



**AVENIR CLIMATIQUE**

PARLONS CLIMAT AVEC ÉNERGIE !

**Plan :**

- 1) tout évolue : des cohérences ?**
- 2) les lois de l'énergie**
- 3) des gènes à la culture**
- 4) Perspectives d'avenir**

Tout se déplace,

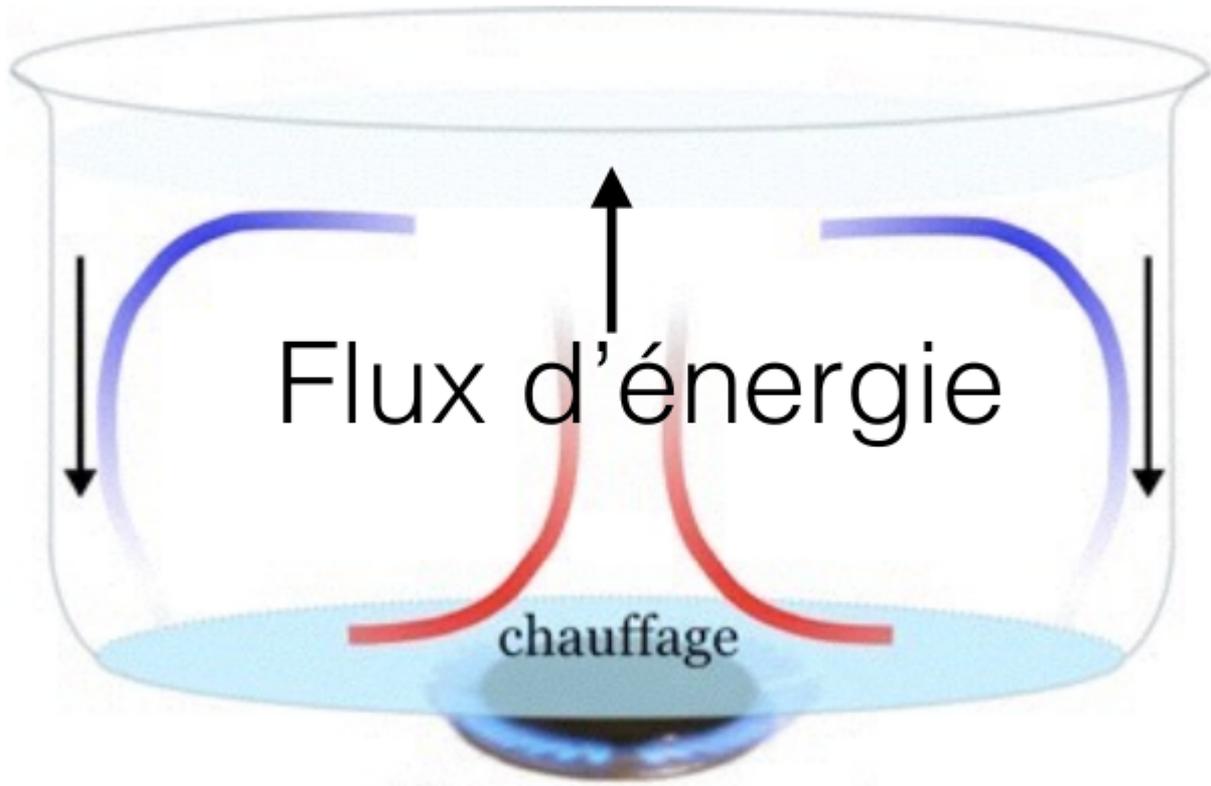
Tout se modifie,

Tout change,

**Tout évolue**



Source froide



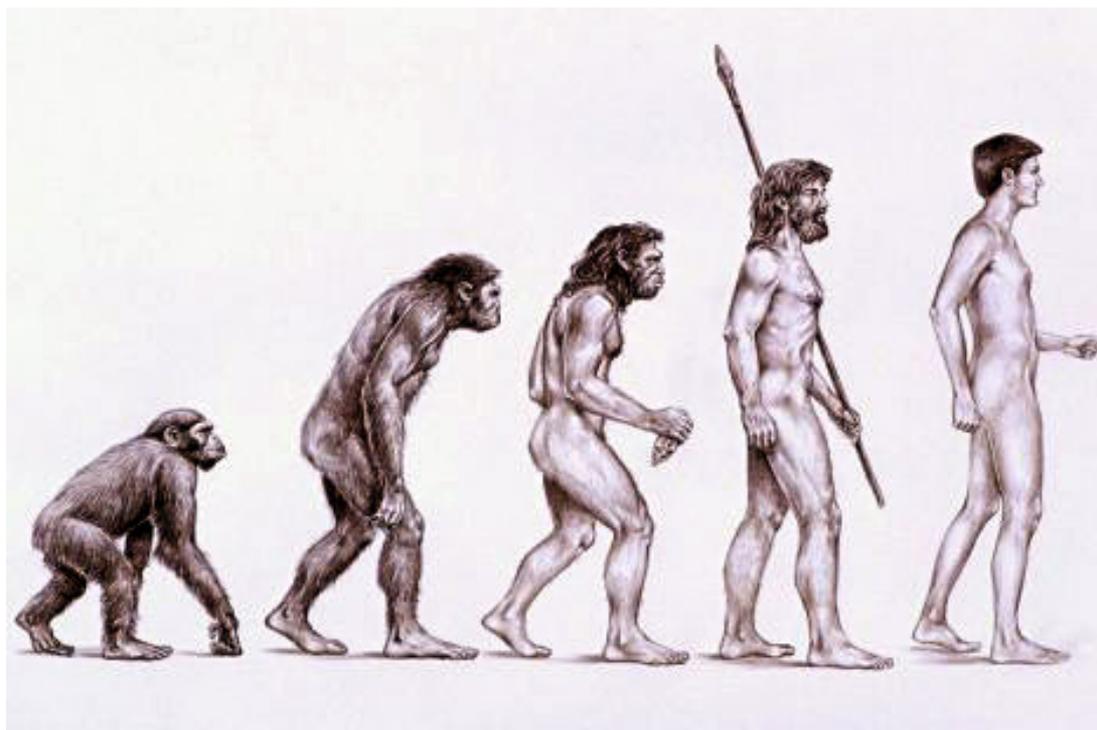
Source chaude



