

Où va notre civilisation?

Exposé à Avignon, le 30 juin 2016

Après 50 ans de progrès scientifiques et techniques sans précédent:

- 800 millions d'individus souffrent de la faim dans le monde.
- Les inégalités sociales ne cessent de croître: la moitié de la richesse mondiale appartient à 1% de la population.
- Les conflits mondiaux deviennent endémiques.
- Un quart des jeunes français sont au chômage.
- Les ressources naturelles s'épuisent (pétrole, métaux,...).
- Un nombre sans cesse croissant d'espèces vivantes disparaissent.
- Le climat se réchauffe...

De nombreux chercheurs et intellectuels s'interrogent...

- Jacques Blamont, Introduction au siècle des menaces, Odile Jacob (2004)
- André Lebeau, L'engrenage de la technique. Essai sur une menace planétaire, Gallimard (2005)
- Jean-Luc Wingert, La vie après le pétrole, Autrement (2005)
- André Lebeau, L'enfermement planétaire. Gallimard (2008)
- Philippe Bihouix, L'âge des low tech, Seuil (2014)
- Pablo Servigne, Raphaël Stevens. Comment tout peut s'effondrer, Seuil (2015)

Que disent les lois de
l'évolution?

Émergence de la notion d'évolution

1750



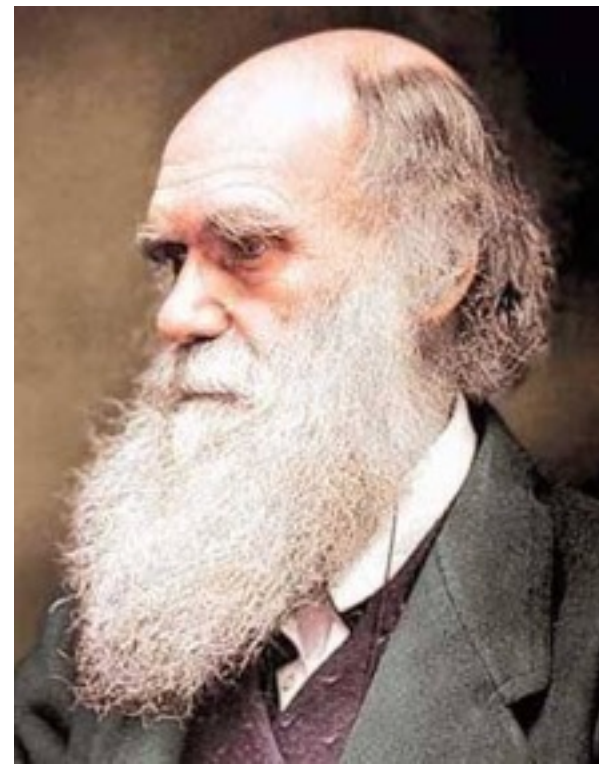
Buffon

1810



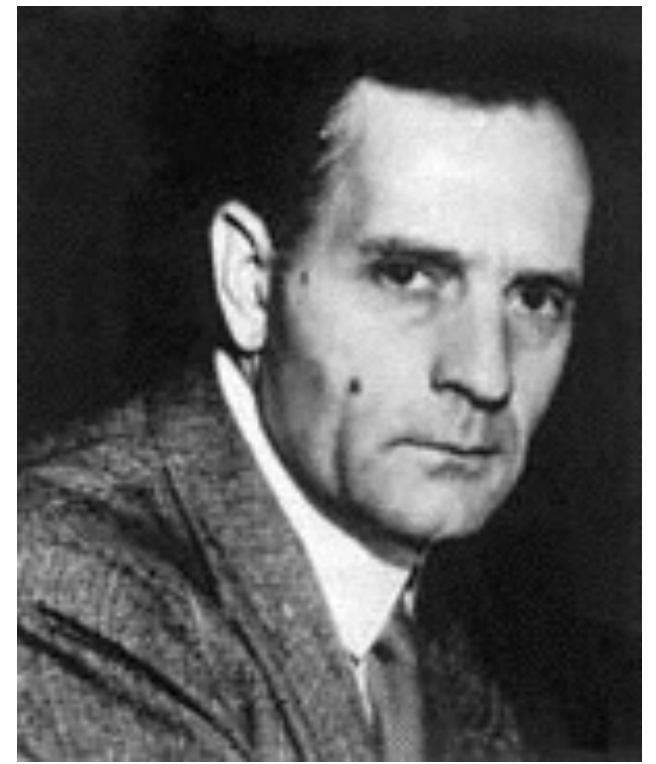
Lamarck

1850



Darwin

1930



Hubble

Les lois fondamentales de la physique ne dépendent pas du sens du temps.

Pourtant tout évolue: les êtres vivants naissent, vieillissent et meurent, mais aussi: les montagnes, les étoiles et même l'univers observable.

Seule la dissipation de l'énergie est irréversible:

L'évolution est un processus de dissipation d'énergie: elle suit les lois de la thermodynamique.

François Roddier

LE TEMPS D'APPRENDRE

Thermodynamique de l'évolution

Un essai de thermo-bio-sociologie



parole
éditions

Les lois de la thermodynamique

- **Première loi:** l'énergie se conserve. Elle est un invariant: c'est le fil d'Ariane qui permet de suivre l'évolution.
- **Deuxième loi:** l'énergie se dissipe. Elle tend à se transformer irréversiblement en chaleur. C'est la flèche qui oriente le sens du temps.
- **Troisième loi** (dite de Lotka ou MEP): l'énergie tend à se dissiper le plus vite possible, compte tenu des contraintes.

Les lois de la thermodynamique

À l'équilibre



Sadi Carnot
(1796-1832)

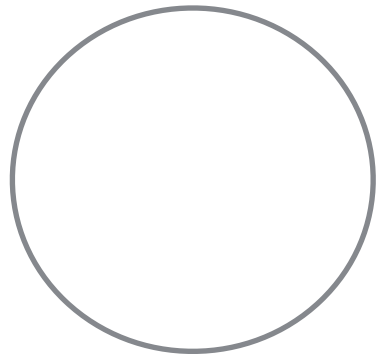
Hors équilibre



Ilya Prigogine
(1917- 2003)

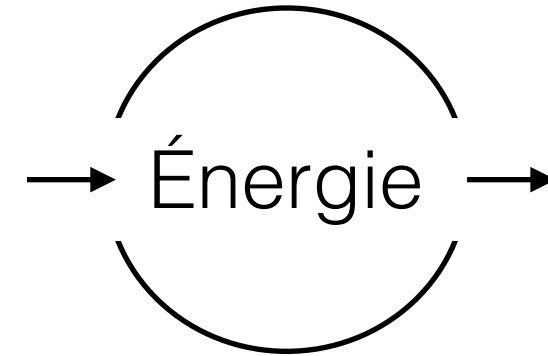
Les lois de la thermodynamique

Systeme fermé



Tend vers l'équilibre

Systeme ouvert



Reste hors-équilibre

Les systèmes fermés

Un système fermé:

Tend au repos (équilibre thermodynamique)

Se désorganise (des structures disparaissent)

Son entropie augmente

Son contenu informationnel diminue

Son évolution est prédictible

Les systèmes ouverts

Un système ouvert:

Se met en mouvement (déséquilibre thermodynamique)

S'auto-organise (des structures apparaissent)

Son entropie diminue

Son contenu informationnel augmente (mémorisation)

Son évolution est imprédictible

L'univers est-il ouvert ou fermé?

Le rayonnement cosmologique montre qu'à l'origine l'univers était très proche de l'équilibre (rayonnement du corps noir).

La formation des étoiles et l'apparition de la vie montre qu'il n'a cessé de s'en écarter.

L'univers observable perd constamment de la matière dans les trous noirs et au delà de l'horizon cosmique.

L'univers observable est ouvert.

Les structures dissipatives

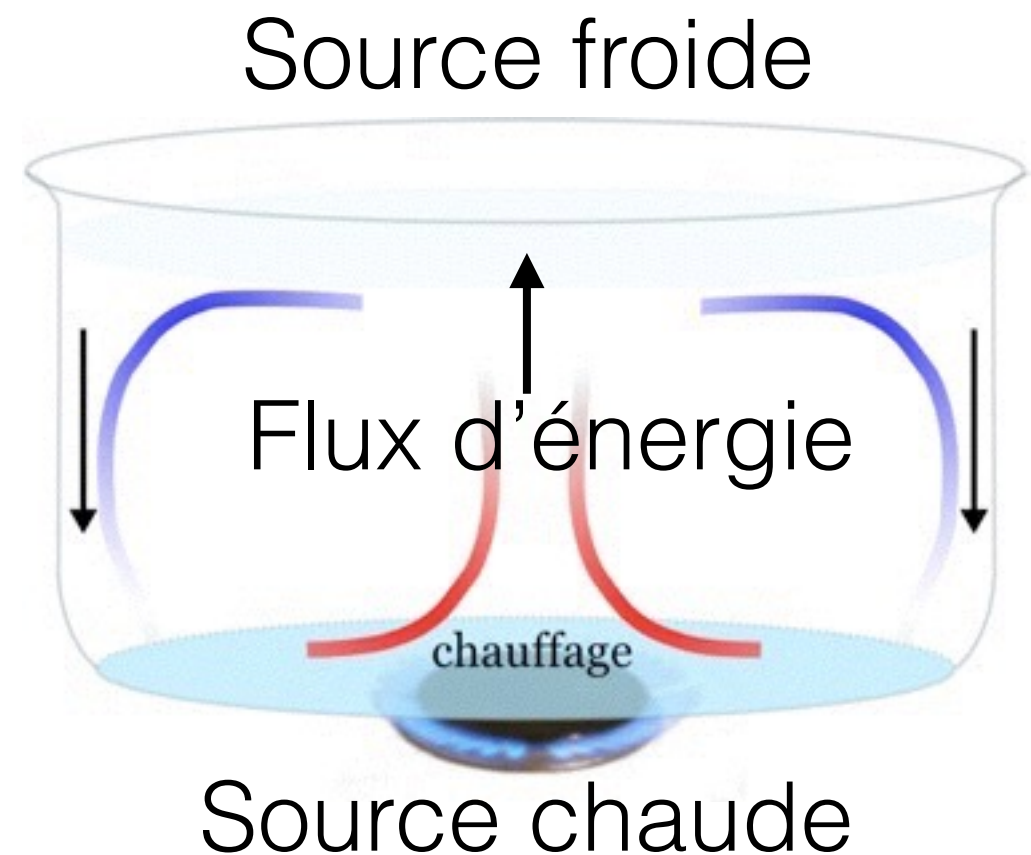
Ilya Prigogine a donné le nom de *structures dissipatives* aux structures qui apparaissent dans les systèmes ouverts. Celles-ci ne subsistent que si elles sont traversées par un flux permanent d'énergie.



Ilya Prigogine
(1917-2003)

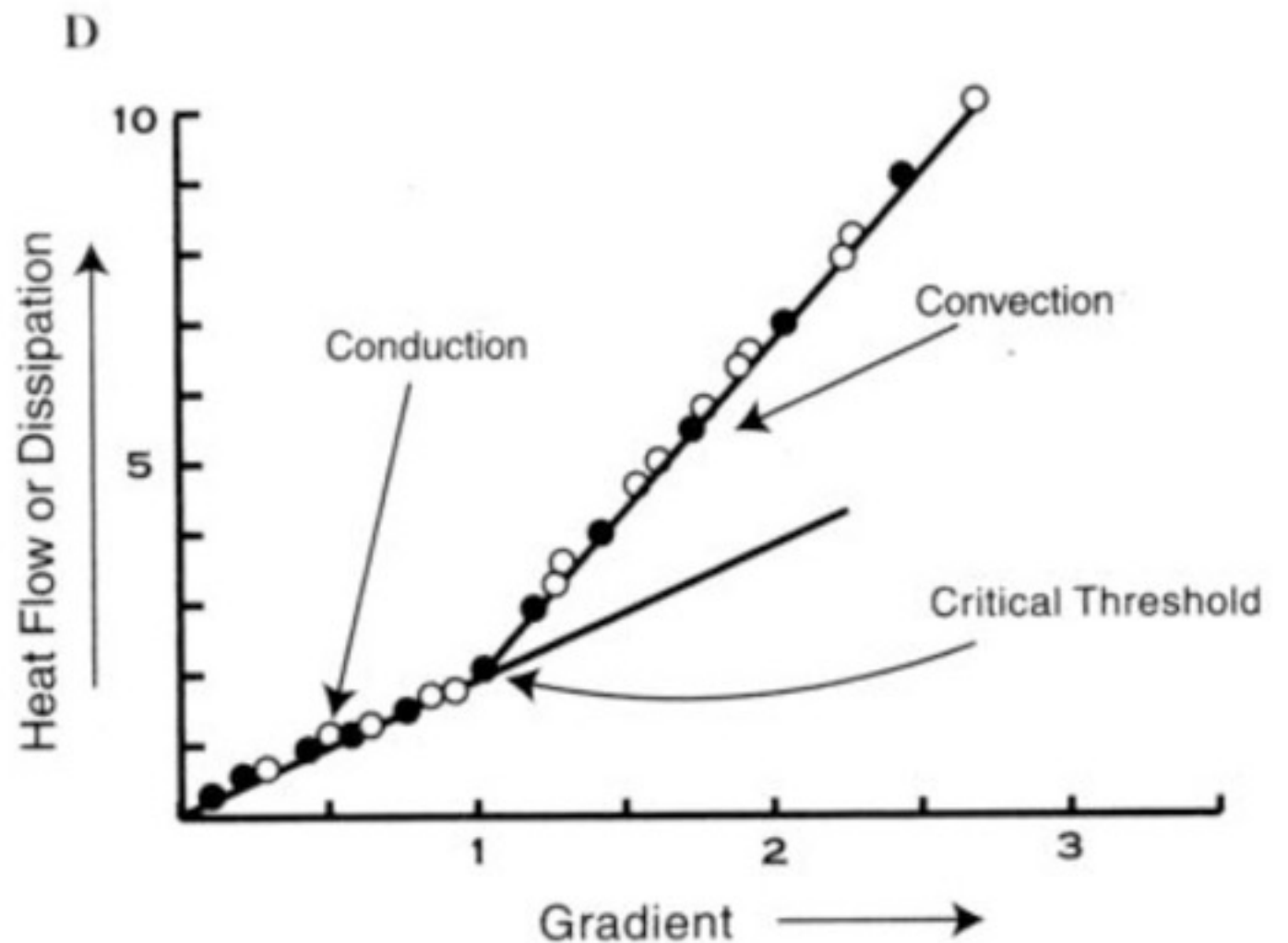
Exemple: la convection

Les structures
dissipatives
produisent du travail
mécanique qu'elles
dissipent



Les structures dissipatives

augmentent
la vitesse à
laquelle
l'énergie se
dissipe



Les structures dissipatives décrivent des cycles

Principe de Carnot (1824):

