



**AVENIR CLIMATIQUE**  
PARLONS CLIMAT AVEC ÉNERGIE !

# Science, évolution et perspectives d'avenir

**Une présentation de dynamique des  
systèmes ... ;)**

**Soyez sympa les gars parce que j'en ai  
chié !**



“La vraie physique est celle qui parviendra,  
quelque jour, à intégrer l’Homme total dans  
une représentation cohérente du monde”  
Teilhard de Chardin



# Messages

1. Notre force !
2. RIP !
3. Ce n'est pas une utopie !
4. L'intérêt de s'intéresser à ce sujet !
5. Humilité ... Beaucoup d'imprévisibilité !
6. Et nous et nous et nous ?  
Danger vs opportunités !
7. Ubuntu !
8. Compassion et bienveillance !?

**Des  
idées ?????  
???**



# Classification Sciences

## +++ 1830, Auguste Comte ...

- Mathématiques
- Astronomie
- Physique
- Chimie
- Biologie
- Sociologie

## +++ Aujourd'hui ...

- Mathématiques
- Mécanique quantique
- Mécanique statistique (thermodynamique)  
++  $t / -t \Rightarrow$  évolution  
++ 3 principes (conservation, transformation, MEP)
- Mécanique classique
- Electromagnétisme
- Chimie
- Biochimie
- Biologie
- Sciences humaines (sociologie, économie)

## +++ Complexité :

- nombre variables  $\Rightarrow$  approche statistique
- non linéarité  $\Rightarrow$  simulation numérique

## +++ Irréversibilité & évolution



# Intuition & thermo !

## Notions de thermodynamique :

- Volume  $\sim V$
- Pression  $\sim P$
- Température  $\sim T$
- Chaleur  $\sim Q$
- Énergie interne  $\sim U$
- Enthalpie  $\sim H, G$
- Énergie  $\sim W, E_p, E_c$
- Entropie  $\sim S$

## 1ère loi :

Conservation énergie  
(c'est quoi !?)

## 2nde loi :

Augmentation entropie  
( $\Rightarrow G = U + PV - TS$ )

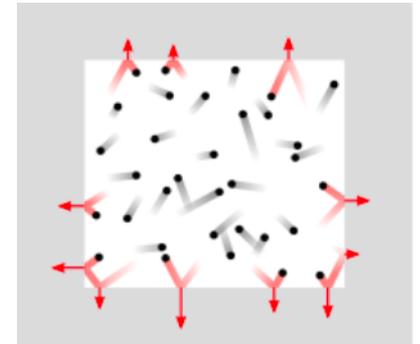
## 3ème loi (prospective) :

Maximum entropy production  
(MEP)

## Mécanique statistique :

Agitation particules (collisions) caractérisés :

- Position
- Vitesse
- Énergie



Différents milieux :

- Gaz : très libres
- Liquide : plus liés
- Solide : lié élastiquement

$\Rightarrow$  Particules disposés dans un très grand nombre de façon possible :  $\Omega(U, V)$

$\Rightarrow$  Entropie :  $S = k * \log(\Omega)$

$\Rightarrow$  A l'équilibre équiprobabilité de tous les  $\Omega$  !



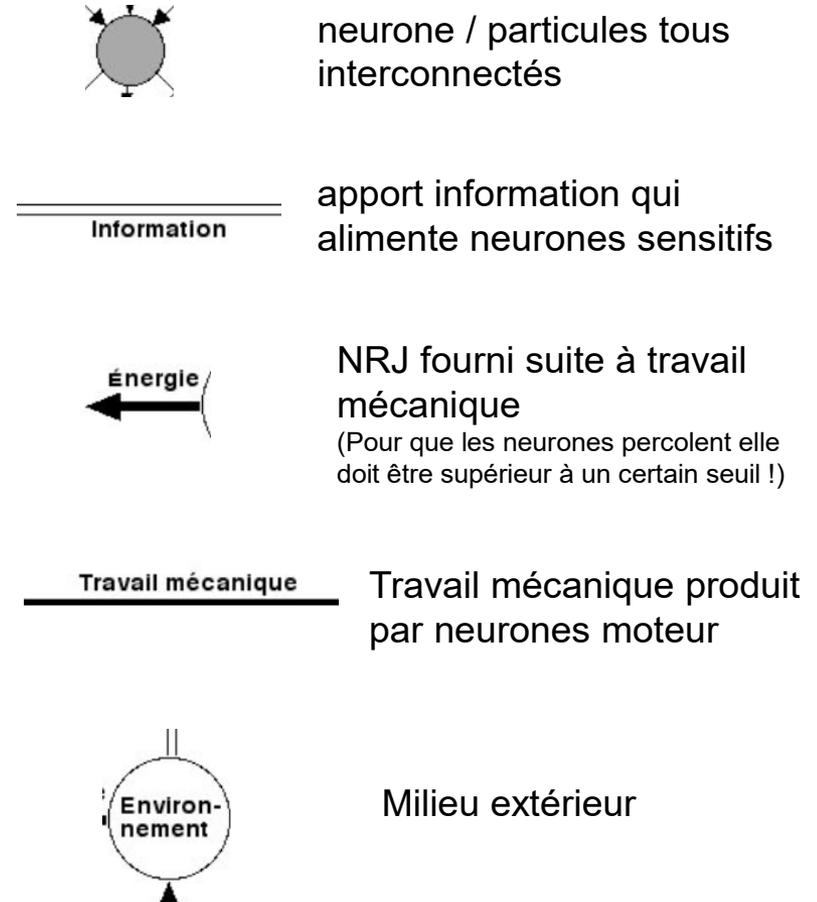
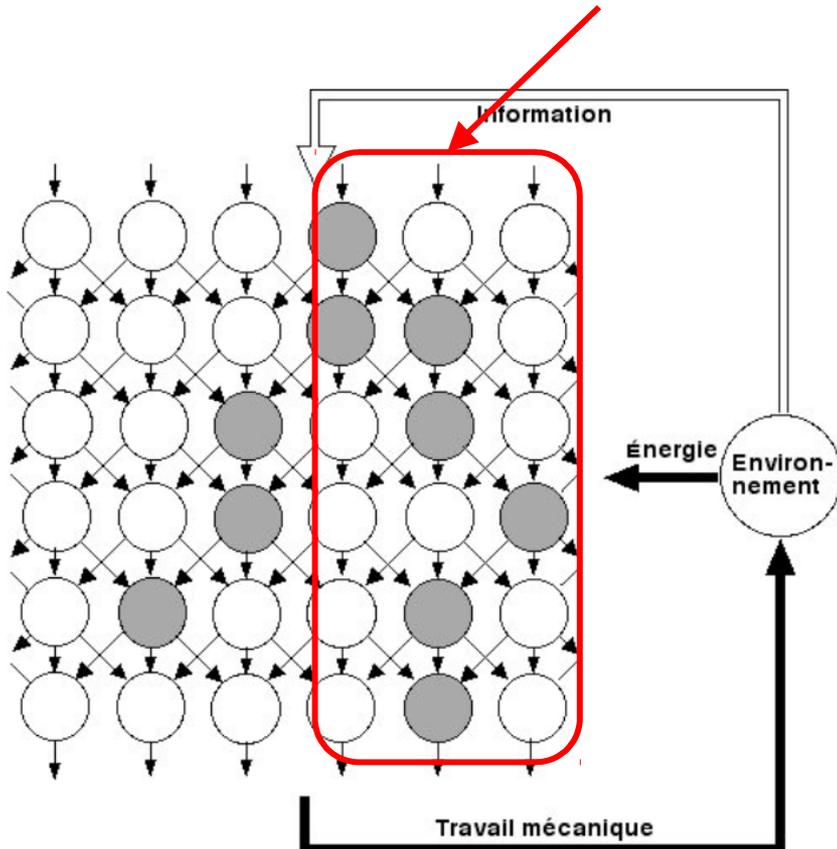
# Entropie ... aie carai !