AVENIR CLIMATIQUE  
PARLONS CLIMAT AVEC ENERGIE I



AVENIR CLIMATIQUE  
PARLONS CLIMAT AVEC ENERGIE !



AVENIR CLIMATIQUE  
PARLONS CLIMAT AVEC ENERGIE !

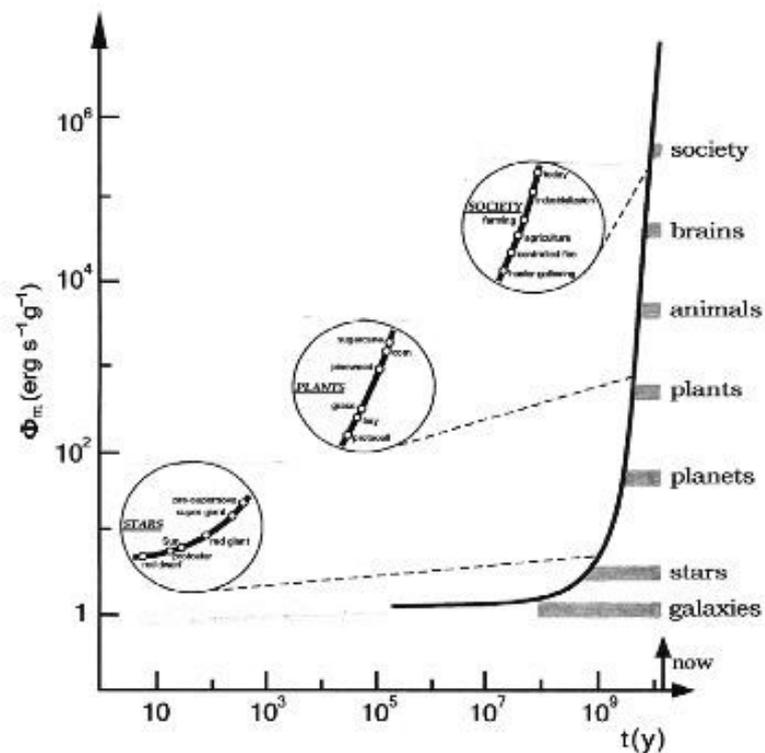
# Tout évolue ! Le temps est inévitable

les lois fondamentales de la physique ne dépendent pas du temps

Sauf la dissipation de l'énergie

la dissipation de l'énergie structure tout ?