On ne peut durablement
produire du travail
mécanique que par des
cycles de transformations
extrayant de la chaleur
d'une source chaude pour
en rendre une partie à une
source froide

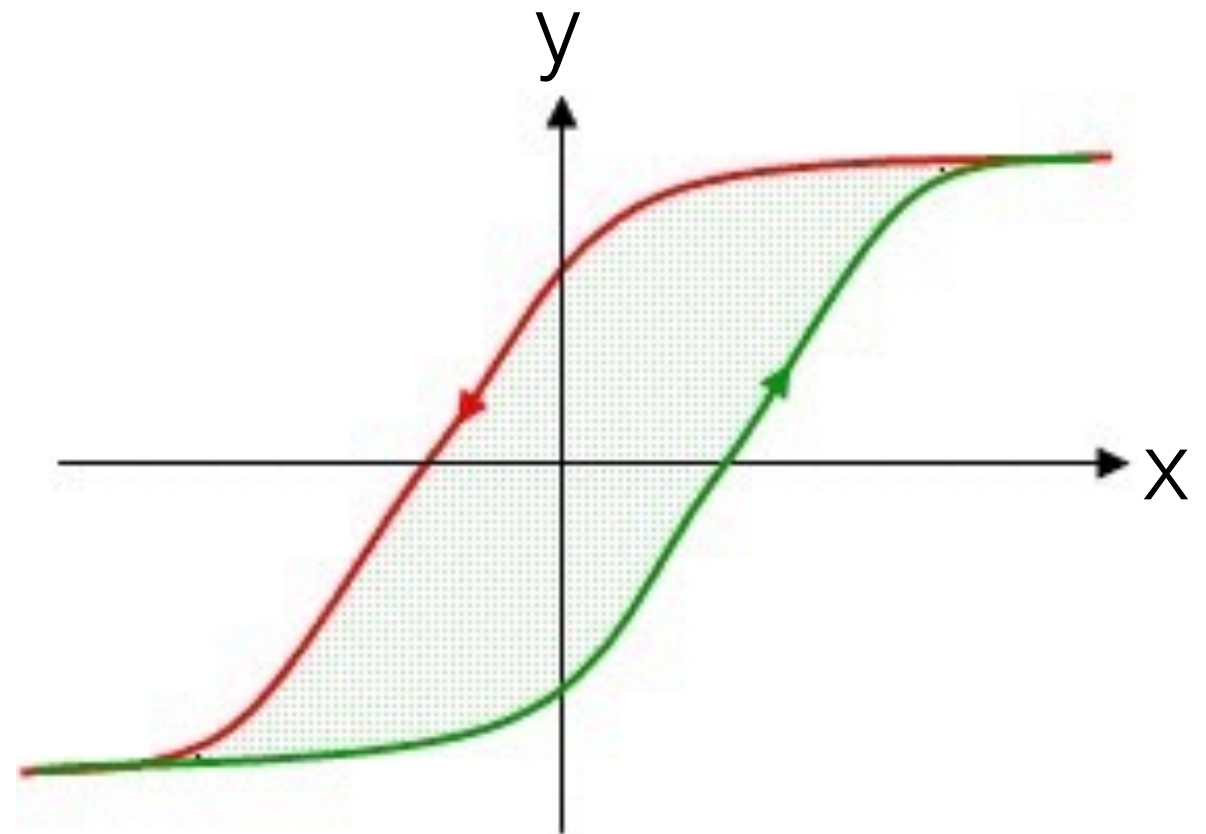


Sadi Carnot

Les structures dissipatives mémorisent de l'information

Il y a hystérésis si y est différent lorsque x croît ou décroît. On dit que y a **mémorisé** les valeurs précédentes de x .

Si y est une force et x un déplacement alors l'aire à l'intérieur du cycle mesure le travail mécanique dissipé.



Cycle d'hystérésis

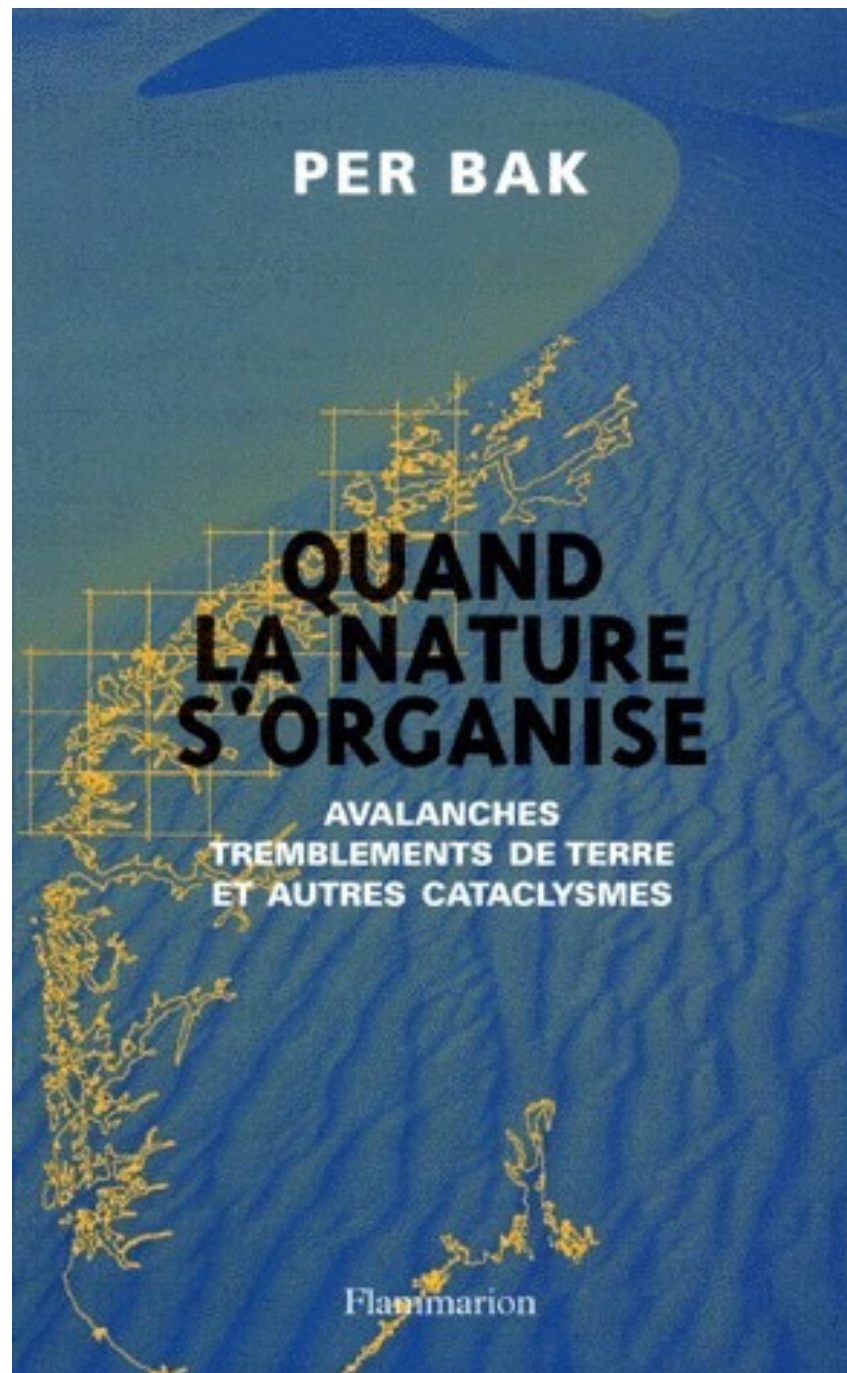
Compression de l'information

- La biologie montre que plus un organisme mémorise d'information plus il manifeste un comportement intelligent et plus il dissipe d'énergie.
- La loi de production maximale d'entropie semble impliquer le développement de l'intelligence.

Exemples de structures dissipatives

- *Une étoile*
- Une galaxie
- *Un cyclone*
- L'atmosphère terrestre
- *Un organisme vivant*
- Une espèce animale ou végétale
- *Un être humain*
- Une société humaine

Les lois de l'auto-organisation



Per Bak
(1948-2002)

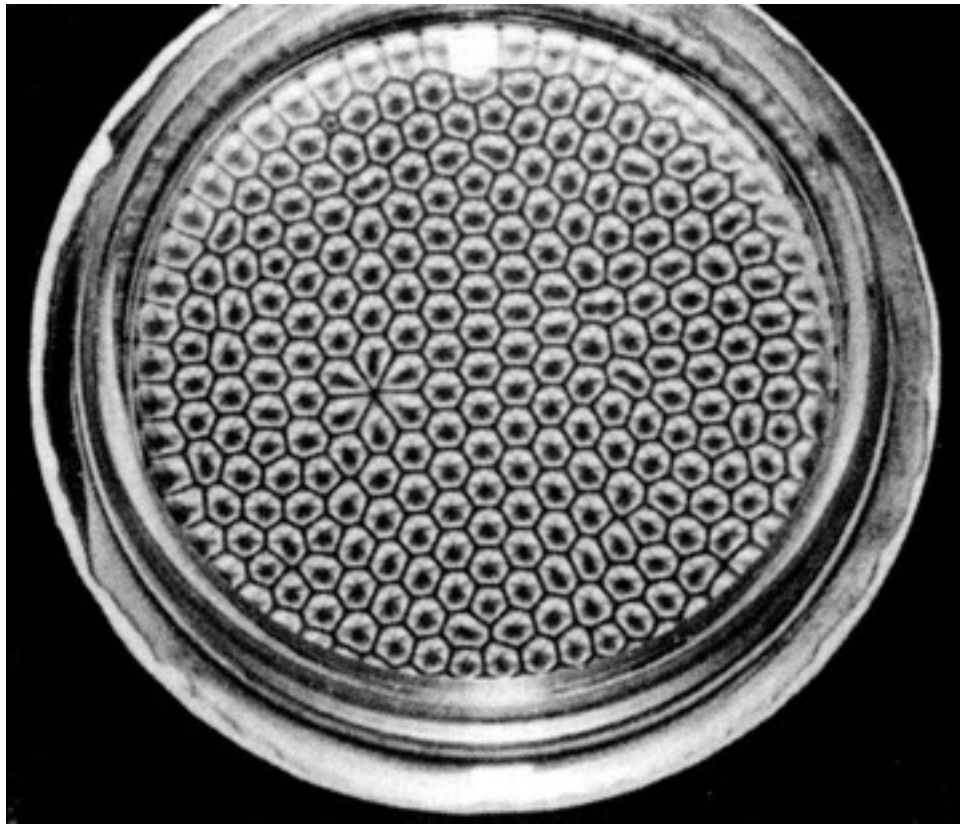
Les structures dissipatives
produisent des
avalanches de *bifurcations*

Les bifurcations

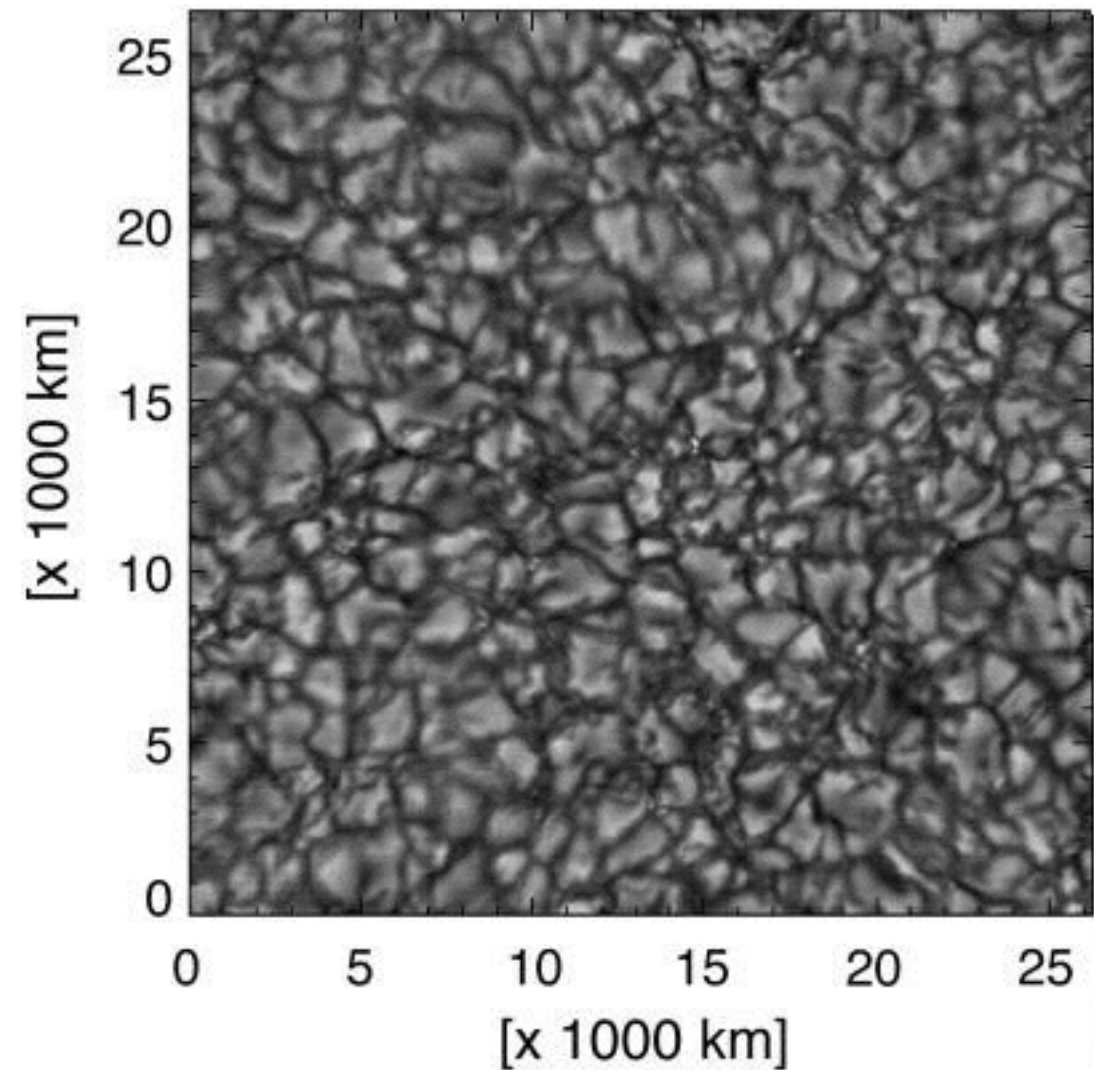
- Amplification d'une fluctuation
- Apparition de contraintes (ruptures de symétrie)
- Apparition et mémorisation d'information
- Invariance par changement d'échelle (lois de puissance dite en $1/f$)