- ❑ Physique : l'énergie mécanique a toujours tendance à se transformer en chaleur (considéré comme une forme d'énergie plus pauvre)
- ❑ Théorie de l'information : quantité d'information contenue dans un message
- ❑ Même notion
  - manque d'information pour déterminer entièrement un système
  - car perte d'information entraîne dissipation d'énergie sous forme de chaleur
- ❑  $S = k * \log(\Omega) \dots :D !$



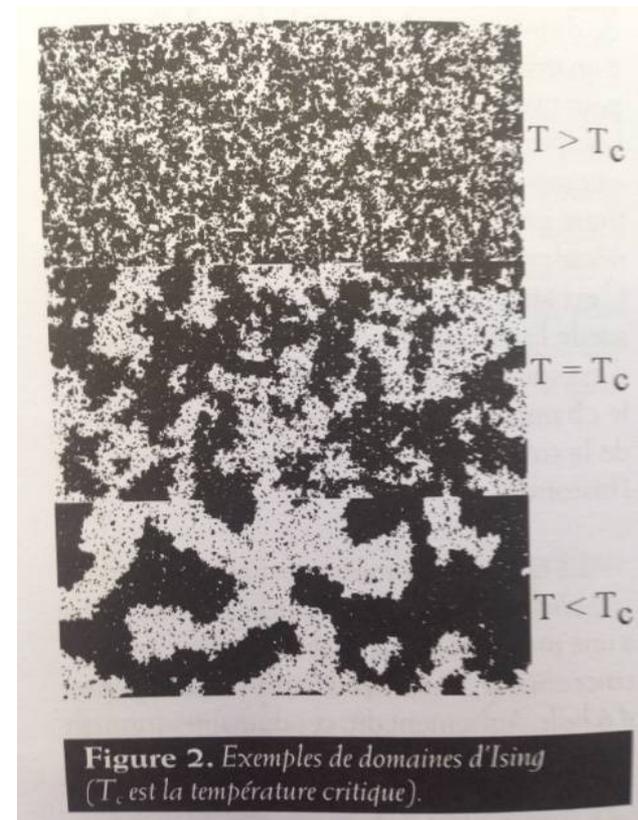
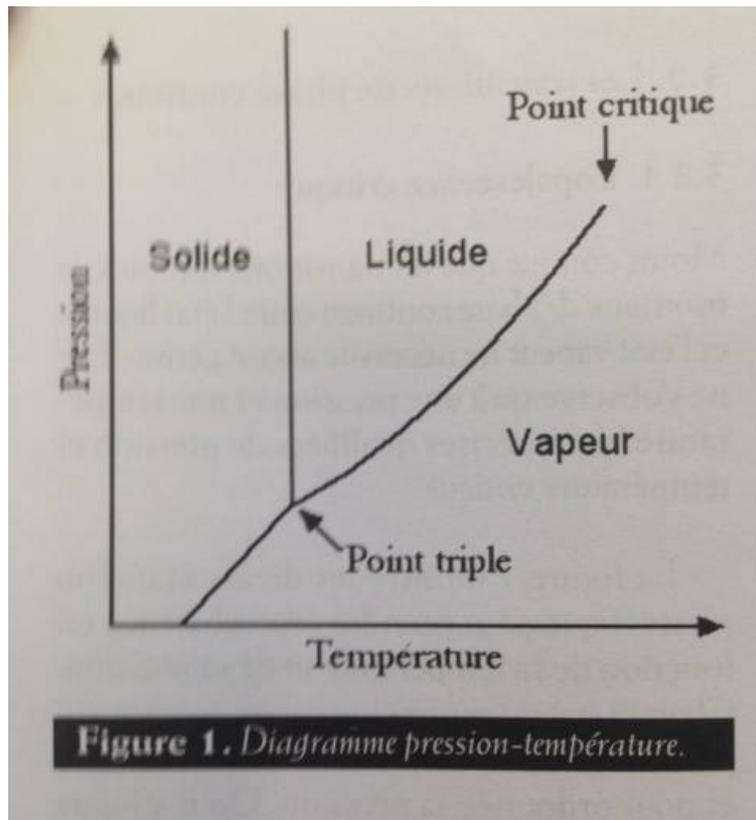
# A vif !