# L'Univers dissipe toujours plus d'énergie



# Plan :

- 1) tout évolue : des cohérences ?
- 2) les lois de l'énergie
- 3) des gènes à la culture
- 4) Perspectives d'avenir

# Les 3 lois de l'énergie

L'énergie se **conserve en quantité et se transforme**

La dissipation énergétique est **irréversible**

L'énergie se **dissipe en maximisant l'entropie**, compte tenu des contraintes (Roderick Dewar, de l'australian national university, 2003)

Deux premières lois :

Pour toutes les formes d'énergie

**Forme A  $\iff$  Forme B**

Sauf pour la chaleur !

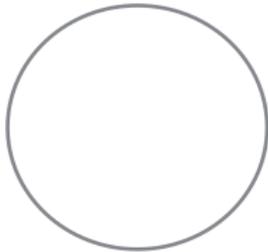
« Descendre un escalier sur la rampe chauffe les fesses, se frotter les fesses n'a jamais fait remonter un escalier »

chaleur = diffusion dans le « bain » moléculaire

Perte d'information = **Entropie**

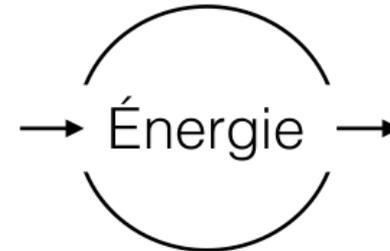
# Les lois de la thermodynamique

## Systeme fermé



Tend vers l'équilibre statique

## Systeme ouvert



Reste hors-équilibre

Lois 1 et 2 :

**Systeme fermé : tout s'arrête.**

**Systeme ouvert** (traversé par un flux énergétique),  
**structures auto-organisées en créant du**  
**mouvement** pour dissiper le flux énergétique (sous  
forme de chaleur).

# L'expansion de l'univers s'accélère !

Nous serions dans un systeme ouvert

Se met en mouvement («**évolution de tout** »)

**S'auto-organise** : des structures dissipatives apparaissent et s'auto-organisent par **cycle**

De manière imprédictible : **déterminisme imprédictible**

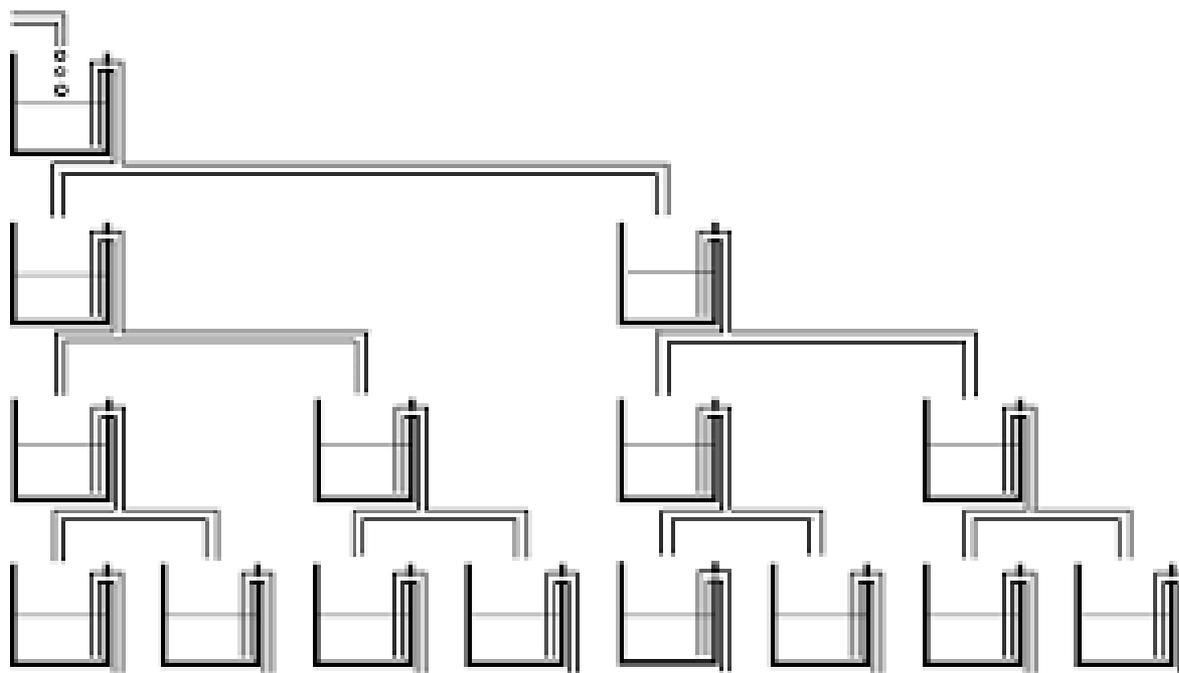
# Les lois de l'auto-organisation des structures dissipatives