L'auto-organisation provoque des avalanches de bifurcations (arborescences fractales)

Invariance par changement d'échelle



Cellules de Bénard



Granulation solaire

Les structures dissipatives effectuent des cycles de transformation

Avalanches d'étoiles

La masse initiale des étoiles est distribuée suivant une **loi de puissance**



Les structures dissipatives effectuent des cycles de transformation

Avalanches de
tourbillons

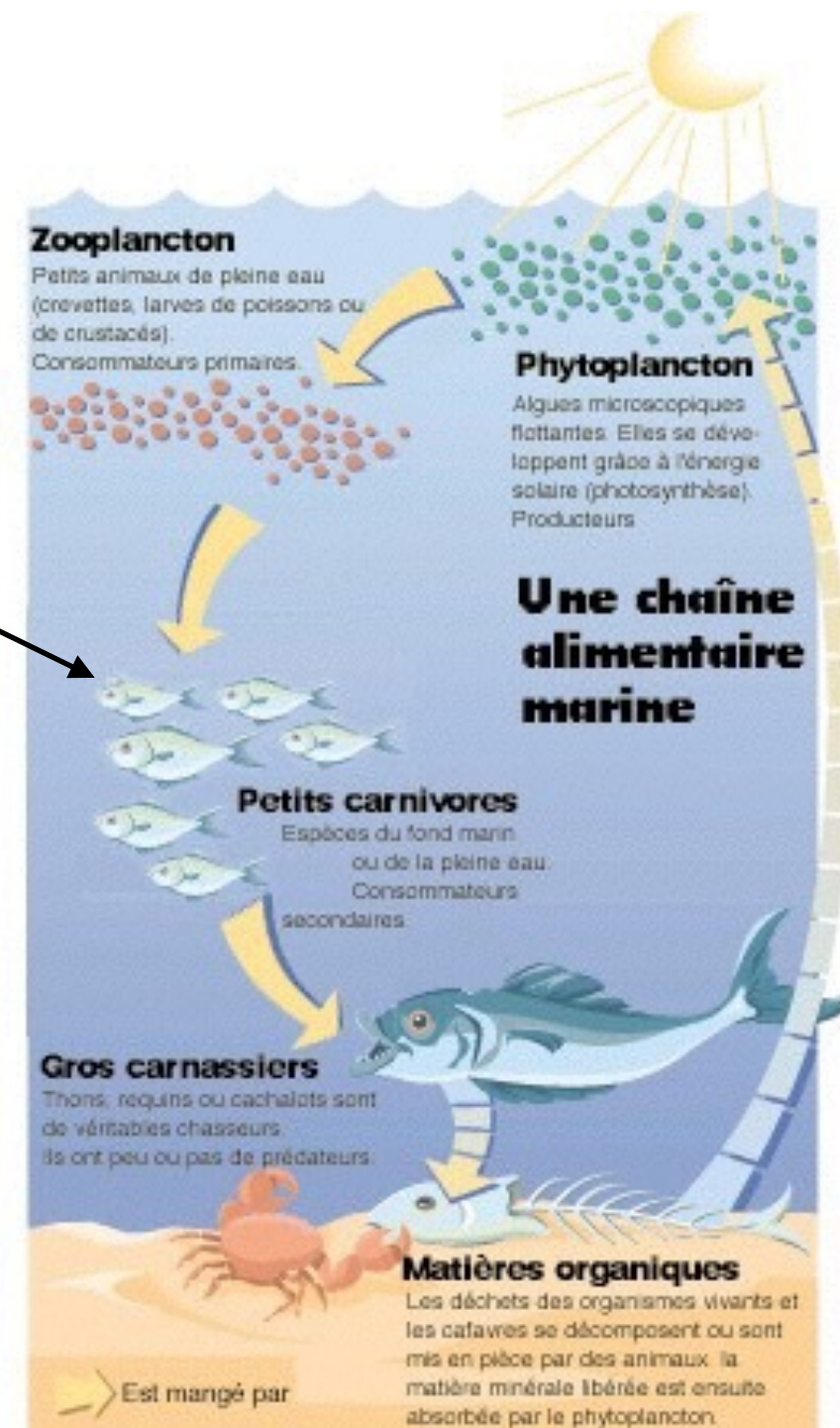
À petite échelle,
l'amplitude des
tourbillons suit une **loi
de puissance** (loi de
Kolmogorov)



Les structures dissipatives effectuent des cycles de transformation

Avalanches de poissons

L'amplitude des extinctions d'espèce suivent une loi de puissance



L'extinction des espèces

Une espèce modifie son environnement en:

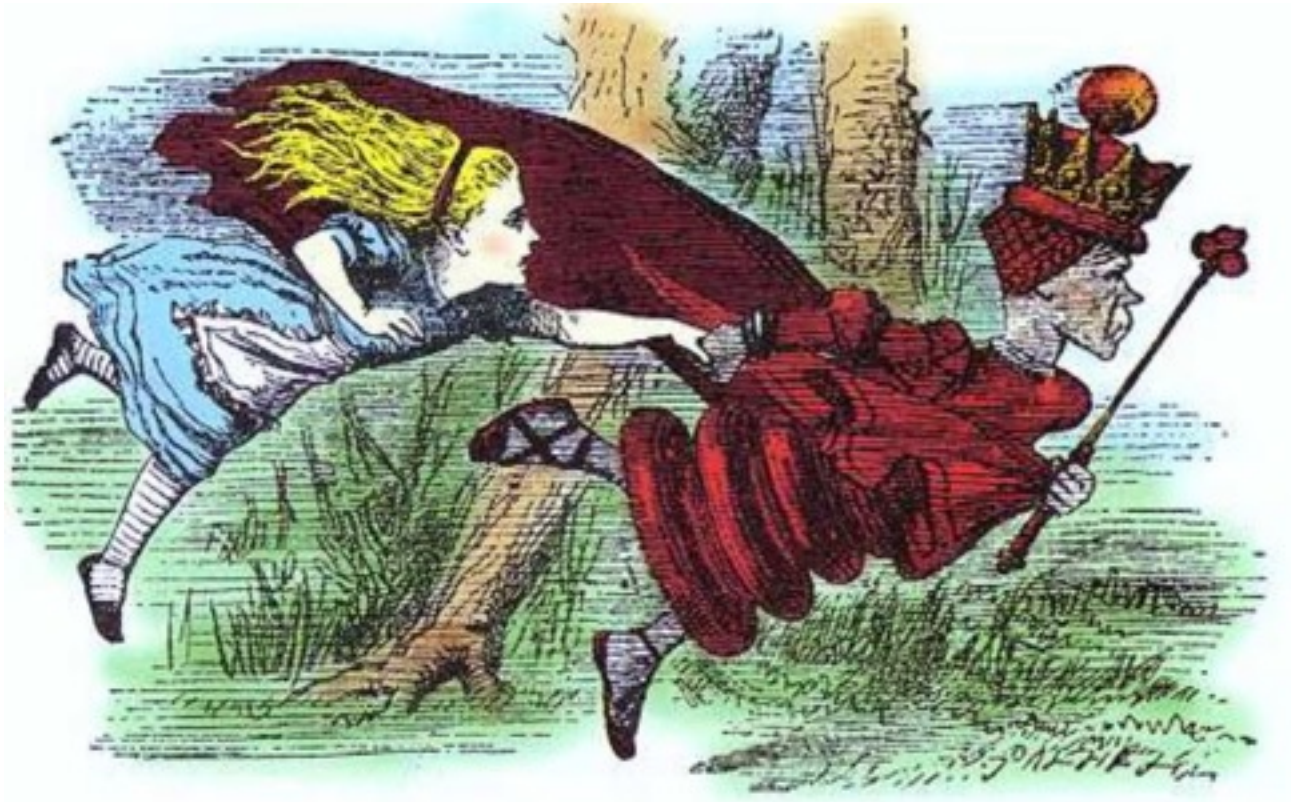
- épuisant ses ressources naturelles
- dégradant son environnement
- faisant concurrence à d'autres espèces

Plus vite l'espèce s'adapte à son environnement, plus vite ce dernier évolue et plus vite l'espèce doit se réadapter.

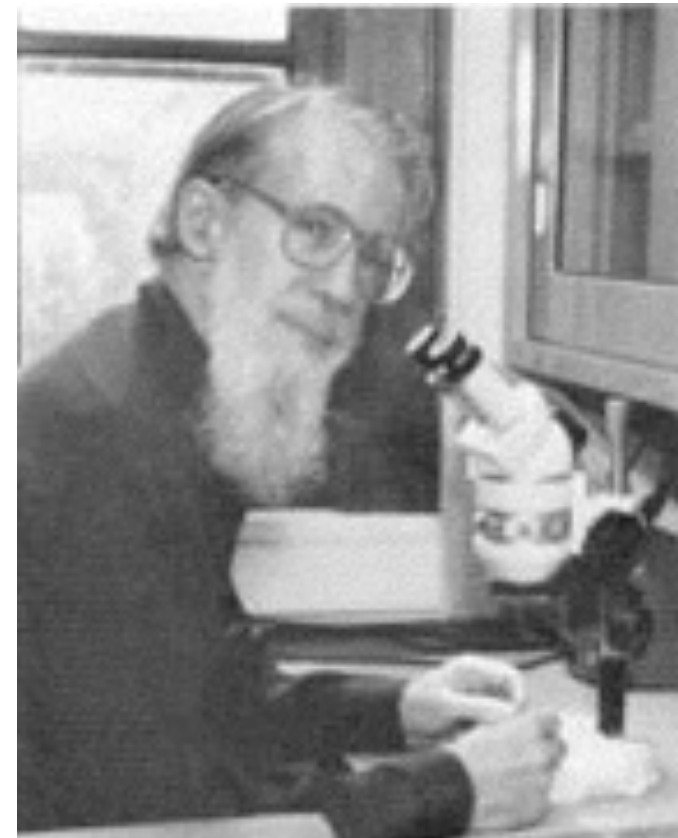
C'est l'effet « **reine rouge** ».

Lorsqu'une espèce n'est plus capable de s'adapter assez vite, elle s'éteint. C'est le phénomène d'*extinction des espèces*.

L'effet « reine rouge »



« Ici, il faut courir le plus vite possible pour rester en place »



Leigh van Valen
(1973)

(Lewis Carroll: « De l'autre côté du miroir »)

Application à l'économie
et aux sciences sociales

Ludwig Boltzmann

La lutte pour la
vie est une lutte
pour dissiper
l'énergie (1905)



Ludwig Boltzmann
(1844-1906)

Frederick Soddy

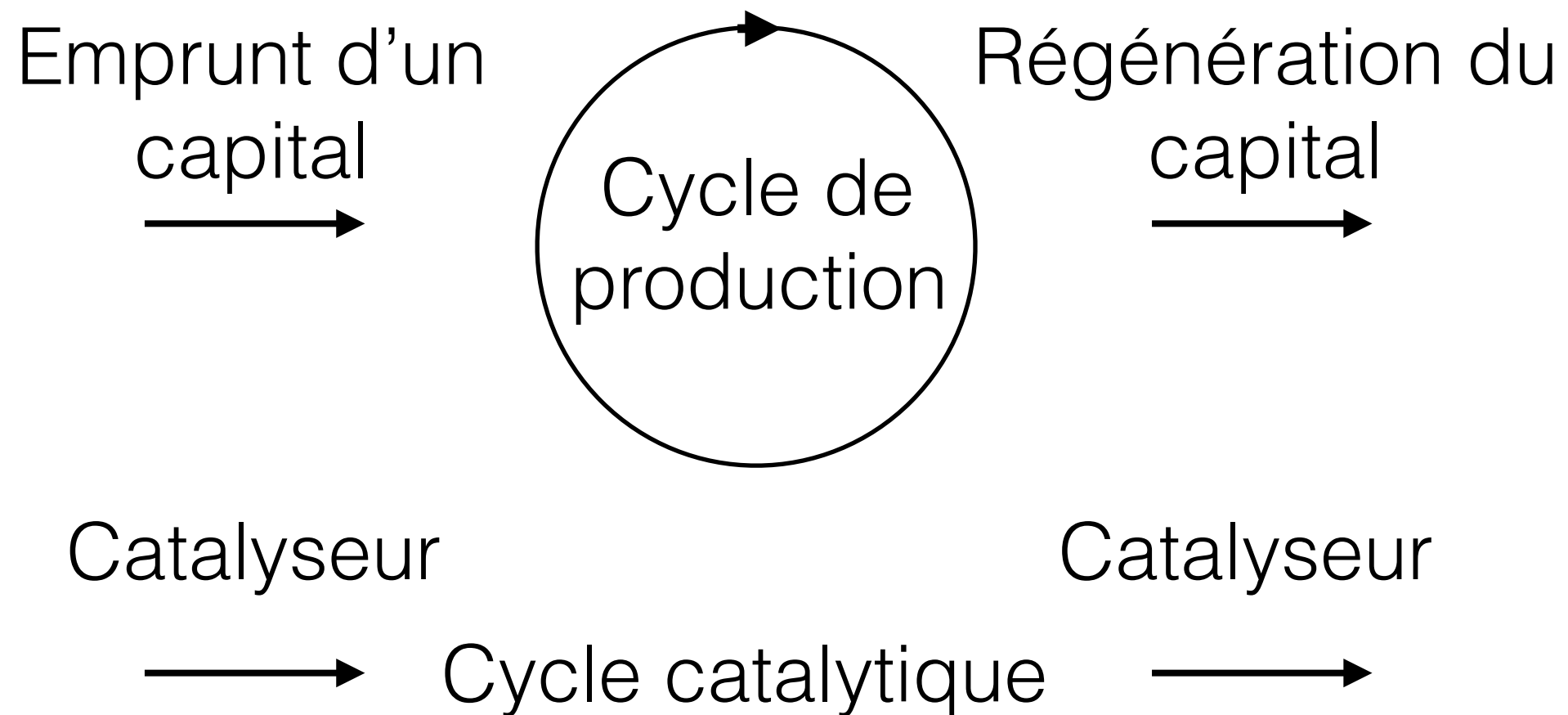
Le bien-être des
individus se mesure
en termes du flux
d'énergie qu'ils
dissipent (1926)