neurones percolent au sein domaine d'Ising





# Auto-orga & point critique

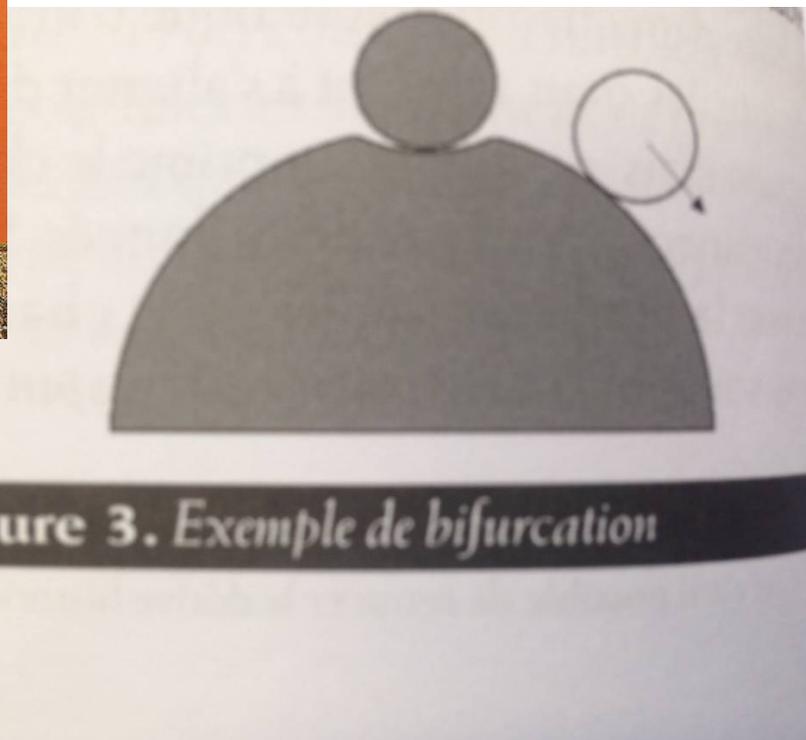




# Avalanche !



Autour du point critique  
Intensité =  $1 / f$





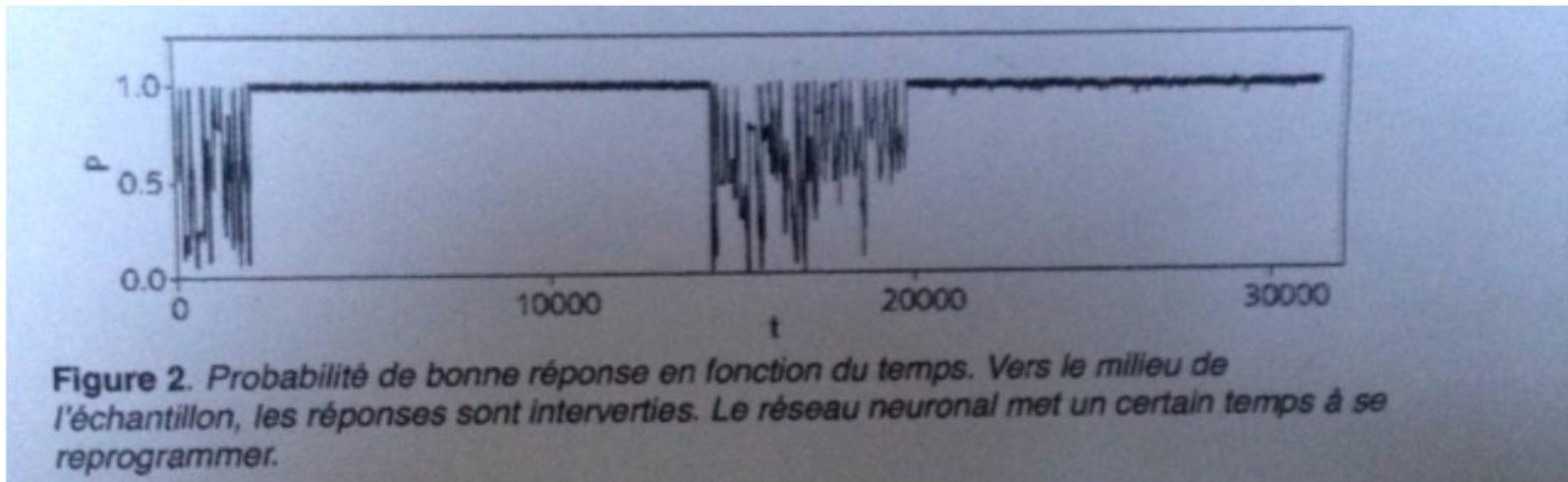
# Evolution !

## Structures dissipatives :

- ❑ Mémorisent infos puis ont une action mécanique sur leur env pour “se nourrir” d’NRJ
- ❑ Diminution entropie interne
- ❑ Production d’entropie externe par dissipation => MEP

## Evolution :

- ❑ Plus vite elle dissipe d’NRJ => + vite elle modifie son environnement
- ❑ Doit se reprogrammer => effet reine rouge
- ❑ Point critique => MEP max en moyenne (homéostasie)  
Prise de conscience de ce processus !