## Evolution par **avalanches de bifurcation**

- 1) Energie d'activation
- 2) Changement d'état par **hasard fondamental**  
création d'**entropie** (dissipation d'une partie de l'E  
sous forme de chaleur) = perte d'information  
(rupture de symétrie temporelle : **Irréversibilité**)  
Nouvelles contraintes / informations
- 3) Apparitions de nouvelles énergies d'activations

# Les lois de l'auto-organisation des structures dissipatives

## Avalanches de bifurcations



# Contrainte pour tout se qui se met en mouvement

**L'effet reine rouge :**

Accès à l'énergie = Agir

Agir = perturber l'environnement  
(épuiser les ressources ou  
dégrader son environnement)

= perdre son accès à l'énergie



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

# Contrainte pour tout se qui se met en mouvement

L'effet reine rouge :

Se réadapter sans cesse

Utiliser toujours + d'énergie  
pour pouvoir utiliser de l'énergie

Etre instable pour, dynamiquement, rester stable



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



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

Les structures de l'univers sont durables.

Comment peuvent-elles être instables  
mais ne pas s'épuiser, diverger et disparaître ?

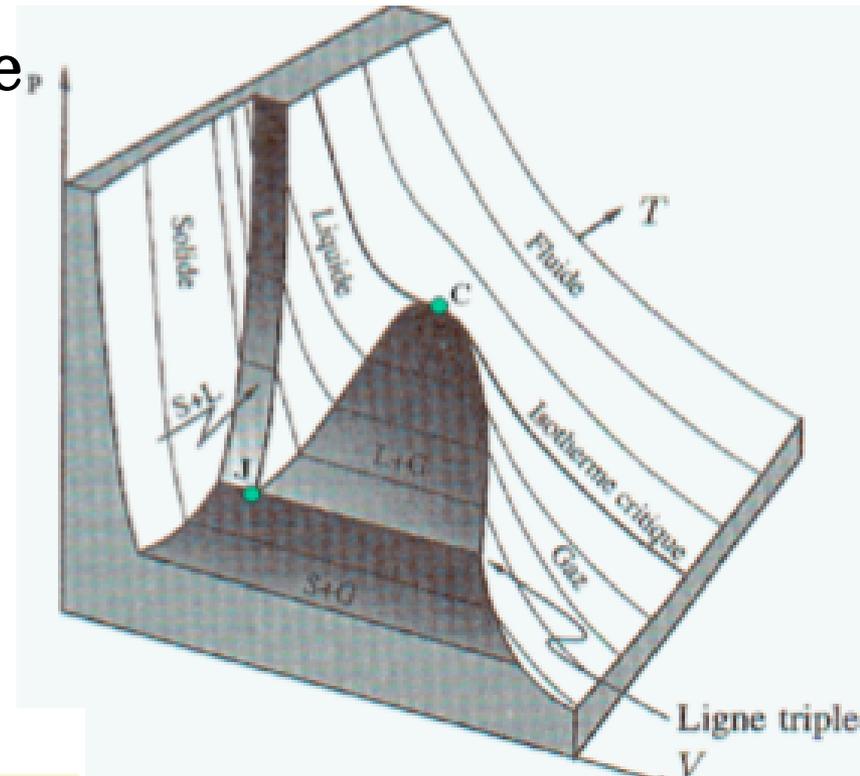
# Les lois de l'auto-organisation des structures dissipatives