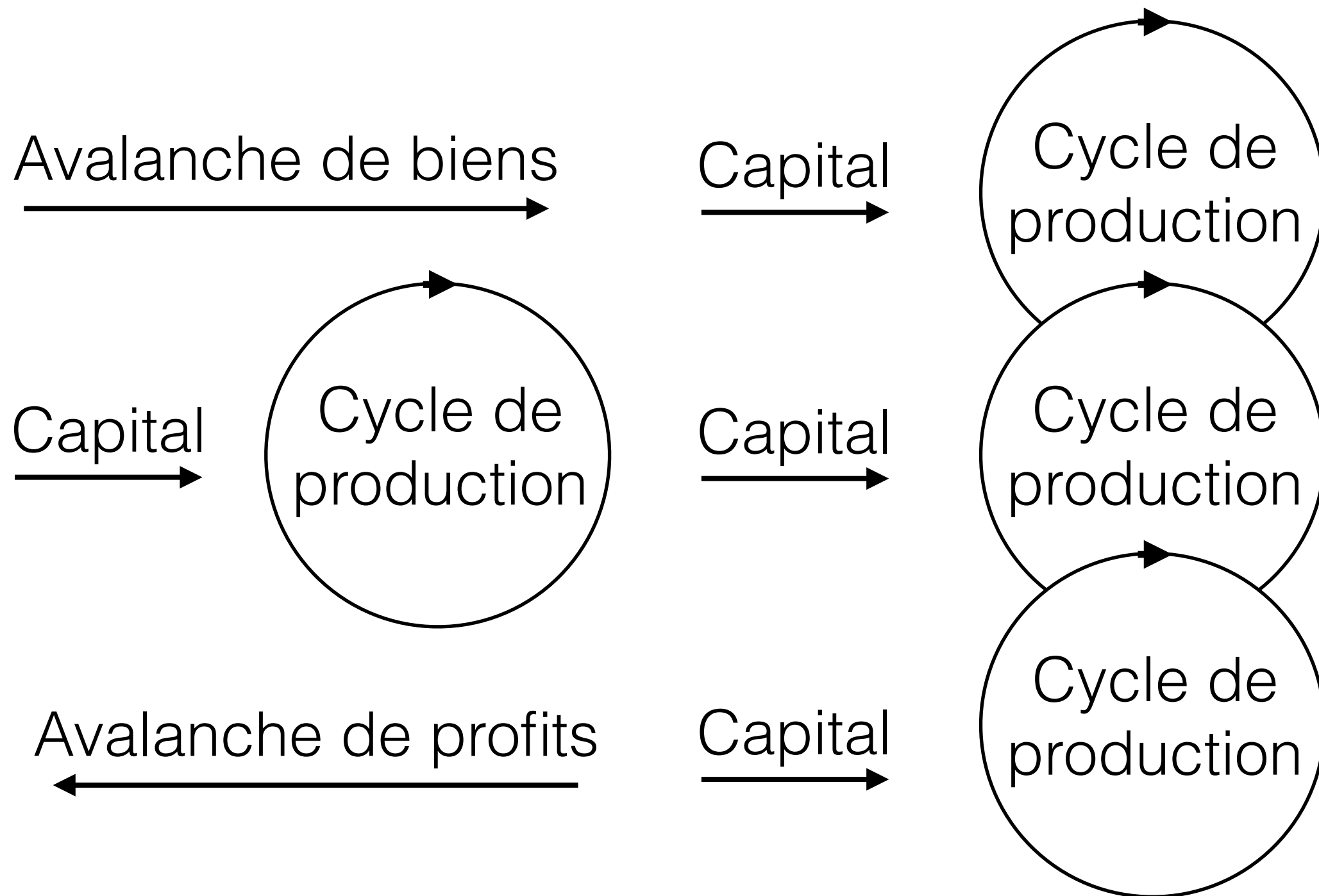
Frederick Soddy
(1877-1956)

Les sociétés tendent à maximiser leur dissipation d'énergie

Les cycles de production



Cycles autocatalytiques



Évolution de l'économie

1959: Les
fluctuations
d'amplitude du
marché suivent
une loi de
puissance



Benoît Mandelbrot
(1924-2010)

Avalanches de richesses

La distribution des richesses suit une loi de puissance.

Loi de Pareto:

20% de la population possède 80% des richesses

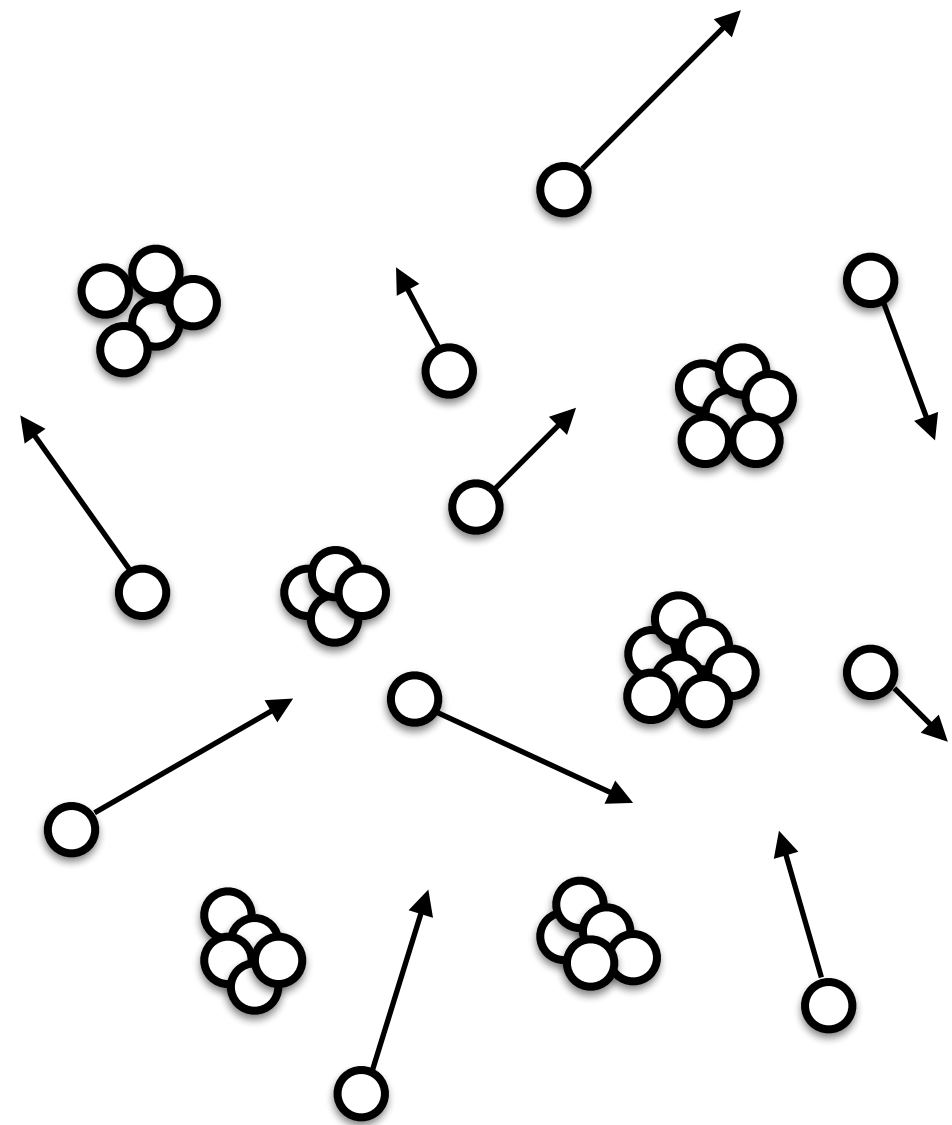


Vilfredo Pareto
(1848-1923)

Condensation des richesses

La richesse tend à se condenser en deux phases:

- Une phase « gazeuse » constituée de gens riches jouissant d'énergie et de liberté.
- Une phase « liquide » dans laquelle sont emprisonnés des gens pauvres privés d'énergie et de liberté.



Le processus de criticalité auto-organisée

**Per Bak, Chao Tang,
Kurt Wiesenfeld
(1987):**

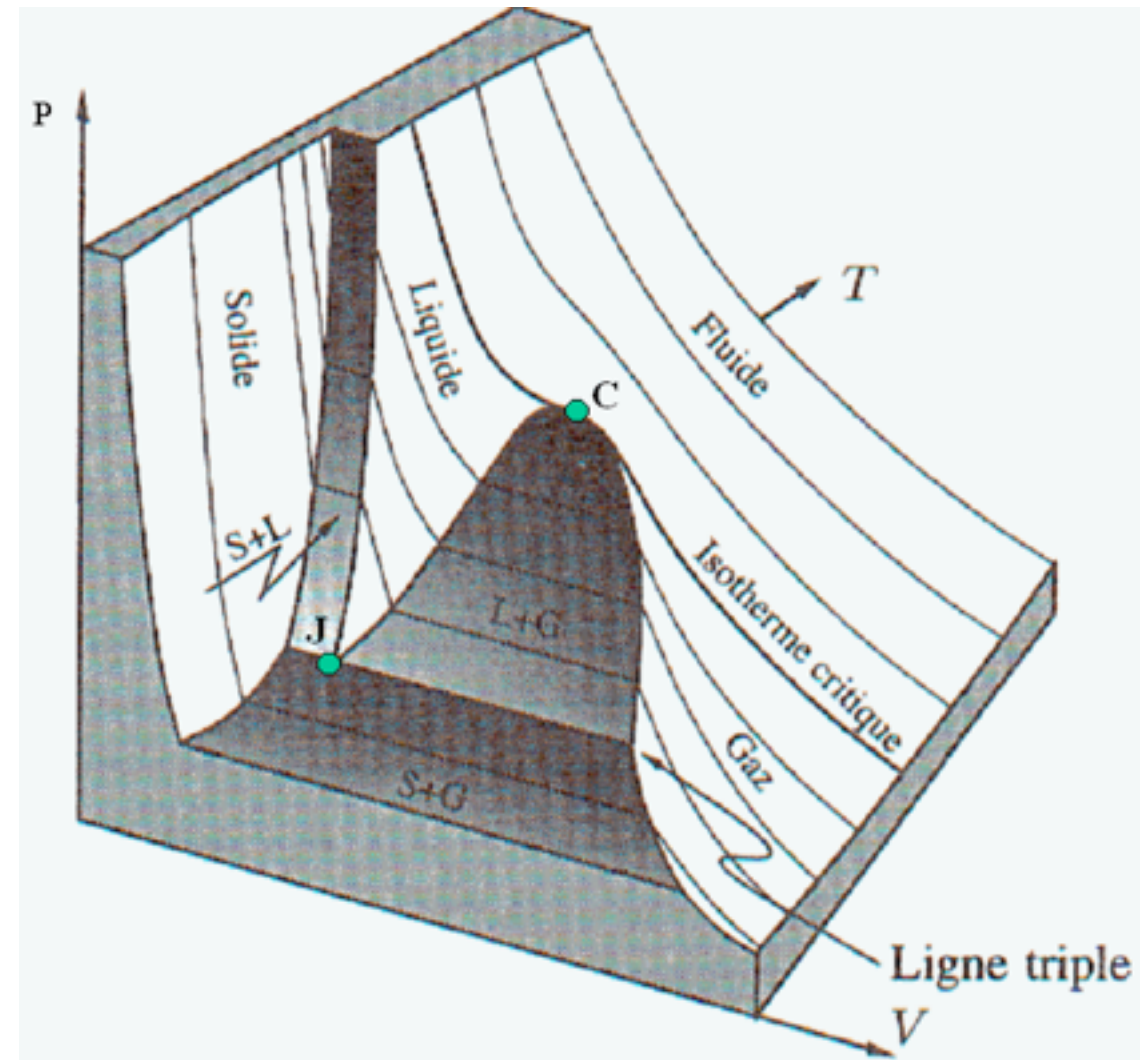
Les structures
dissipatives s'auto-
organisent comme des
transitions de phase
continues au voisinage
d'un point critique.