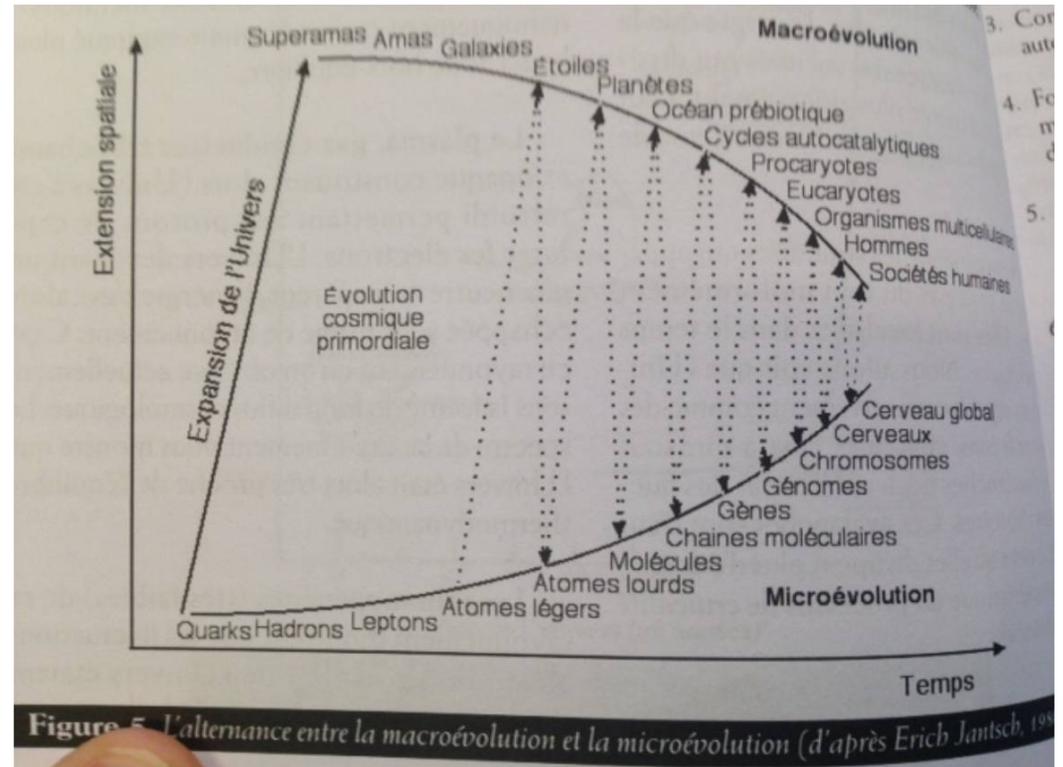
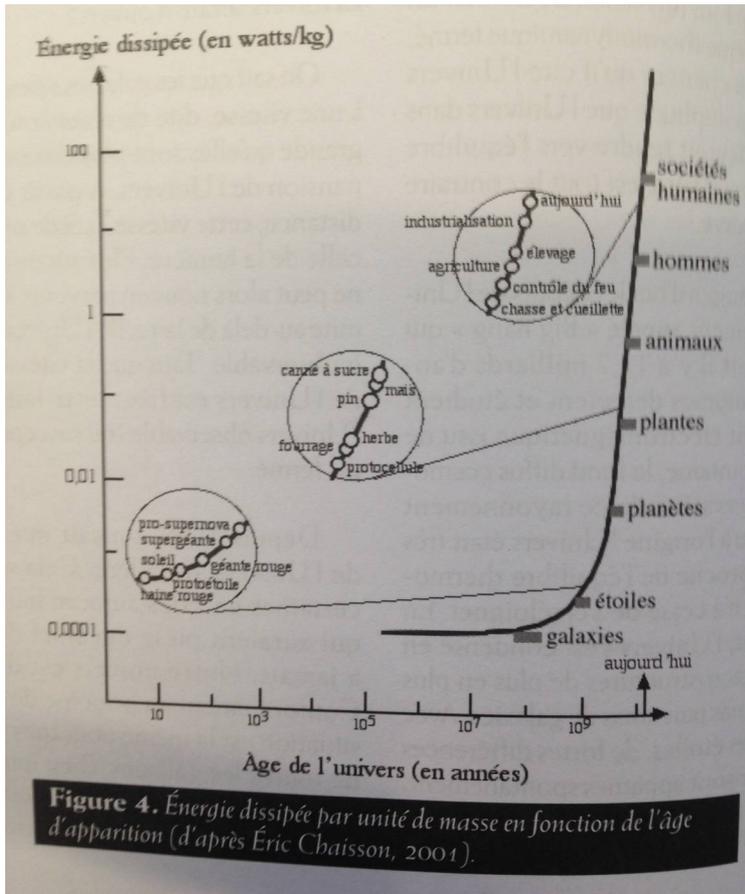


# Résumé moi :D

	Eau	Ferromagnetisme / paramagnétisme	Cyclone / casserole	Biologie (bactérie)	Homme
Déclencheur	Augmentation température	Augmentation température	différences de température		
Contenant information		orientation spin	mouvement ordonnés	Gènes	Culture (livres, ordinateurs etc.)
Domaine d'Ising		groupe avec même champs	particules faisant partie de ce mouvement	espèces animales / végétales	sociétés humaines
Point critique (restructuration du réseau suivant mécanisme d'avalanche)	opalescence critique (invariance par chgt échelle)	avalanche retournement spins	Apparition de mouvement de convection	transition entre sélection K et r	propagation d'opinions / d'idées etc.
Arrêt			Différence de température insuffisante		
Nota bene				Mécanisme de coopération (parentèle & symbiose)	



# Univers & évolution





# Société & support information

Date	Technique	Date	Technique
	feux	-3300	écriture
	courrier	-1300	alphabet
	pigeons voyageurs	600	imprimerie
1791	sémaphore	1440	typographie
1837	télégraphe	1839	photographie
1876	téléphone	1877	phonographe
1895	radio	1888	magnétophone
1926	télévision	1953	tores de ferrite
1971	arpanet	1956	disque dur RAM
1981	minitel	1970	puces de mémoire
1982	internet	1982	CD-ROM
1991	web	1995	DVD

**Tableau 2.** *Progression des principaux moyens de transmission (à gauche) et de mémorisation (à droite) de l'information.*



# Résumé ...

Général	Physique	Biologie	Sociologie
Macroévolution lente.	Formation de grosses structures ordonnées (ordre).	<i>Sélection K</i> : Grands organismes. Efficience.	Solidarité, coopération. Intégration <i>culturelle</i> . Adaptation.
<i>Point critique</i> : Invariance par <i>changement d'échelle</i> . Distributions en lois de puissance.			
Microévolution rapide.	Décomposition en petites structures désordonnées (chaos).	<i>Sélection r</i> : Petits organismes. Résilience.	Individualisme, compétition. Ségrégation <i>culturelle</i> . Adaptabilité.