**Equilibre stationnaire (et non, statique)**

**cycle** autour d'un **point critique**,

De par et d'autre, des comportements paradoxaux :

Transition continue dans la zone claire, abrupte dans les zones sombres



# Les lois de l'auto-organisation des structures dissipatives

Exemple :

Transition abrupte :

Faible pression, faible température

Exemple : Ébullition de l'eau

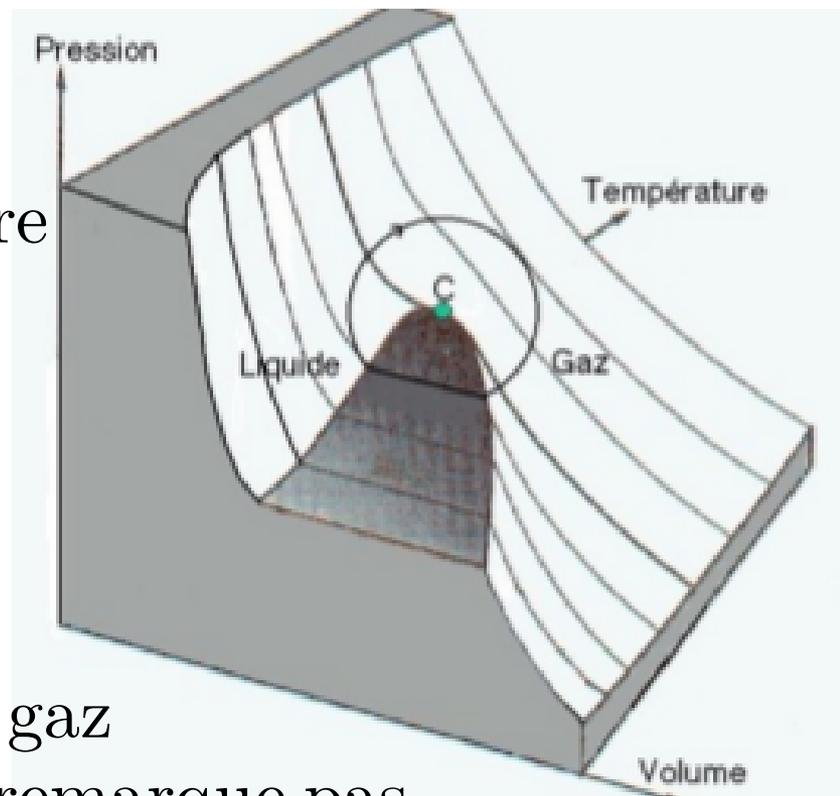
Transition continue :

(pas observable hors laboratoire)

