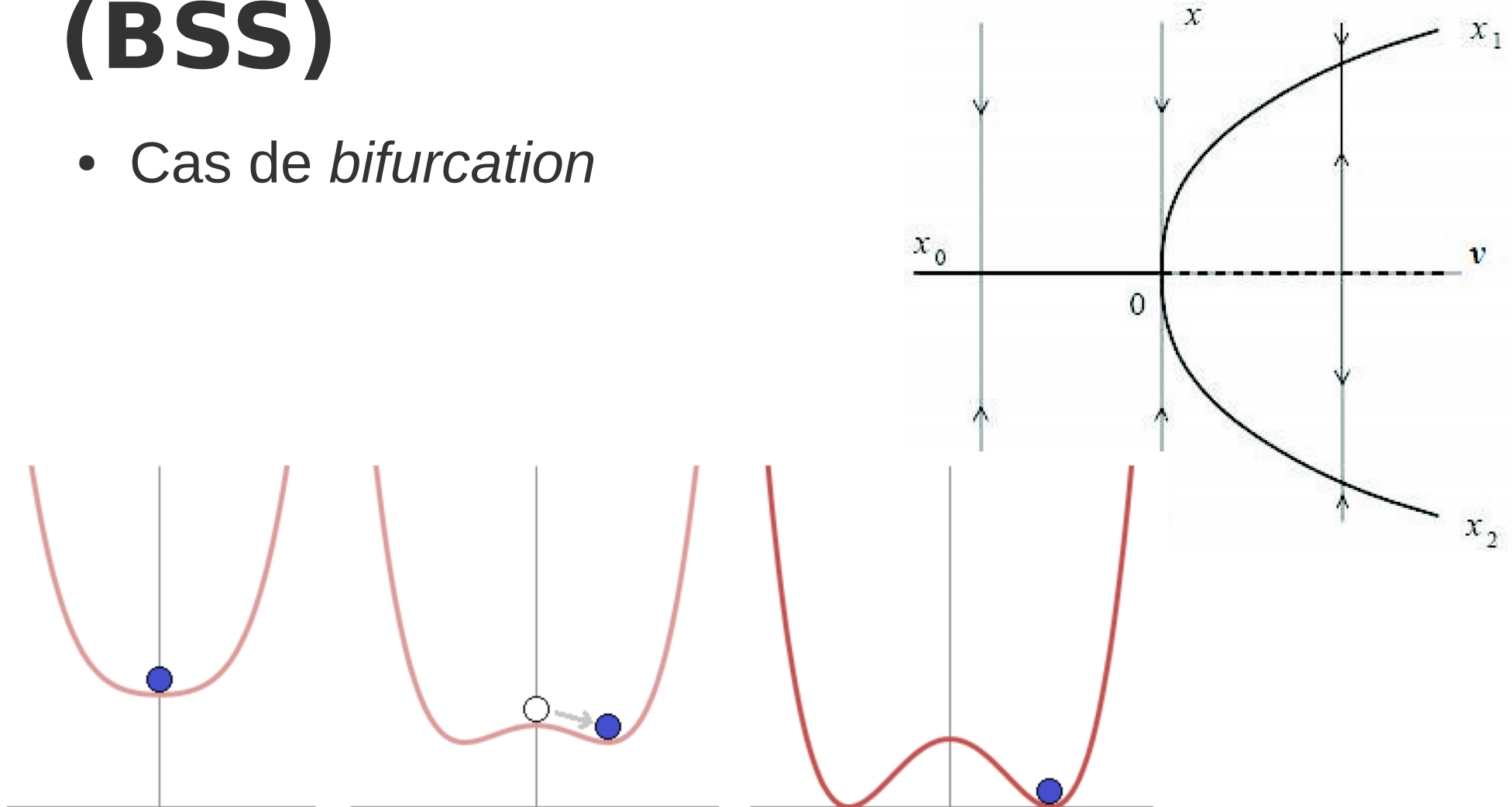
non-magnetic



magnetic

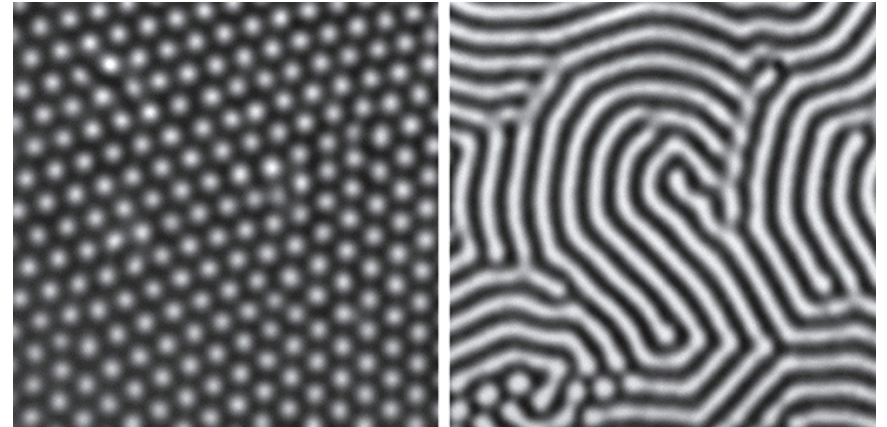
« Bestiaire » : Les brisures spontanées de symétrie (BSS)

- Cas de *bifurcation*



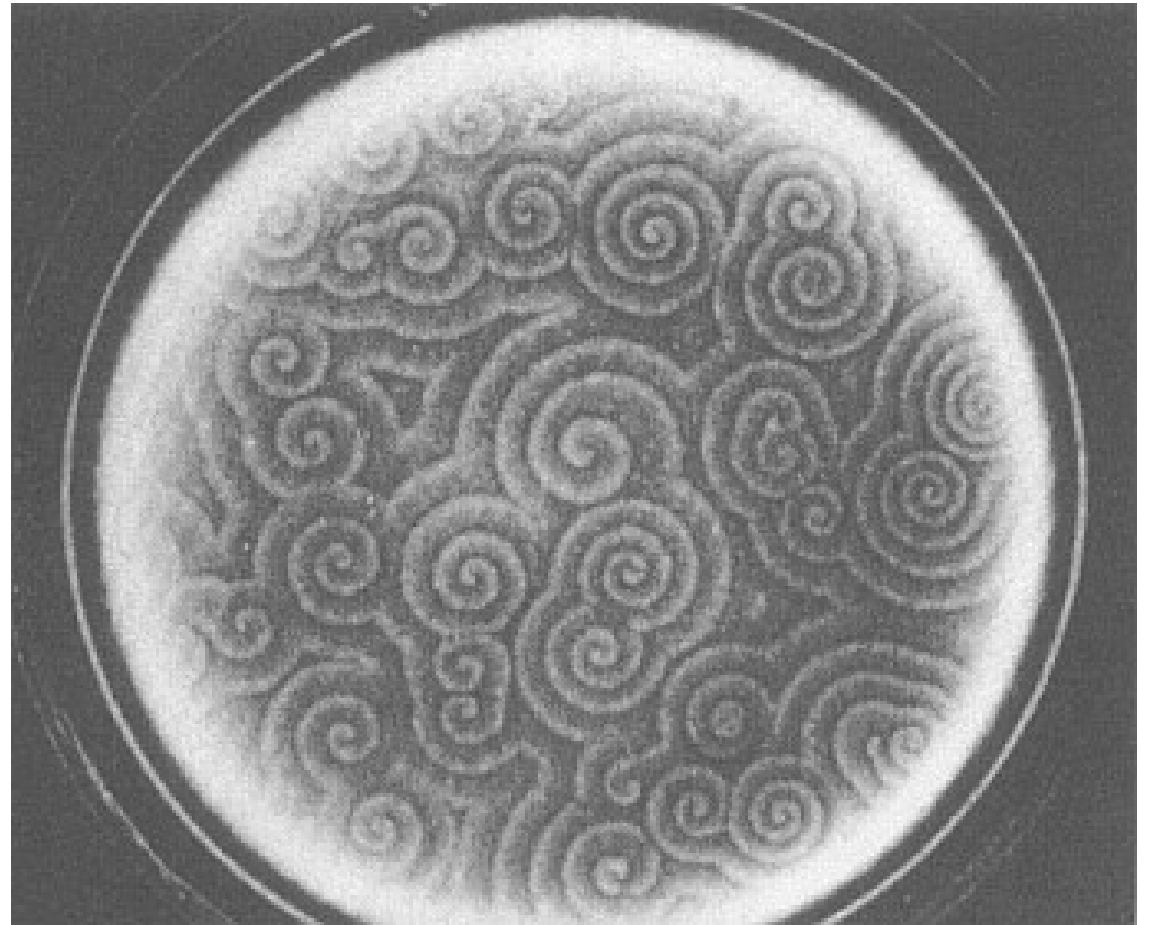
« Bestiaire » : modèles à réaction-diffusion

- Étude de la *morphogenèse* : modèle de Turing (1952) et réaction de Belousov-Zhabotinsky (BZ)



« Bestiaire » : modèles à réaction-diffusion

- Les amibes sociales (ici, une colonie de *Dictyostelium discoideum*)





Qu'est-ce qui émerge ?