**Tableau 1.** *Alternance de part et d'autre du point critique.*



# Messages

1. Notre force !
2. RIP !
3. Ce n'est pas une utopie !
4. L'intérêt de s'intéresser à ce sujet !
5. Humilité ... Beaucoup d'imprévisibilité !
6. Et nous et nous et nous ?  
Danger vs opportunités !
7. Ubuntu !
8. Compassion et bienveillance !?

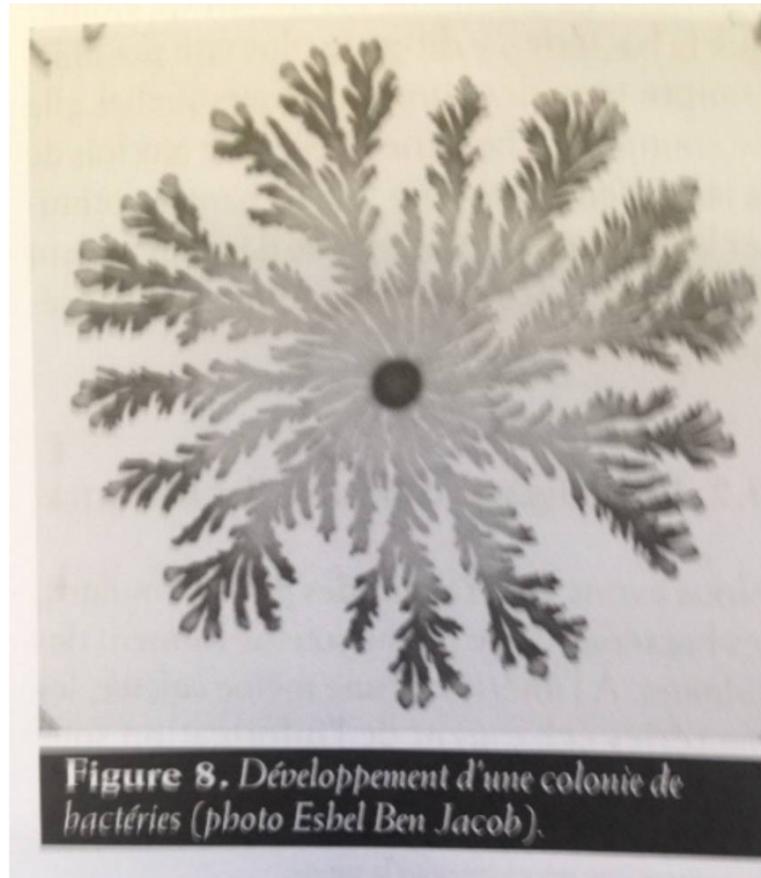


**AVENIR CLIMATIQUE**  
PARLONS CLIMAT AVEC ÉNERGIE !

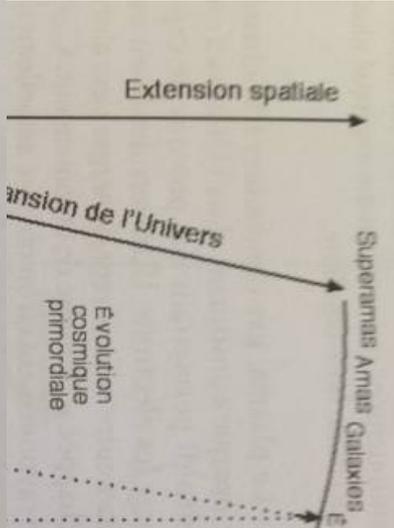
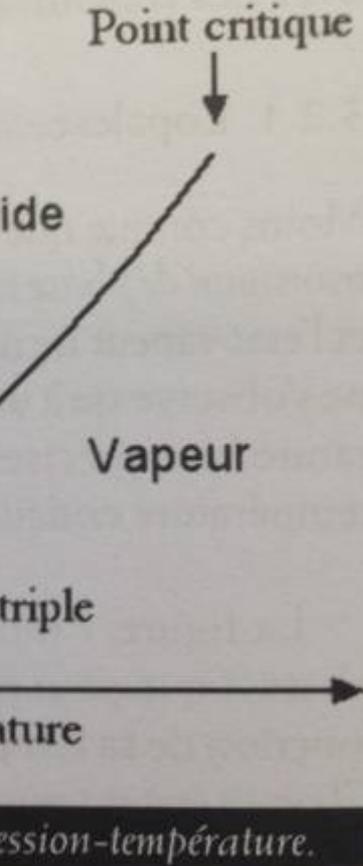
# Annexes



# Illustration intelligence



# Intuition & thermo !



Date	Technique	Date
1791	sémaphore	144
1837	télégraphe	183
1876	téléphone	187
	pigeons voyageurs	60
	courrier	-130
	feux	-330

l'évolution de l'humanité.