Per Bak
(1948-2002)

Exemple de point critique

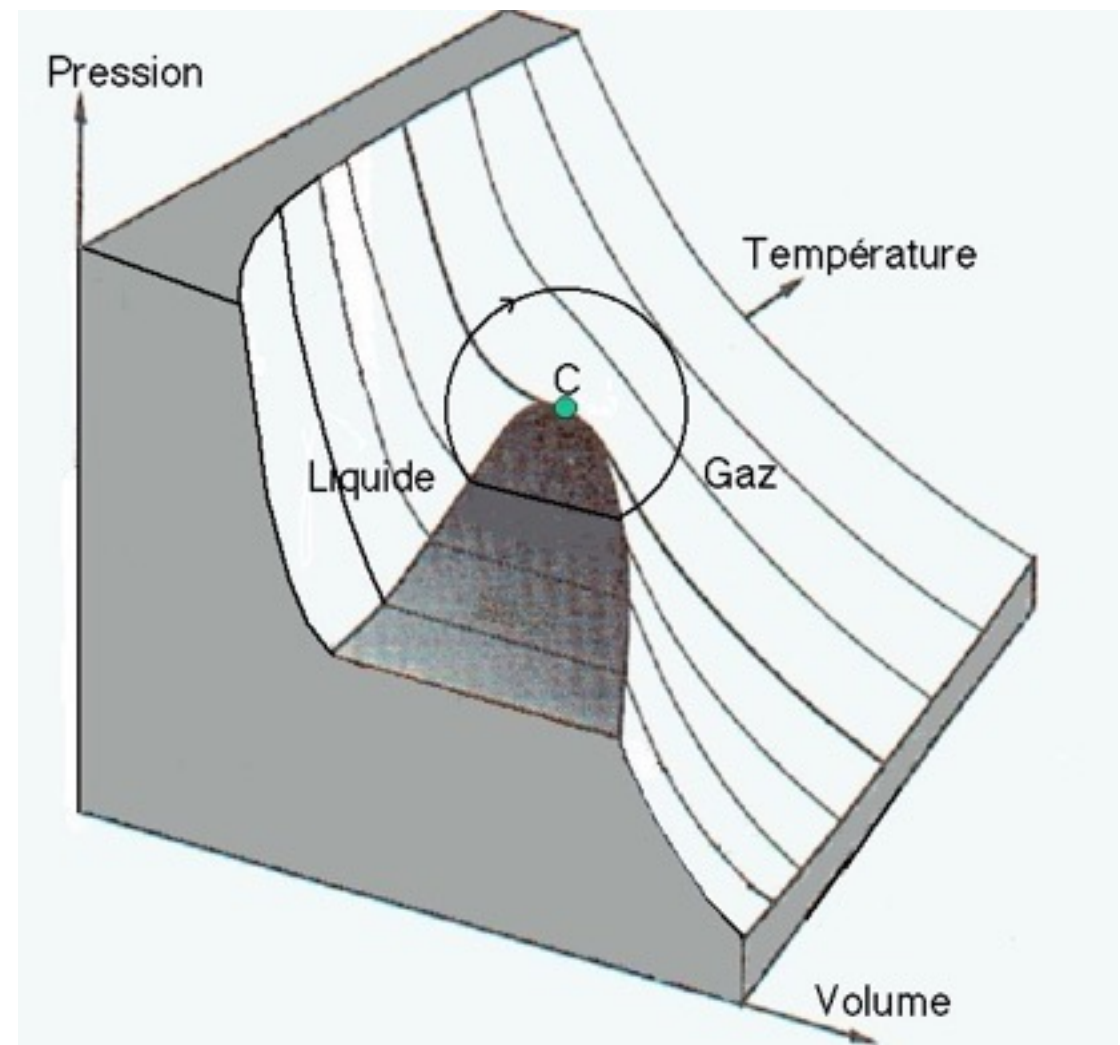
Il existe une température critique au delà de laquelle la transition liquide vapeur devient continue.



Transitions de phase

Cycle autour d'un point critique

La transition est continue dans la zone claire, abrupte dans la zone sombre (condensation).



Autre exemple de point critique: le point de Curie

$$T > T_c$$

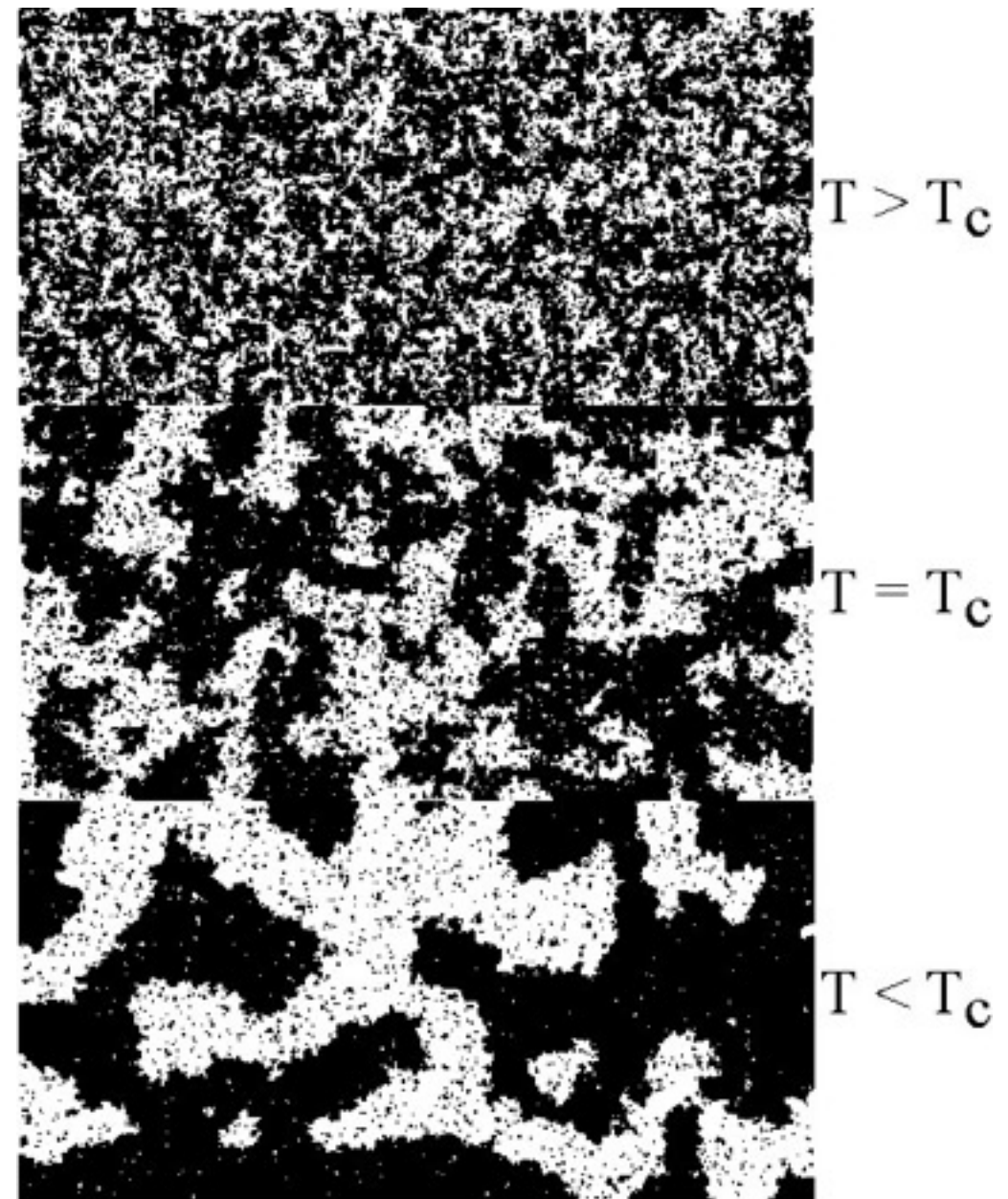
Paramagnétisme

$$T < T_c$$

Ferromagnétisme

(hystéresis)

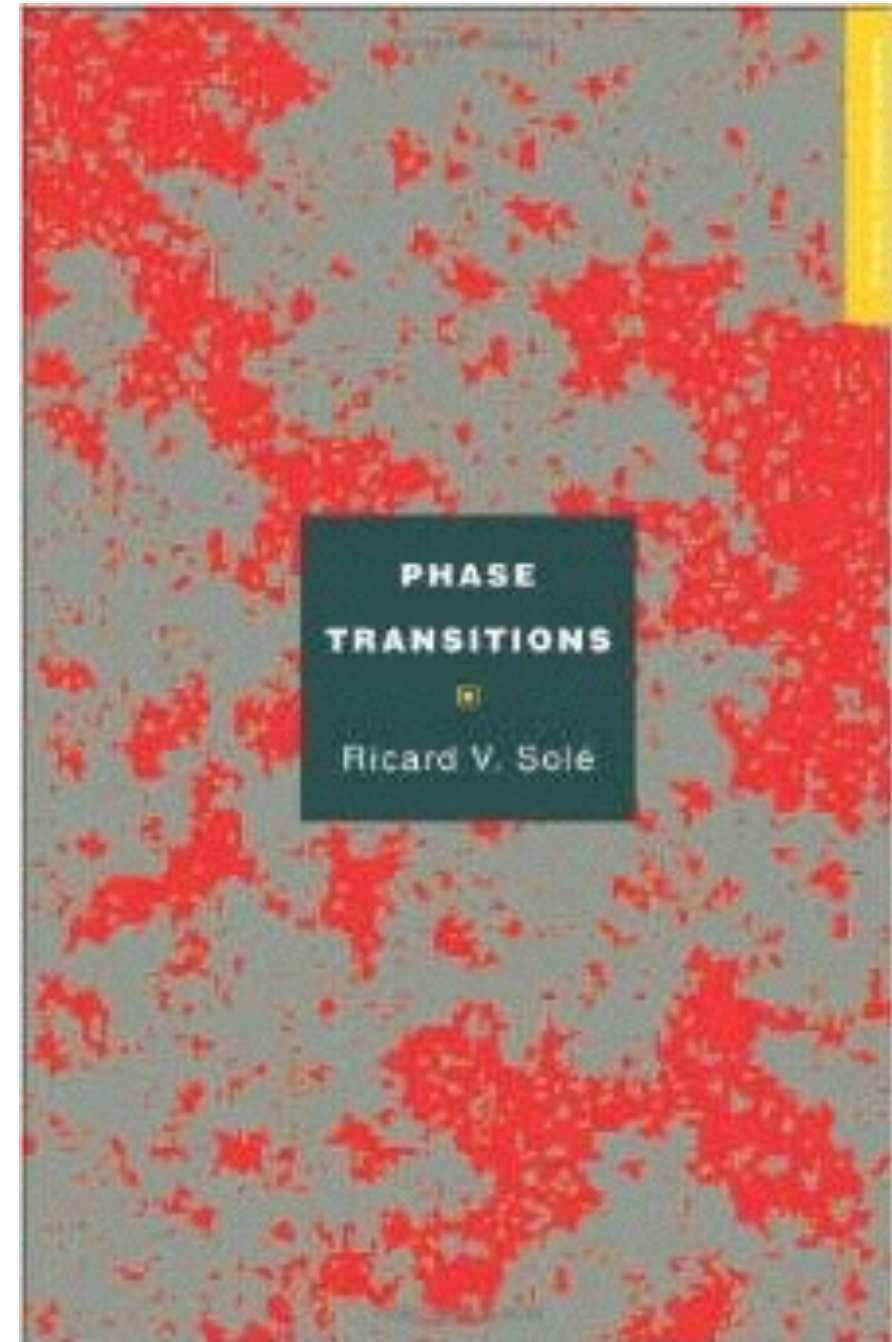
Modèle d'Ising →



Généralisation

Quelques têtes de chapitre:

- Phase change
- Life origins
- Virus dynamics
- Gene networks
- Ecological shifts
- Social collapse



Application à l'économie

Énergie U ...Flux d'énergie

Entropie S ...Flux monétaire (probabilités de transaction)

Température $T = \partial U / \partial S$...Potentiel économique (pouvoir d'achat) de la monnaie (inverse du coût de l'énergie)

Volume V ...Flux de la production

Pression $P = \partial U / \partial V$...Potentiel économique (pouvoir de vente) de la production

Equilibre de l'offre et de la demande

En régime stationnaire:

$$dU = PdV - TdS = 0$$

$$PdV = TdS$$

$$\text{Demande} = \text{Offre}$$

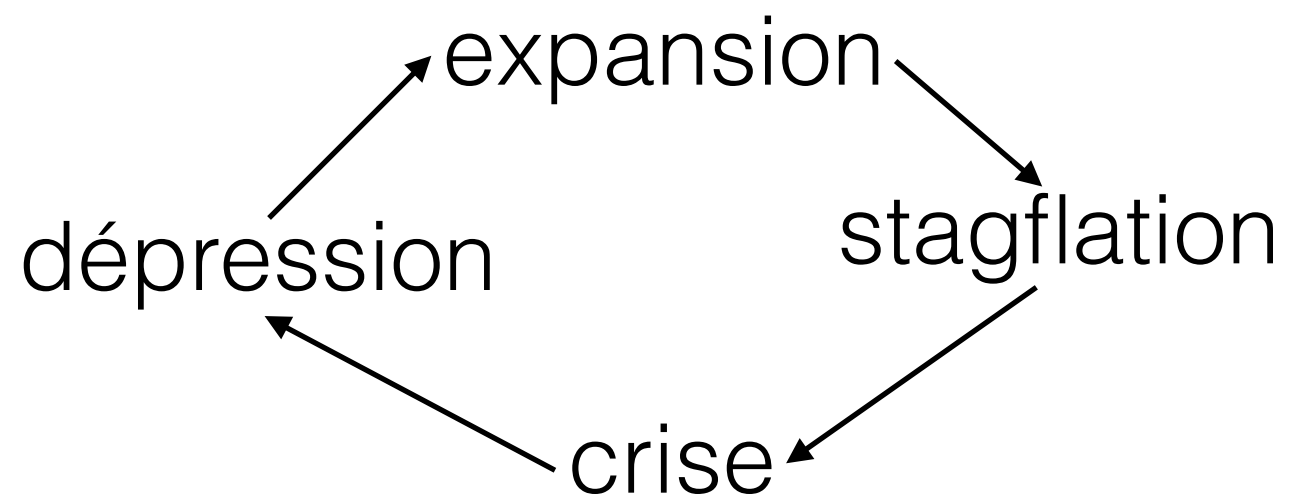
F. Roddier, Res-Systemica, vol. 14 (2015), article 01

La thermodynamique des transitions économiques
<https://www.youtube.com/watch?v=5-qap1cQhGA>