Forte pression, forte température

Le liquide ne se distingue plus du gaz

Le passage de l'un à l'autre ne se remarque pas



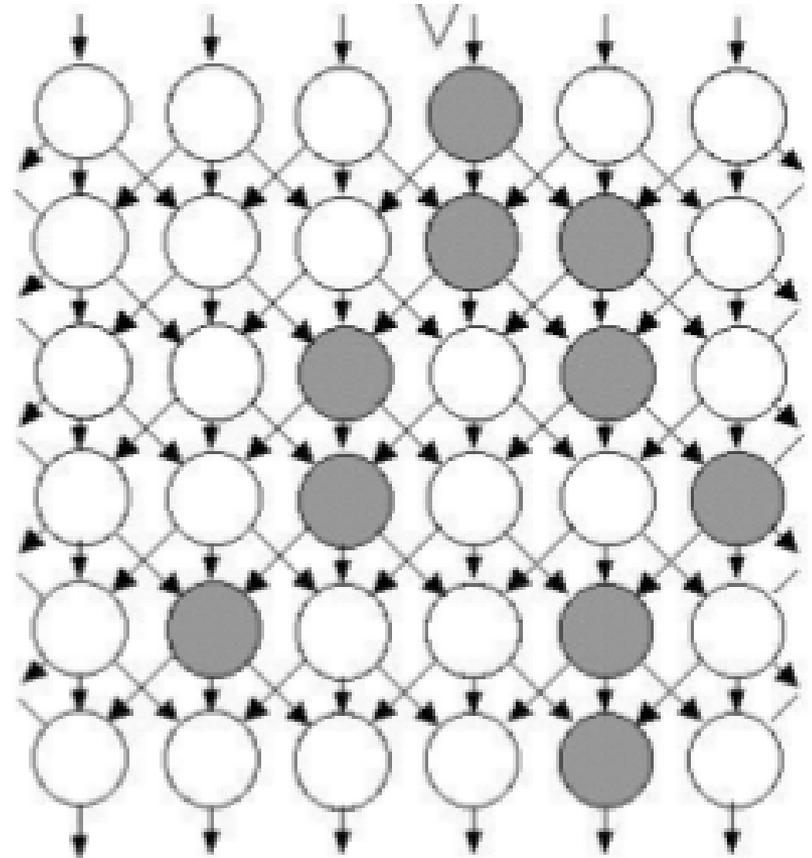
# Les lois de l'auto-organisation des structures dissipatives

Autre exemple de cycle de comportements paradoxaux : *tas de sable*

- 1) La pente augmente de manière **continue** jusqu'à dépasser la pente **critique**.
- 2) **Puis** des avalanches apparaissent et la pente baisse de manière **abrupte** pour repasser sous la pente **critique**
- 3) **Puis** la pente ré-augmente de manière **continue**

# Les lois de l'auto-organisation des structures dissipatives

Autres exemples : le cerveau



# Certaines structures dissipatives transmettent l'information mémorisée : la vie

Cerveau « simpliste » :

Signal d'excitation du neurone  $>$  seuil = transmission du signal (neurones suivants décidés aléatoirement)

Pour chaque neurone :

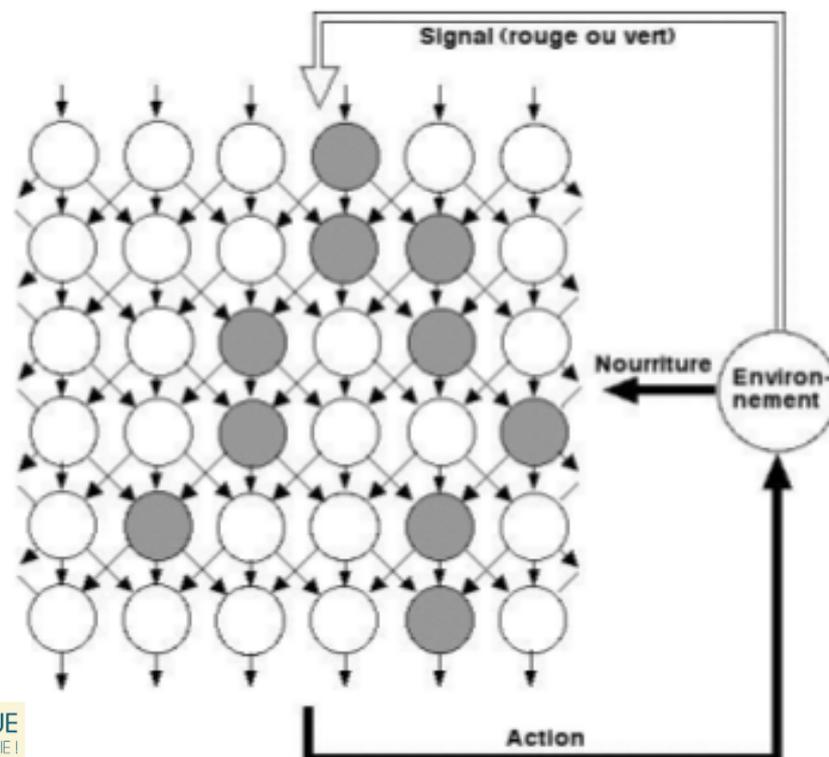
Seuils différents (attribués aléatoirement)