ouis Ins

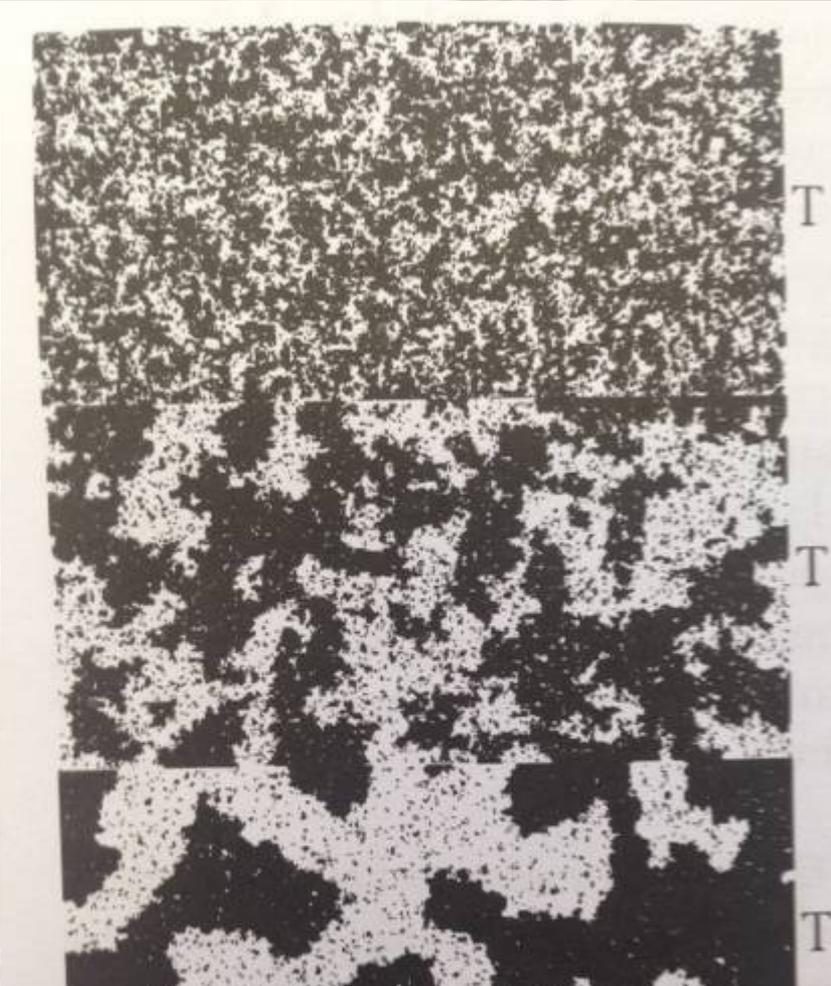


Figure 3.E



# 1 & 2 : thermo

## 1. La thermodynamique du XIX<sup>e</sup> siècle

Bien que pouvant prendre des formes différentes (mécanique, électrique, chimique), une certaine quantité d'énergie reste toujours la même. On dit qu'elle se conserve. Elle tend cependant à se dissiper, c'est-à-dire à se transformer en chaleur. La chaleur diffère des autres formes d'énergie en ce qu'elle ne peut pas être intégralement convertie en une autre forme. Dans un système dit fermé, c'est-à-dire isolé du reste du monde, l'énergie se transforme irréversiblement en chaleur. Les différences s'estompent, les mouvements cessent. Le système atteint peu à peu un état dit d'équilibre thermodynamique.

## 2. La thermodynamique du XX<sup>e</sup> siècle

Dans un système ouvert, traversé par un flux d'énergie, c'est-à-dire hors équilibre, des structures en mouvement apparaissent. En s'adaptant à l'environnement, elles s'auto-organisent de façon à maximiser le flux d'énergie qui les traverse. Cela a pour effet de maximiser la vitesse à laquelle l'énergie se dissipe. On dit que ce sont des *structures dissipatives*. Les cyclones ou les êtres vivants sont des *structures dissipatives*. Un ensemble de *structures dissipatives* en interaction, comme l'atmosphère terrestre, un écosystème ou une société humaine, est aussi une *structure dissipative*.



# 3 & 4 : auto-orga

## 3. L'auto-organisation en physique

Les structures dissipatives s'auto-organisent à la manière des changements d'état de la matière. Il s'agit d'un processus universel de dynamique non-linéaire. Un état critique existe à partir duquel des événements appelés « bifurcations » s'enchaînent les uns après les autres, produisant des avalanches de bifurcations. L'amplitude des avalanches est aléatoire. Leur fréquence est inversement proportionnelle à leur amplitude. C'est le processus de *criticalité auto-organisée*.

## 4. L'auto-organisation de l'Univers

Contrairement à ce que l'on a longtemps cru, l'univers observable est un système ouvert. Au fur et à mesure de son évolution, apparaissent des structures capables de dissiper l'énergie de plus en plus efficacement. Ces structures sont d'autant moins fréquentes qu'elles dissipent plus d'énergie, une caractéristique des processus de *criticalité auto-organisée*. L'univers maximise la vitesse de dissipation d'énergie comme on minimise l'énergie potentielle dans un cristal en alternant les réchauffements et les refroidissements. Il y a alternance entre une macroévolution et une microévolution.



## 5. Le mécanisme de Darwin

La *sélection naturelle* favorise les individus les mieux adaptés à leur environnement. Ce faisant, elle maximise les flux d'énergie dissipée. Elle apparaît ainsi comme une conséquence des lois de la thermodynamique hors-équilibre. La *sélection naturelle* agit directement sur les *gènes*. Ceux-ci s'adaptent en mémorisant de l'information sur leur environnement. En reproduisant cette information, les *gènes* créent des avalanches d'énergie dissipée.

## 6. La criticalité auto-organisée en biologie

Plus un organisme dissipe d'énergie, plus vite son environnement évolue, et plus vite il doit se réadapter. En favorisant les organismes qui s'adaptent plus vite que les autres, la *sélection naturelle* accélère l'évolution, provoquant des extinctions de masse. Des périodes d'évolution rapide alternent avec des périodes d'évolution lente. C'est le phénomène des *équilibres ponctués*, manifestation biologique du processus de *criticalité auto-organisée*.



## 7. La coopération en biologie

Si les organismes ayant des *gènes* différents sont mis en compétition par la *sélection naturelle*, ceux qui ont des *gènes* identiques tendent à coopérer : c'est la sélection de parentèle. Elle permet la formation des sociétés d'insectes. Il arrive aussi que des organismes ayant des *gènes* différents coopèrent : c'est la symbiose. Tandis que coopération et compétition agissent en alternance sur les *gènes*, la coopération l'emporte peu à peu produisant des organismes de plus en plus complexes, dissipant l'énergie de plus en plus efficacement.

## 8. Un panorama de l'évolution génétique

À l'origine, des cycles chimiques se seraient formés, dissipant l'énergie de plus en plus efficacement. La vie serait apparue lorsque, produisant leurs propres *catalyseurs* (*enzymes*), des cycles dits *autocatalytiques* se sont reproduits. Protégés à l'intérieur d'une bulle d'acide gras, ces cycles auraient donné naissance aux premières cellules *procaryotes* (bactéries). Des *symbioses* de *procaryotes* auraient plus tard donné naissance aux cellules *eucaryotes*. Celles-ci auraient ensuite formé des organismes multicellulaires sous forme de plantes, de champignons ou d'animaux.