Cycles économiques

Peter Turchin & Sergey A.
Nefedov

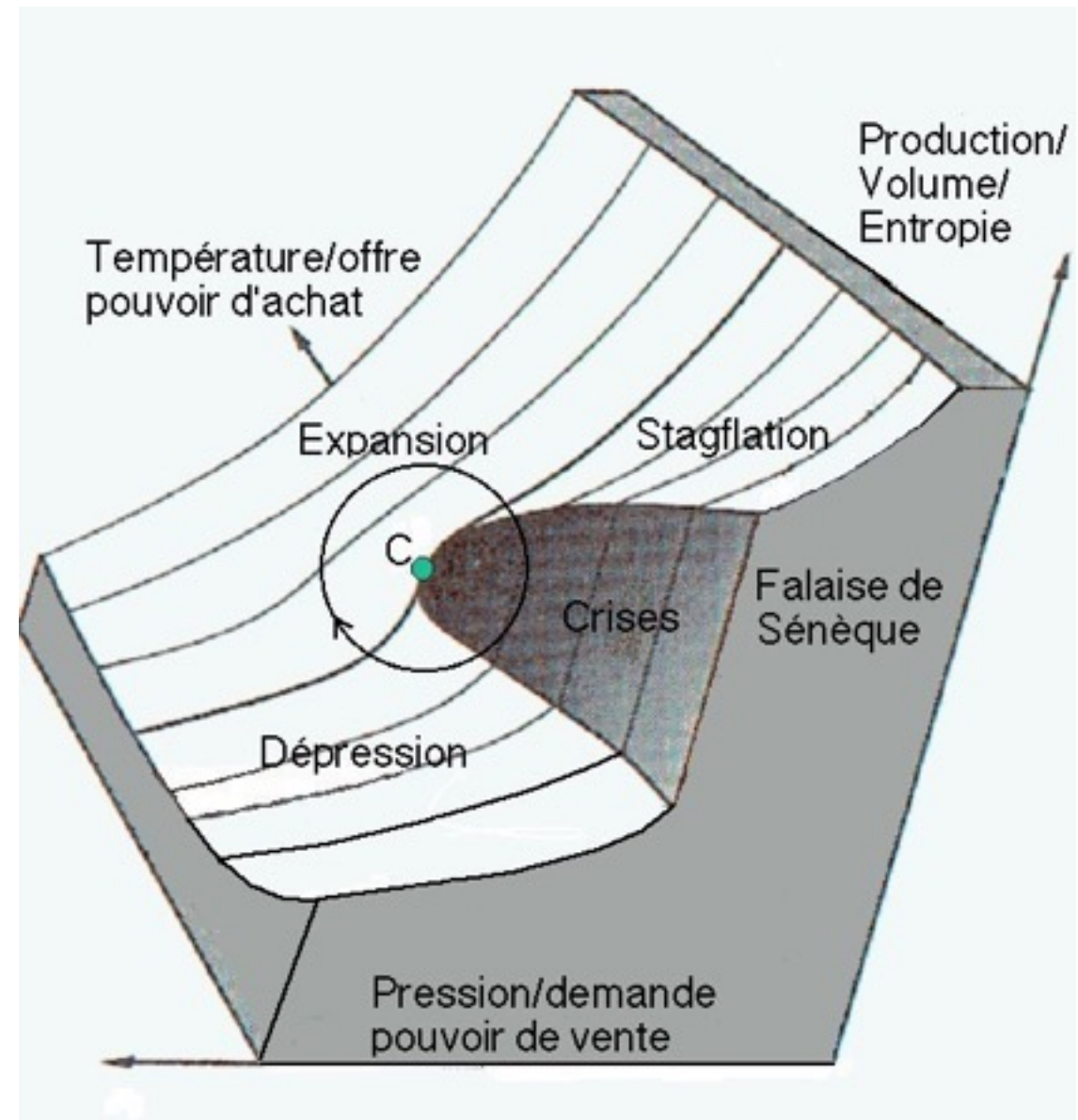
mettent en évidence 8
cycles économiques très
semblables dans 4 pays
différents et à 6 époques
différentes:



Secular cycles
(Princeton, 2009)

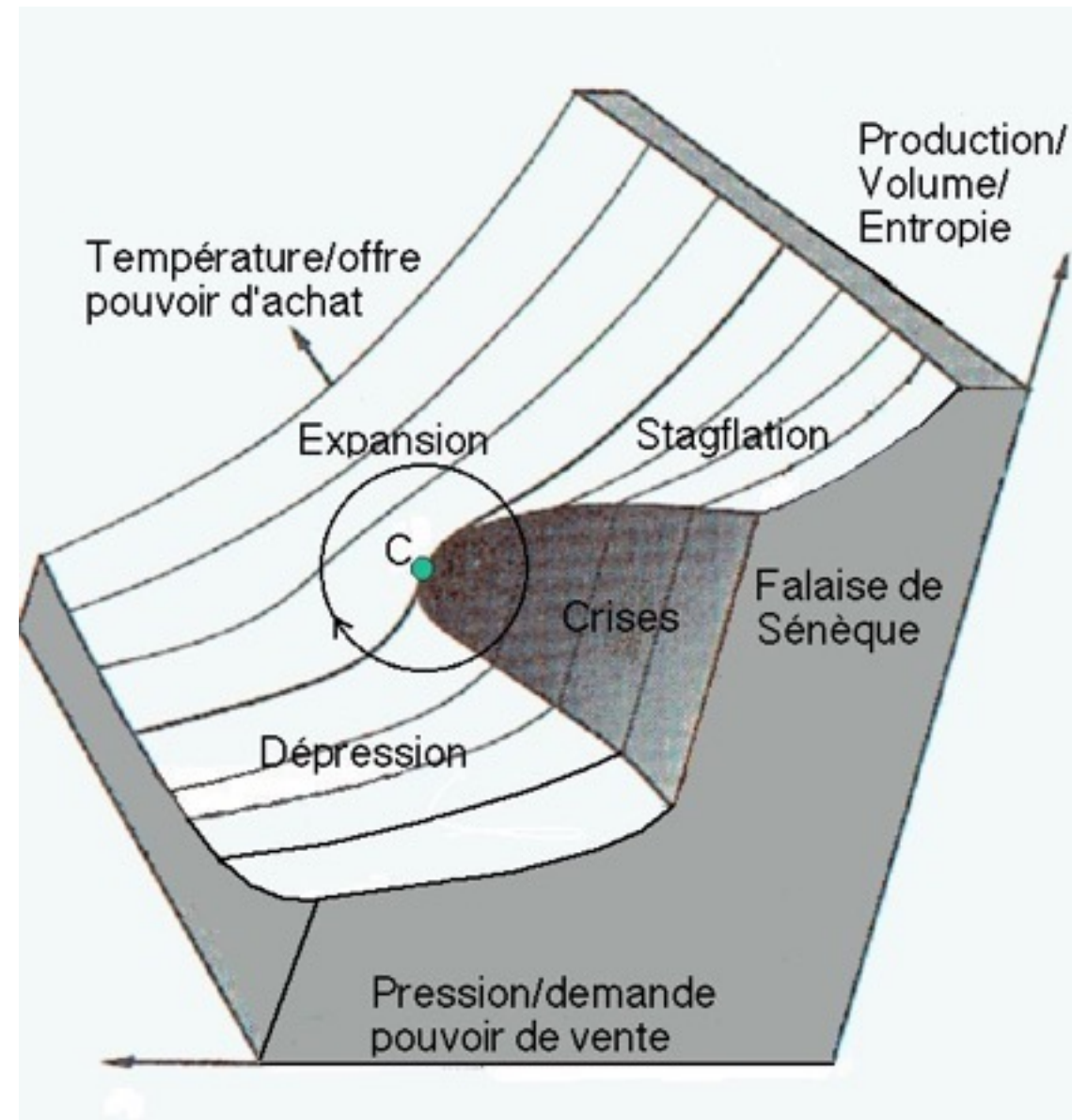
Interprétation

Les cycles économiques apparaissent comme des cycles autour d'un point critique



Implication

Plus l'économie se mondialise, plus le cercle s'agrandit, plus la chute sera haute (cf. empire romain)



Cascades de cycles

L'évolution historique apparaît comme une cascade de cycles. À chaque cycle correspond une phase de crise sous forme de guerre ou de révolution.

L'amplitude des crises suit nécessairement une loi de puissance. Les grandes crises apparaissent comme des *effondrements de civilisation*.

L'effondrement des civilisations

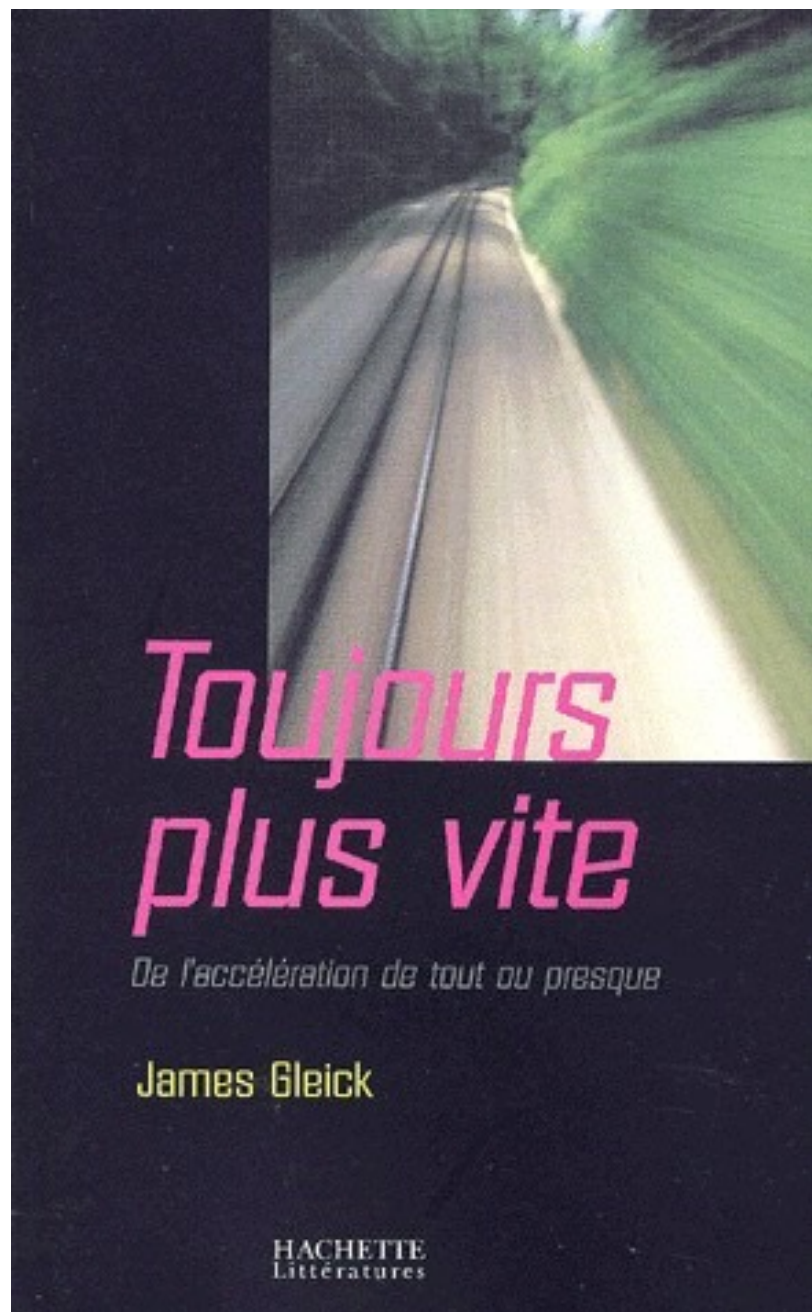
Une civilisation modifie son environnement en:

- épuisant ses ressources naturelles
- dégradant son environnement
- faisant concurrence à d'autres civilisations

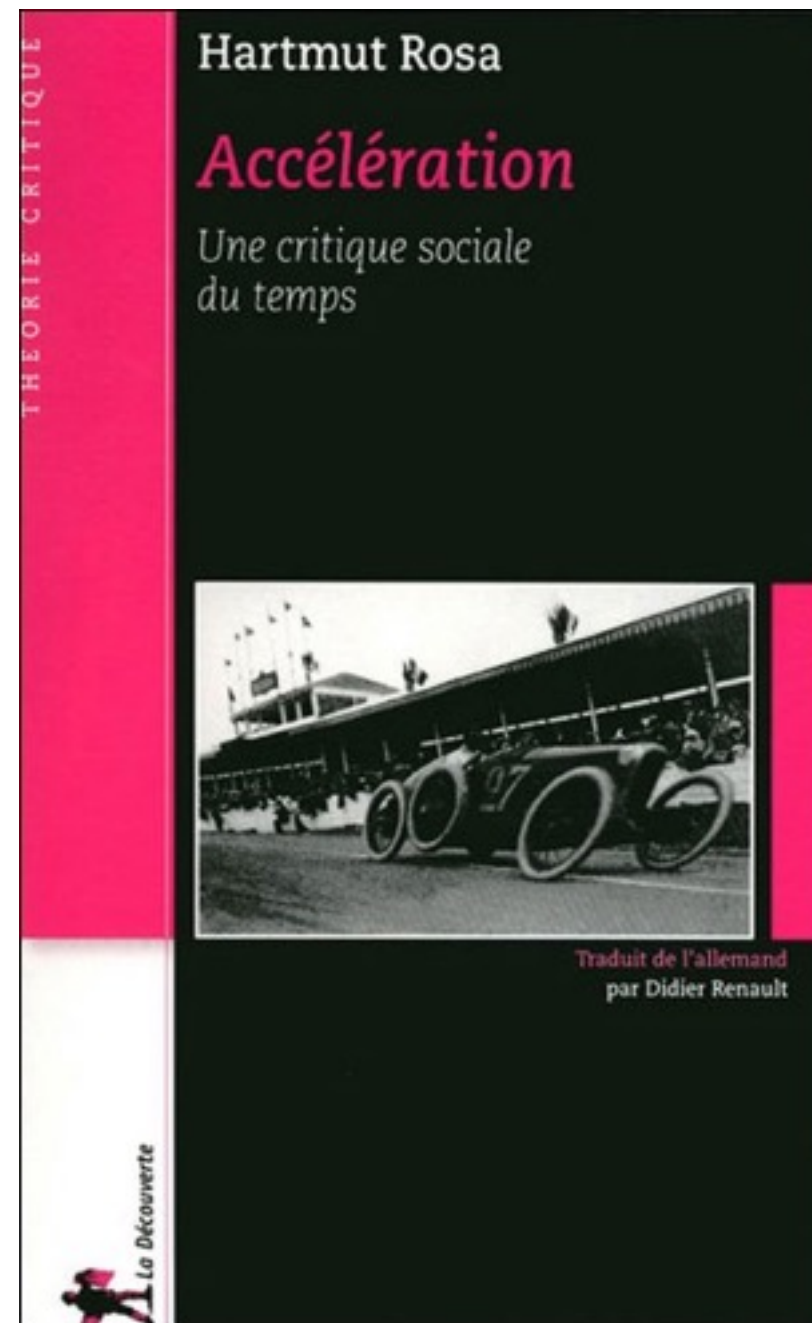
Plus vite une civilisation s'adapte à son environnement, plus vite ce dernier évolue et plus vite la civilisation doit se réadapter. C'est l'effet « **reine rouge** ».