Force du signal différente (aléatoirement)

Chaque neurone de la 1ère ligne réagit différemment au signal (aléatoirement)

Chaque neurone de la dernière ligne annonce gauche ou droite (aléatoirement)

De l'énergie à gauche ou à droite en sortie en fonction du signal vert ou rouge (aléatoirement)

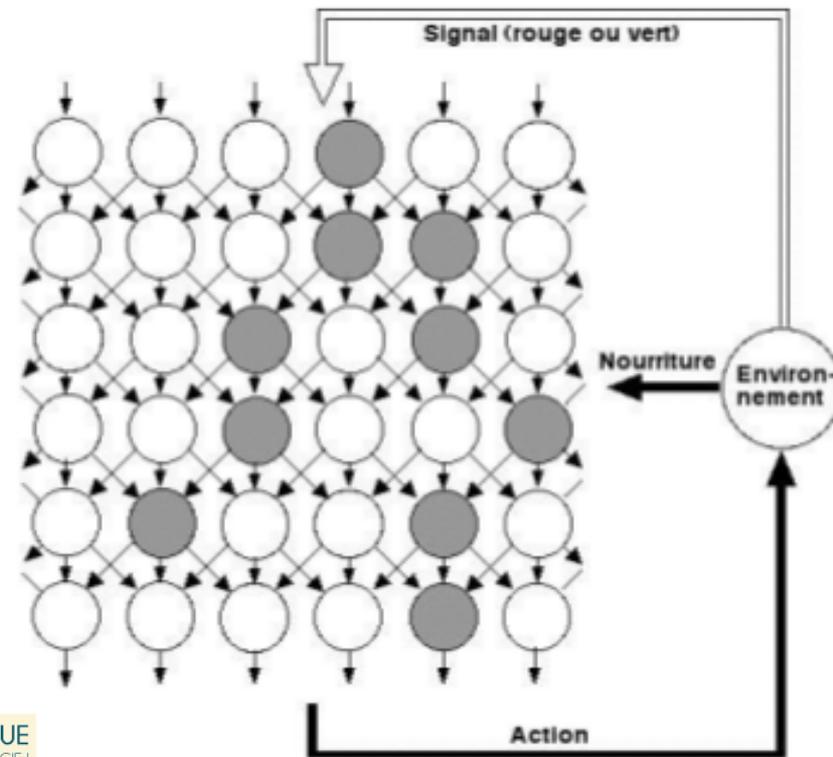


# Les lois de l'auto-organisation des structures dissipatives

**Mémorisation** : Si la nourriture est trouvée, chaque neurone du chemin neuronal qui a fonctionné délivre un peu plus d'énergie

**Avalanche de bifurcation** : neurones

**Cycles** : l'expérience se répète en boucle



# Les lois de l'auto-organisation des structures dissipatives

Si le niveau des **seuils ne varie pas** :