- Des propriétés, des lois, des entités...
- ou des *processus* ?

- *Émergence synchronique versus émergence diachronique.*

Le monde est-il stratifié ?

- *Hiérarchie de niveaux* (méréologie)...
- ou présence de deux *échelles de description* complémentaires ?
- « Émergence épistémologique » vs « émergence ontologique » (O'Connor & Wong 2002).

L'opacité explicative de l'émergence

- « The existence of emergent qualities [...] is something to be noted, as some would say, under the compulsion of *brute empirical fact*, or, as I should prefer to say in less harsh terms, to be accepted with the '*natural piety*' of the investigator. *It admits no explanation.* » (S. Alexander 1920)
- Au contraire, est-il possible de voir l'émergence comme *un* mode d'explication ?



Une ou des émergences ?

- D'un modèle philosophique pour la science...
- à une famille de pratiques d'explication scientifique ?

L'émergence faible de Mark Bedau

- « A defense of emergence will be secure only if emergence is more than merely a philosophical curiosity; it must be shown to be a central and constructive player in our understanding of the natural world. » (Bedau 1997)
- « **Macrostate P of S with microdynamic D is weakly emergent iff P can be derived from D and S's external conditions but only by simulation.** » (Bedau 1997)

L'émergence faible de Mark Bedau

- Une émergence subjective ?
- « Our need to use a simulation is due neither to the current contingent state of our knowledge nor to some specifically human limitation or frailty. Although a Laplacian supercalculator would have a decisive advantage over us in simulation speed, she would still need to simulate. » (Bedau 1997)
- « We should avoid proliferating mysteries beyond necessity. To judge from the available evidence, strong emergence is one mystery which we don't need. » (Bedau 1997)

Émergence et universalité (Robert Batterman)

- Reprendre la question de la *réduction inter-théorique*.
- Réduction de la mécanique classique à la relativité restreinte ?

$$p_{\text{relativiste}} = \frac{mv^2}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \xrightarrow{v \rightarrow 0} mv = p_{\text{classique}}$$

Émergence et universalité (Robert Batterman)

- Exemple canonique de réduction inter-théorique : le gaz parfait.

$$pV = N \frac{2}{3} \langle E_c \rangle = N k_B T$$

- Pas de transition de phase sans interactions !

Émergence et universalité (Robert Batterman)

- Limite singulière → échec de la réduction.
Rôle des *raisonnements asymptotiques*.
- Le cas des phénomènes critiques : des propriétés « universelles » (transition ferromagnétique, point critique des fluides, percolation...) ?
- Une explication *hybride* pour les phénomènes occupant le domaine asymptotique entre deux théories

Émergence et universalité (Robert Batterman)

- Distinguer explication et réduction.
- « The [emergent] phenomena are not brute and inexplicable *tout court*. They are irreducible to, unpredictable from, and unexplainable from the ‘base’ theory T_f alone— that is, without the use of asymptotic methods. Our recognition that the connection between reduction and explanation must be severed allows for this somewhat weakened sense of emergence. » (Batterman 2002)



Conclusion

- La possibilité d'une émergence épistémologique non subjective, issue de nouvelles pratiques d'explication scientifiques ?

Références

- John Gribbin, *Le chaos, la complexité et l'émergence de la vie*, Flammarion, 2010.
- Melanie Mitchell, *Complexity : A Guided Tour*, Oxford University Press, 2009.
- M. Bedau & P. Humphreys (dir.), *Emergence : Contemporary Readings in Philosophy and Science*, MIT Press, 2008.
- Philip W. Anderson, « More Is Different », *Science* 177, 1972.
- Mark A. Bedau, « Weak Emergence », *Philosophical Perspectives* 11, 1997.
- Robert W. Batterman, *The Devil in the Details*, Oxford University Press, 2002.