Lorsqu'une civilisation n'est plus capable de s'adapter assez vite, elle s'effondre. C'est le phénomène d'*effondrement des civilisations*.

L'effet « reine rouge »



2001



2010

Preuves archéologiques

« L'histoire *s'accélère* [...] la population ne cesse de croître. [On assiste à] une montée *en dents de scie* des inégalités sociales [...] à une alternance, selon les régions, de sociétés fortement inégalitaires et de sociétés qui le sont moins. [...] Cette alternance [...] concerne toute l'Europe.

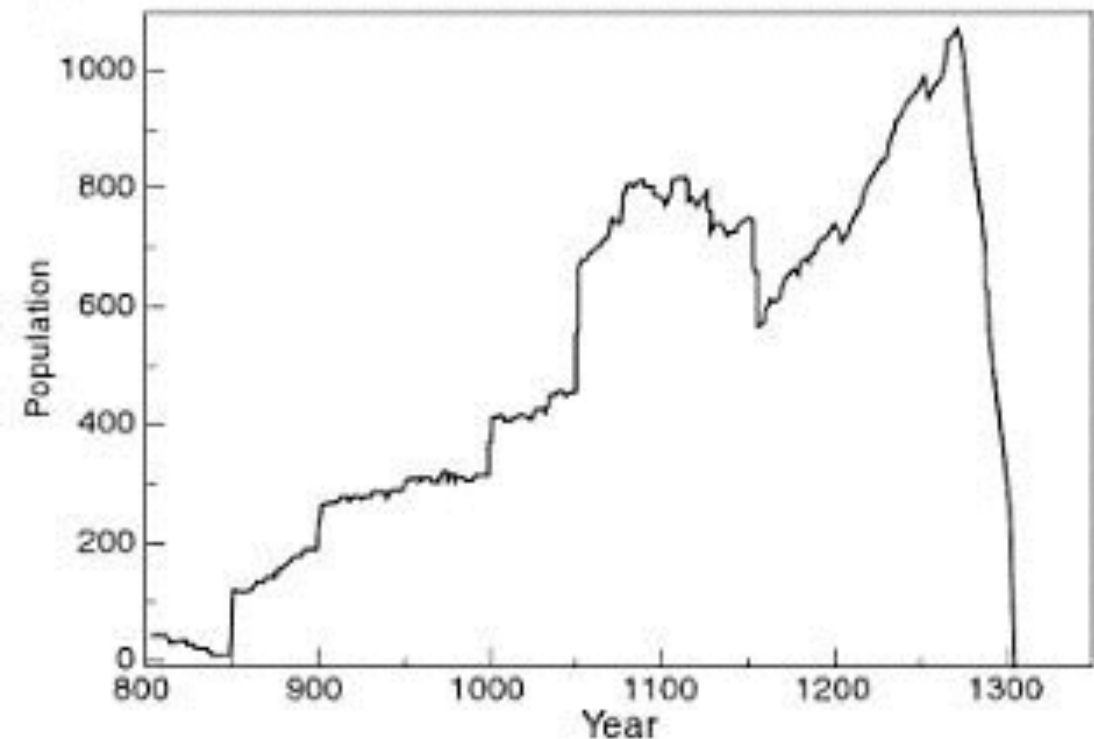
Jean-Paul Demoule, On a retrouvé l'Histoire de France
(Robert Laffont, 2012)

Civilisations antiques

Dans l'antiquité, de très nombreuses civilisations se sont effondrées. Parmi les exemples les plus connus: les Pascuans, les Anasazis, les Mayas, les Sumériens.



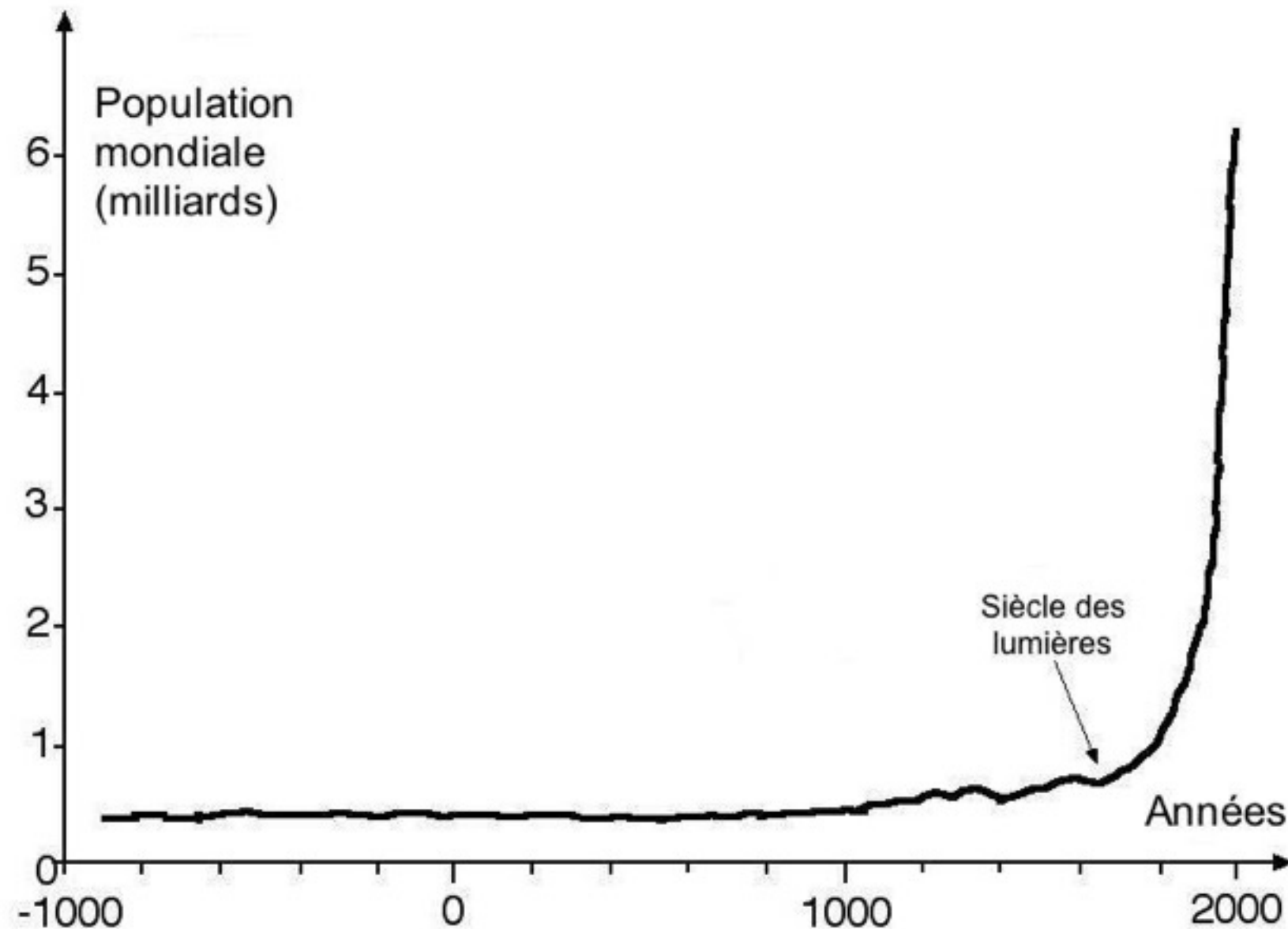
Île de Pâques



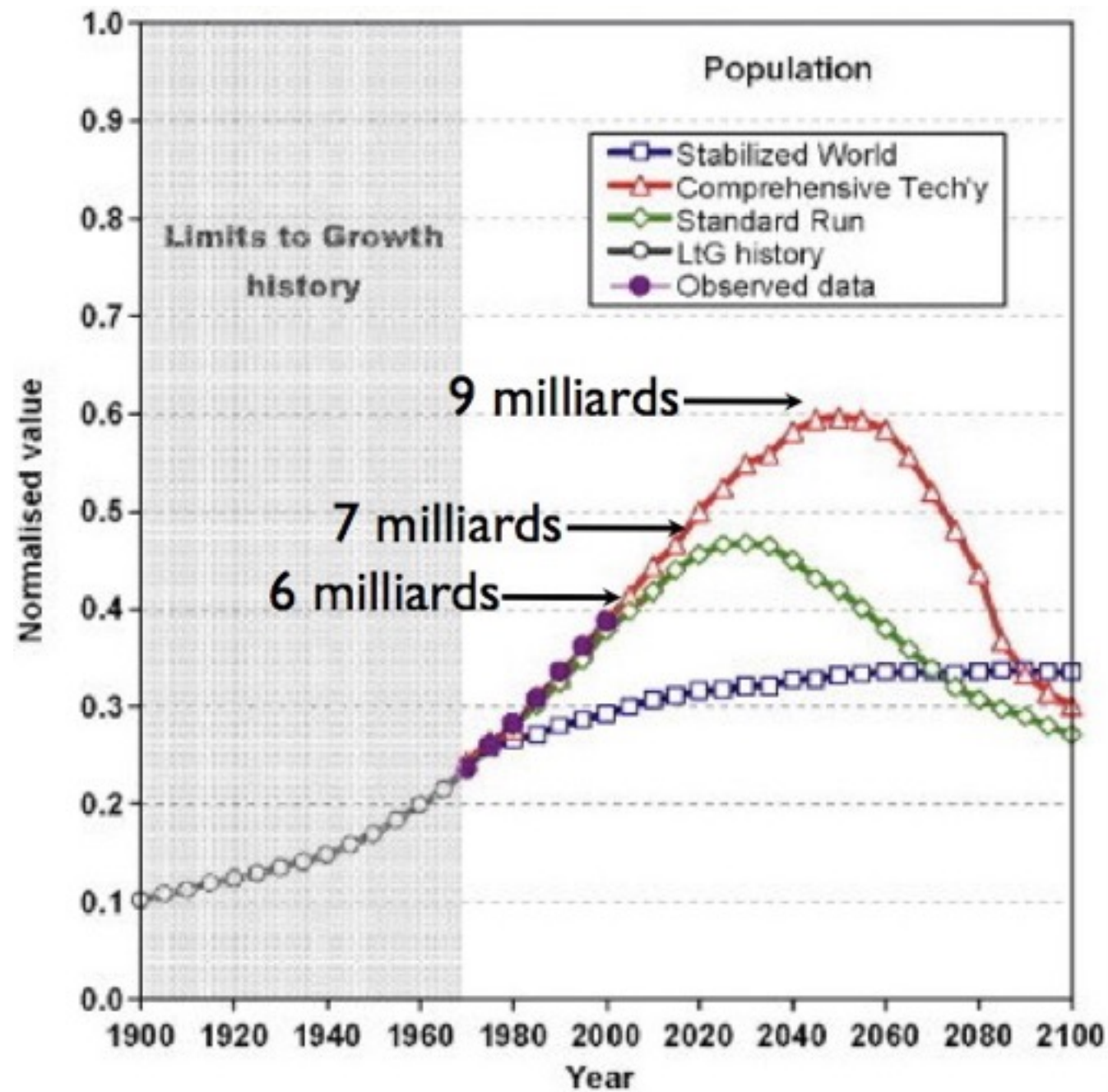
Population Anasazi

L'avenir de notre civilisation

La croissance démographique mondiale



Prévisions du Club de Rome



Une nouvelle culture

L'évolution de l'homme n'est plus génétique mais culturelle:

- Extinction d'espèces → nouveaux gènes
- Effondrement de civilisations → nouvelles cultures

On peut s'attendre à des transformations de même ampleur que celles observées lors du passage du paléolithique (civilisations de chasseurs-cueilleurs) au néolithique (civilisations d'agriculteurs-éleveurs).

La nouvelle culture

De même que les mammifères existaient avant la fin des dinosaures, de même les « germes » de nos sociétés futures sont déjà là, mais la culture dominante les empêchent de se développer.

Une nouvelle culture implique:

- une prise de conscience de l'état de la société.
- de nouveaux comportements socio-économiques
- de nouvelles formes de transmission culturelle

La nouvelle culture

Elle ne peut résulter que d'une prise de conscience des raisons de l'effondrement: *l'effet reine rouge*.