## 9. L'émergence de l'intelligence

Le développement de l'intelligence apparaît comme une conséquence des lois de la thermodynamique. Les bactéries d'une même *colonie* échangent entre elles de l'information comme le font les neurones d'un cerveau. L'ensemble de la *colonie* se comporte comme un cerveau global, manifestant des formes d'intelligence collective. Dans les deux cas, il s'agit d'un processus de *criticalité auto-organisée*. Les sociétés d'insectes agissent de même, mais, à la différence des bactéries, l'information échangée n'est pas transmise génétiquement. Les sociétés humaines se comportent *culturellement* comme les *colonies* de bactéries le font *génétiquement*.

## 10. L'émergence de la culture

Le développement du cerveau a conduit à de nouvelles formes d'échange d'information (visuelle ou acoustique) entre les individus. Mémorisée non plus dans les *gènes*, mais dans le cerveau, cette information est qualifiée de *culturelle*. Chez les oiseaux et les mammifères, une quantité importante d'information *culturelle* est transmise aux descendants par imitation des adultes, d'où l'apparition d'une *sélection de parentèle culturelle (sélection de groupe)*. La transmission d'informations *culturelles* vient à l'appui de l'évolution *génétique* et réciproquement (*effet Baldwin*).



## 11. Des primates à l'Homme

Parce que l'information *culturelle* permet une adaptation plus rapide à l'environnement, la *sélection naturelle* va favoriser le développement du cerveau chez ceux capables de la transmettre. Des primates à l'Homme, la quantité d'information transmise *culturellement* ne cesse de croître au point d'excéder, chez l'Homme, celle transmise *génétiquement*. De *génétique*, l'évolution de l'Homme devient essentiellement *culturelle*. Les individus *culturellement* semblables forment alors des sociétés humaines, comme les bactéries *génétiquement* semblables forment des *colonies*.

## 12. Les lois de l'évolution culturelle

Il n'y a pas de coopération sans échange d'information. Une coopération peut naître d'échanges réciproques et s'étendre parmi des individus en compétition. Lorsqu'elle se développe, la coopération accroît le besoin d'échanger et de mémoriser de l'information. Nées de ce besoin, l'écriture et la monnaie ont facilité la transmission des richesses matérielles et *culturelles*. Chez l'Homme, les règles d'héritage jouent le rôle des règles de transmission des *gènes* en biologie. Des époques de coopération alternent avec des époques de compétition. De même que les espèces biologiques s'éteignent, les sociétés humaines s'effondrent.



## 13. Thermodynamique et sciences sociales

L'économie suit les lois de la thermodynamique. Les flux monétaires sont des flux d'information. Ils représentent, au signe près, des flux *d'entropie* dans une société. L'économie de marché suit un processus de *criticalité auto-organisée*. Au *point critique* la distribution des richesses est invariante par *changement d'échelle*. Au-delà, les richesses se condensent en deux phases avec apparition de crises économiques et financières. Les lois de la *mécanique statistique* s'appliquent également à la sociologie. Les deux formes de solidarité de Durkheim correspondent aux deux formes biologiques de la *symbiose*.

## 14. L'évolution culturelle en Occident

L'évolution des civilisations occidentales est décrite ici aussi bien en termes de thermodynamique (*point critique, domaines d'Ising*) qu'en termes de biologie (*sélection r et K, sélection de parentèle, symbiose*). Des *domaines d'Ising culturels* se forment et se désagrègent pour se reformer sans cesse différemment, selon un algorithme de *recuit simulé*. Ce sont successivement : l'Empire romain, l'Europe du Moyen-Âge, les États-Nations, les empires coloniaux, puis l'affrontement entre l'atlantisme et le bloc soviétique. L'effondrement de ce dernier tend à créer une *culture mondiale* unique. Celle-ci va-t-elle à son tour s'effondrer ?