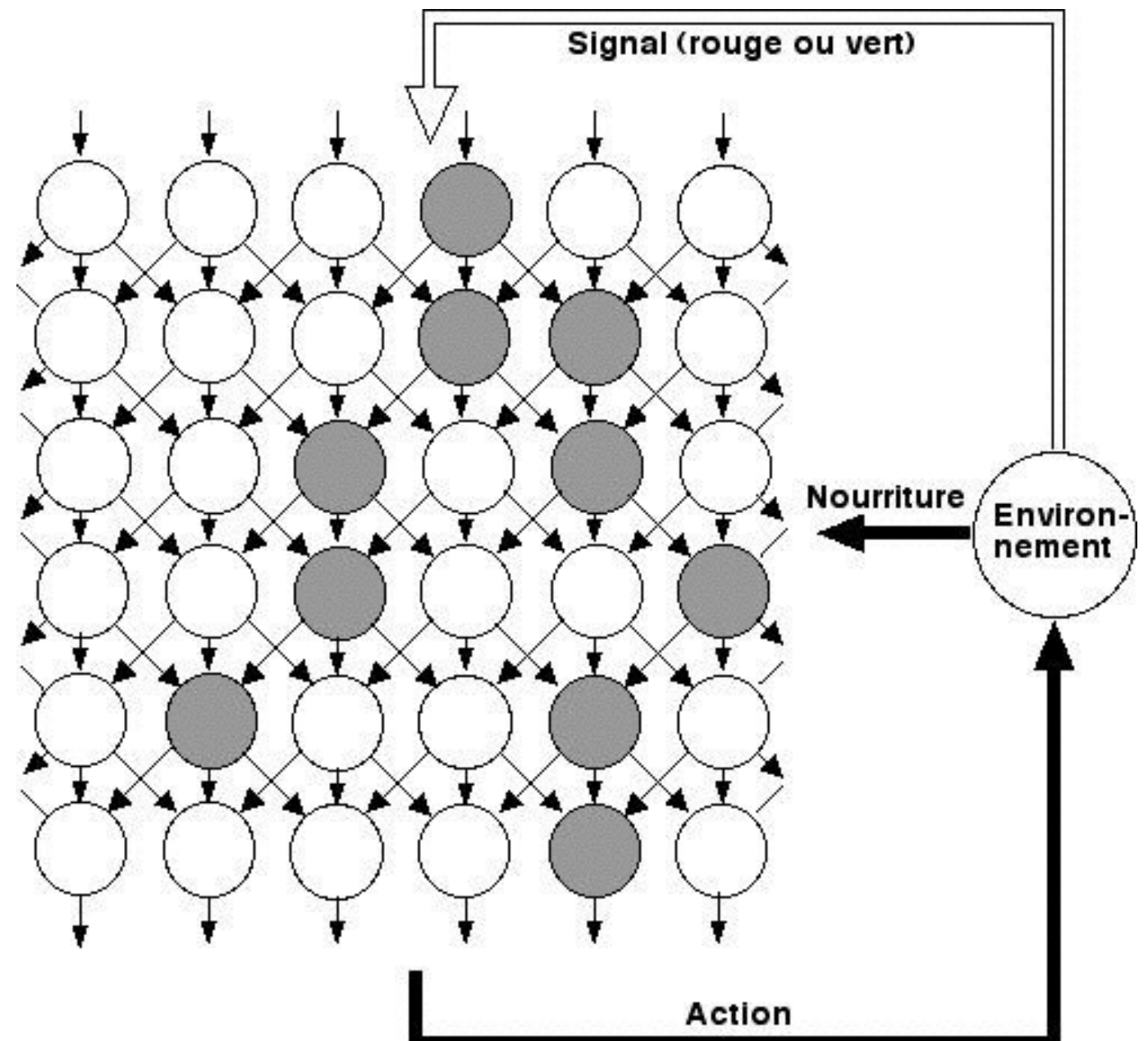
Pour l'éviter il faut courir moins vite, c'est-à-dire ralentir la croissance, mais alors on se fait doubler par les autres:

Un gouvernement ne prend pas le risque de ralentir la croissance économique de son pays que s'il a l'assurance que tous les pays concurrents en font autant. D'où:

La nécessité d'une prise de conscience à l'échelle de la société

Stassinopoulos et Bak

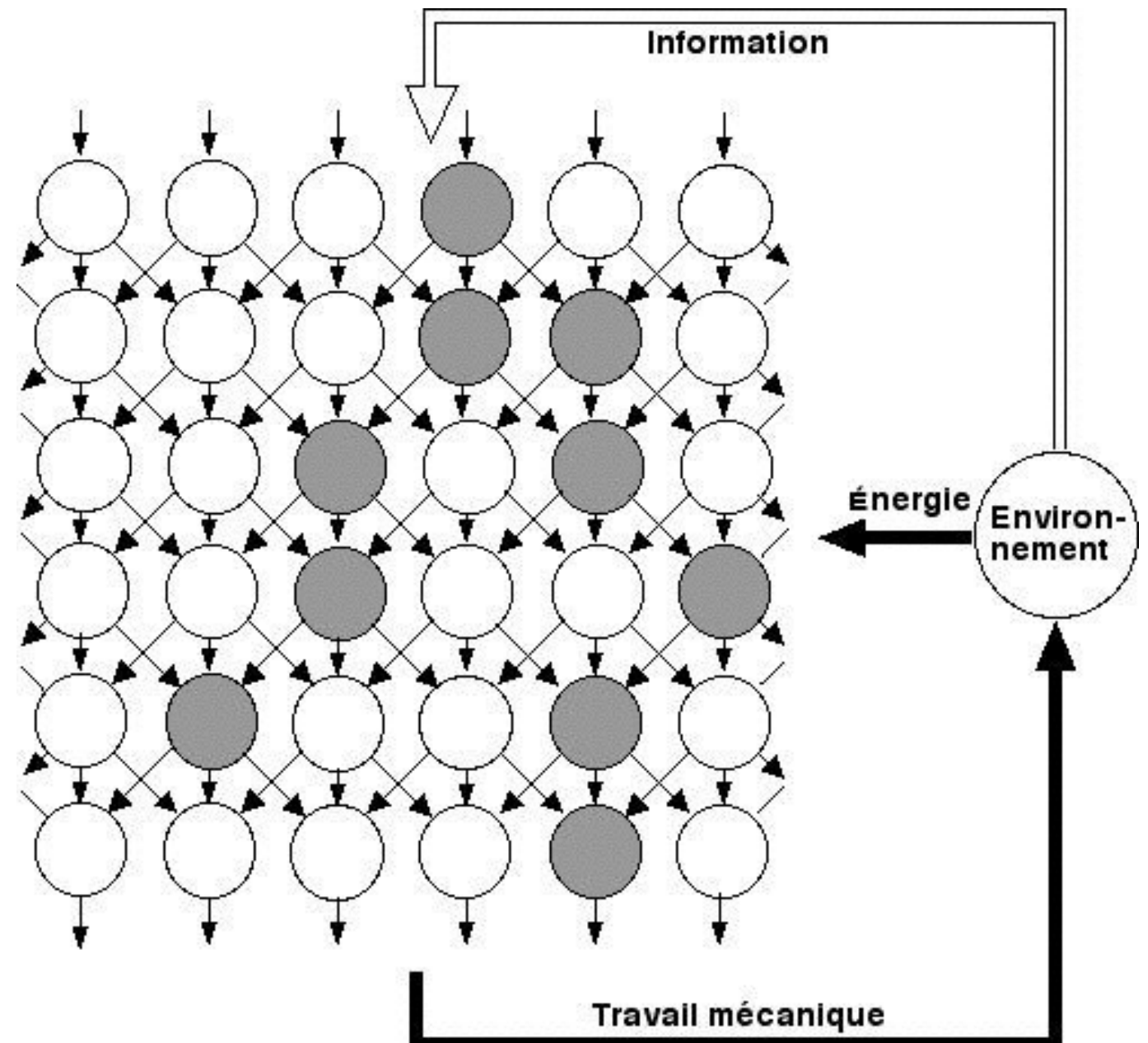
Chaque neurone est une **mémoire** (hystérésis).
L'auto-organisation d'un réseau neuronal est un processus de **criticalité auto-organisée**. La prise de conscience a lieu au *seuil de percolation*.



Le cerveau global

L'ensemble de l'humanité forme un réseau neuronal appelé **cerveau global**.

La prise de conscience a lieu au moment du "réveil" **après** l'effondrement.



Précédents historiques

1200 av. J.C.: fin de l'âge de bronze

C'est l'époque de la guerre de Troie (Cassandre),
Naissance d'une *nouvelle culture*: le monothéisme
(Ancien Testament).

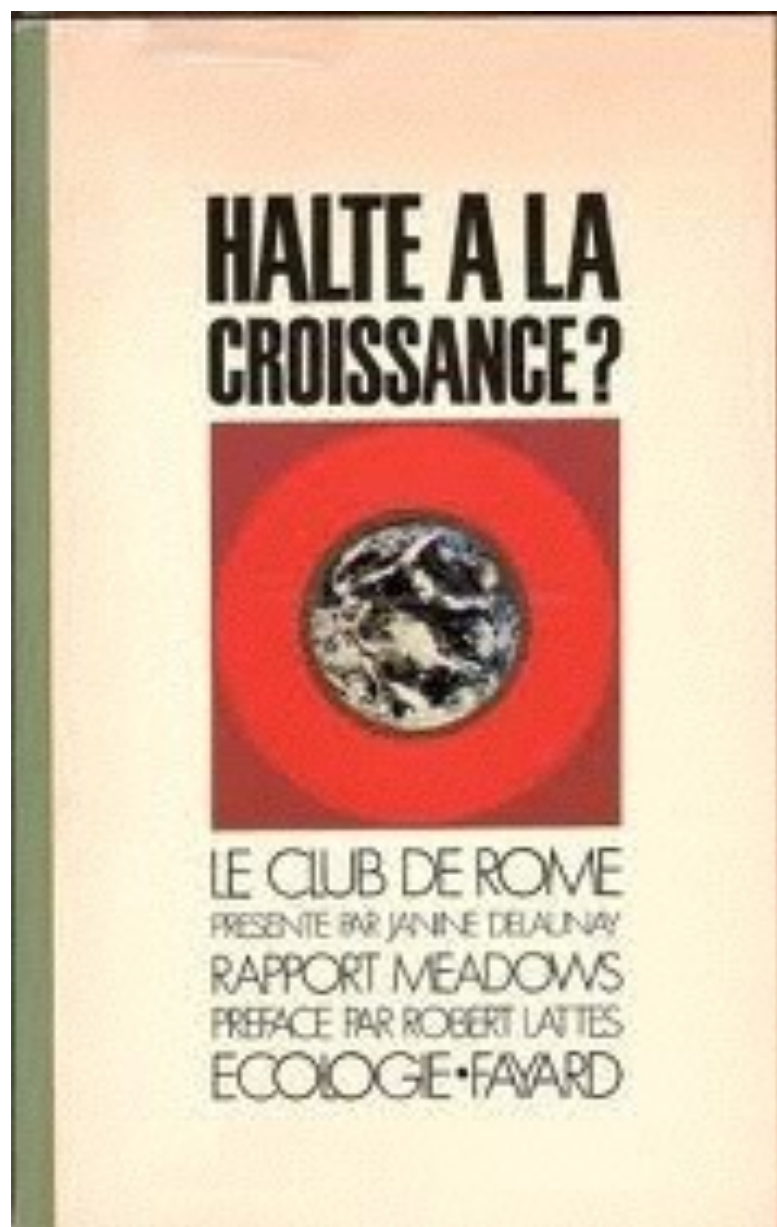
400 après J.C.: fin de l'empire romain

Nouvelle culture: fin du polythéisme (Nouveau
Testament).

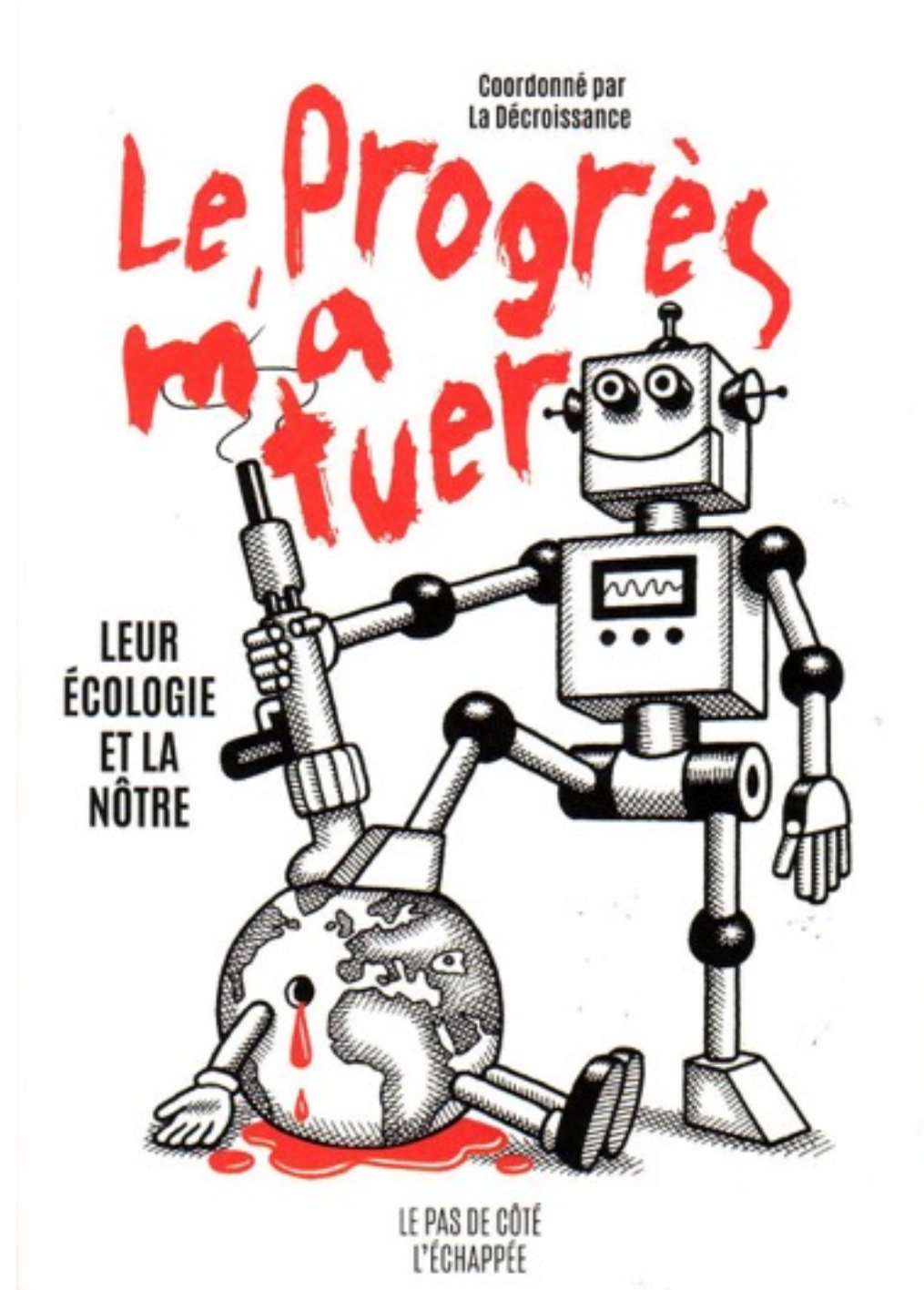
2.000 après J.C.: nouvelle fin de civilisation?

Cycle économique de 1600 ans?

La fin de la culture productiviste



La fin de la culture productiviste



Fin