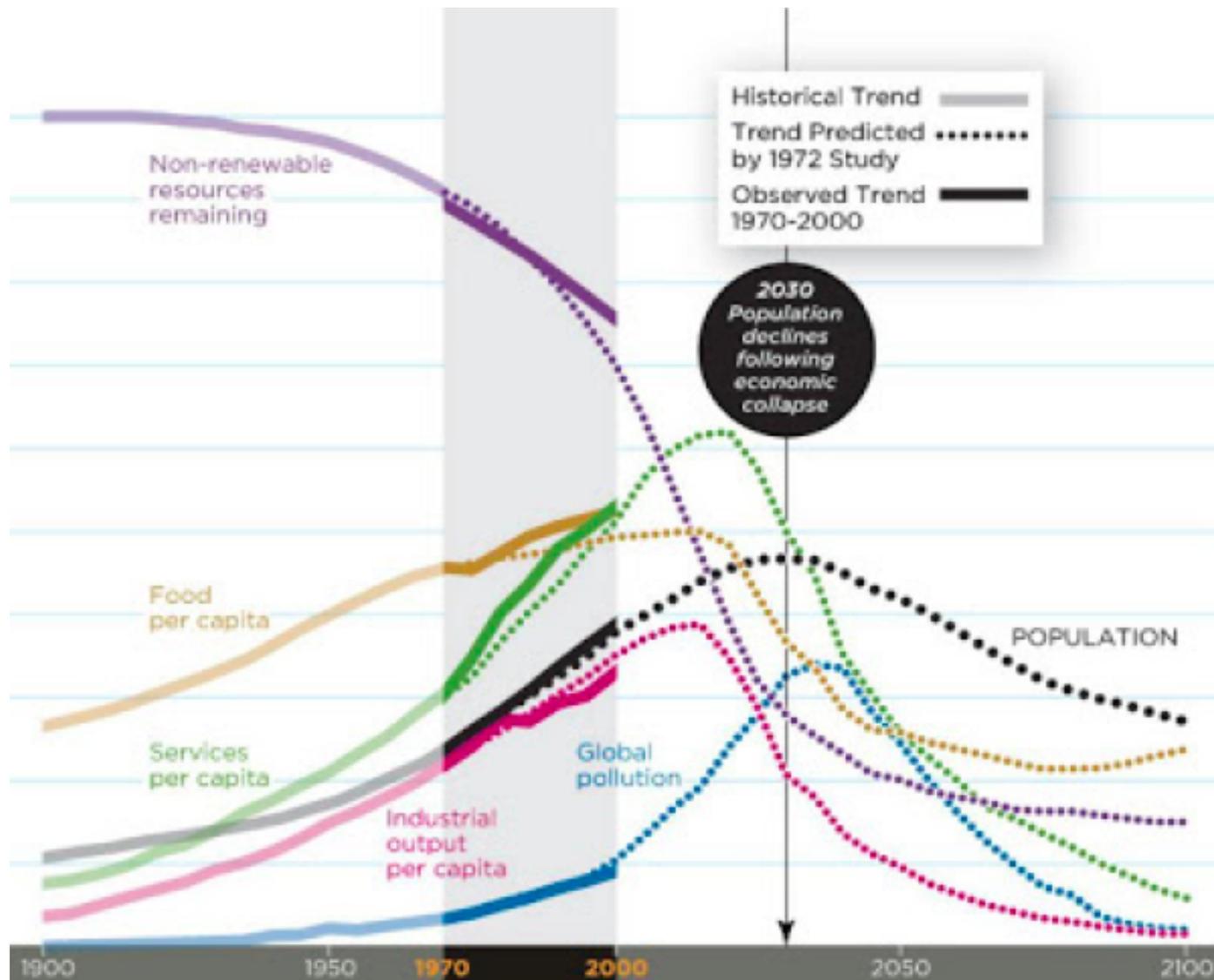
## 15. Le siècle des menaces

Les deux derniers siècles sont caractérisés par un accroissement de la population mondiale et une croissance économique sans précédent. Cela se traduit par un épuisement rapide des ressources naturelles et par une pollution grandissante, allant jusqu'à un réchauffement climatique. L'humanité ne pourra subsister qu'en maîtrisant et en restructurant son économie, mais elle ne peut le faire que collectivement. Un effondrement de civilisations paraît inéluctable.

## 16. L'avenir de l'humanité

Les exemples de la physique et de la biologie nous aident à comprendre comment nos sociétés actuelles évoluent : nous modifions notre environnement plus vite que nous ne pouvons nous y adapter. Cela nous entraîne vers un effondrement général de l'économie suivi d'une restructuration. La thèse proposée ici est que l'humanité évolue vers la formation d'un organisme planétaire unique constitué de régions indépendantes, mais solidaires. Elle prendra de plus en plus conscience de la nécessité de contrôler collectivement son environnement. Devenue plus efficace et plus résiliente, l'économie tendra alors progressivement vers un état stationnaire de longue durée.

# Annexe : « Les limites à la croissance »



# Annexe : Schéma de causalité

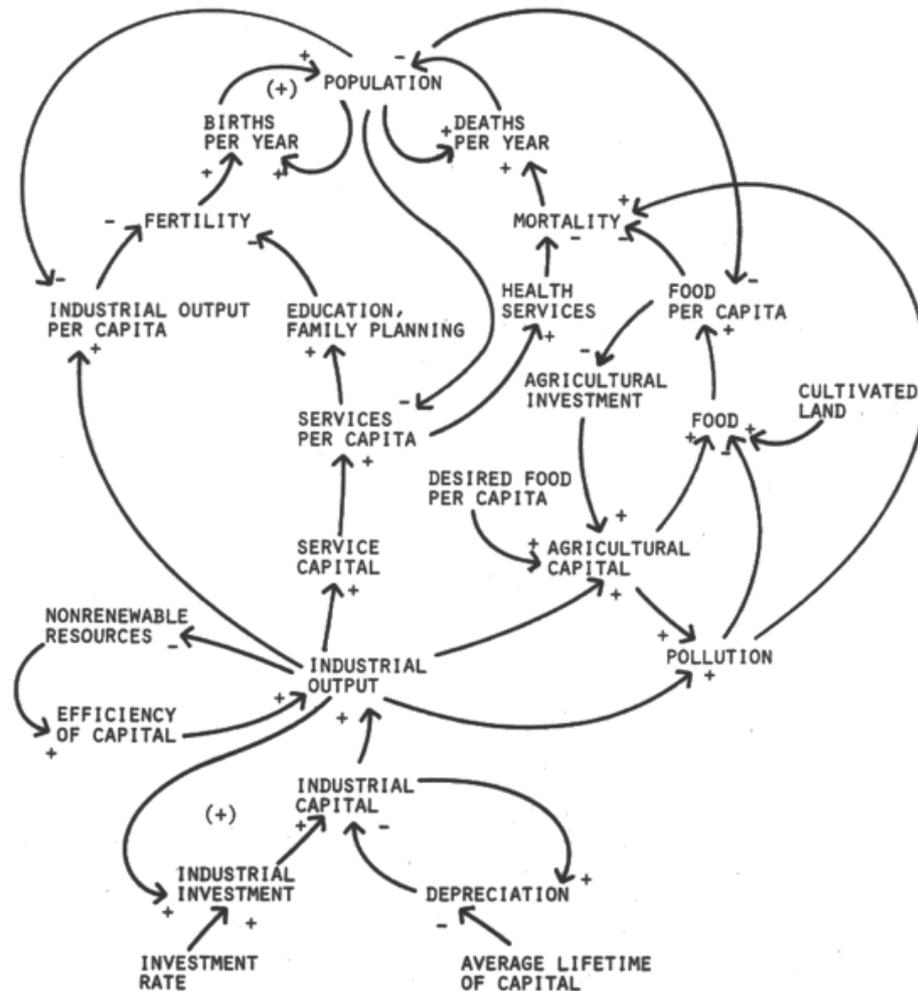


Figure 1-3 Causal-loop diagram of several important feedback loops in World3