Seuils trop haut : pas de chemin neuronal jusqu'aux neurones

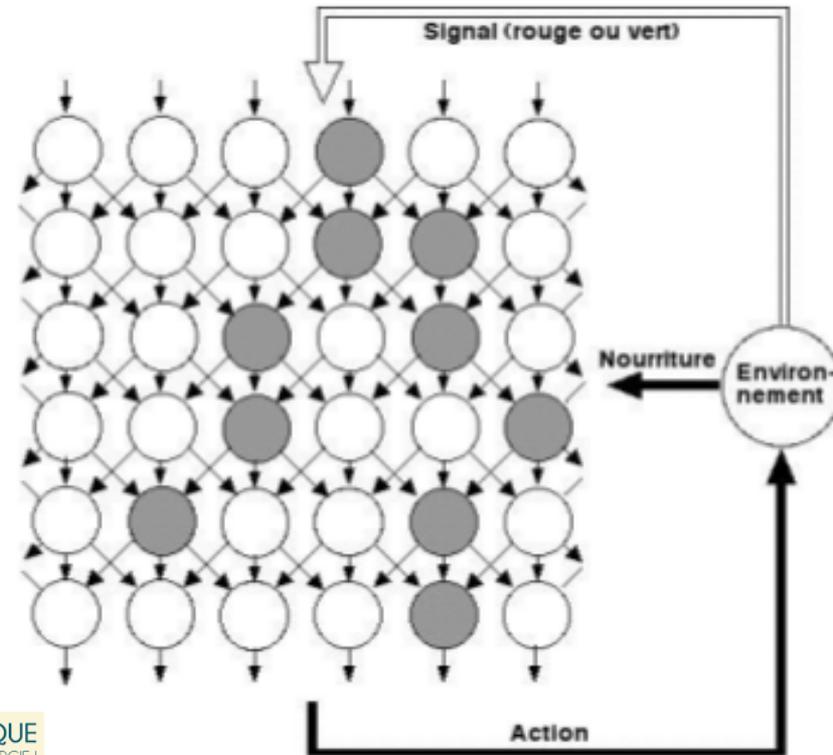
« actionneurs »

= **pas d'actions**

Seuils trop bas : trop d'actionneurs en même temps (gauche et droite)

= **pas d'actions**

Variation de seuils (haut, puis bas) est indispensable



# Les lois de l'auto-organisation des structures dissipatives

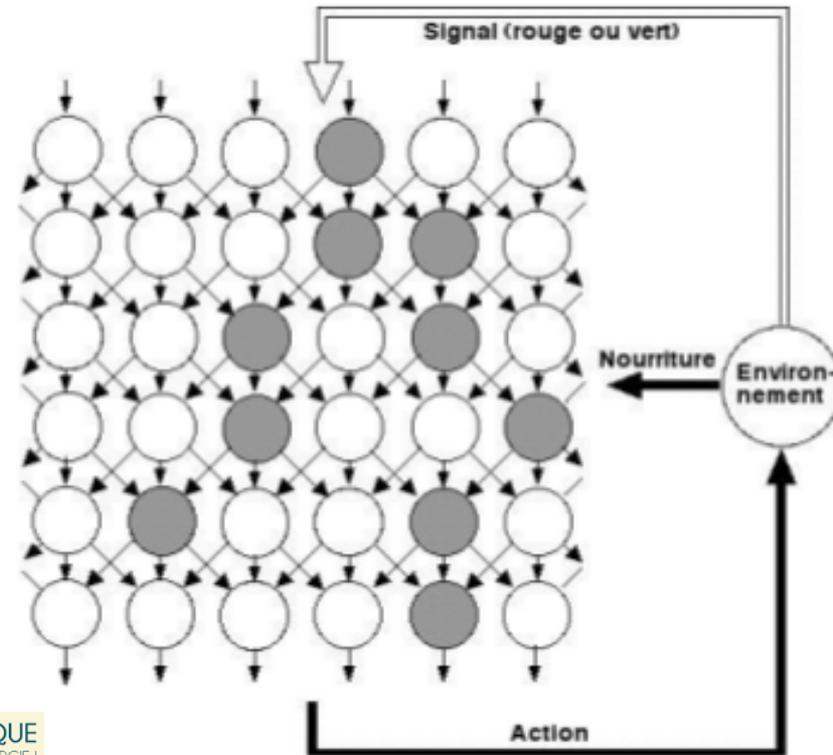
**Mémorisation** : Si la nourriture est trouvée, chaque neurone du chemin neuronal qui a fonctionné délivre un peu plus d'énergie

**Avalanche de bifurcation** : neurones

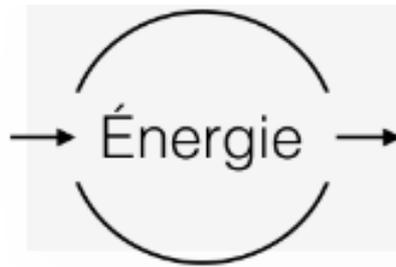
**Cycles** : l'expérience se répète en boucle

Variation autour du point **critique** :  
le niveau des seuils varie

**Ce cerveau « apprend »** :  
Le taux de réussite, faible au début,  
grimpe rapidement à 100%

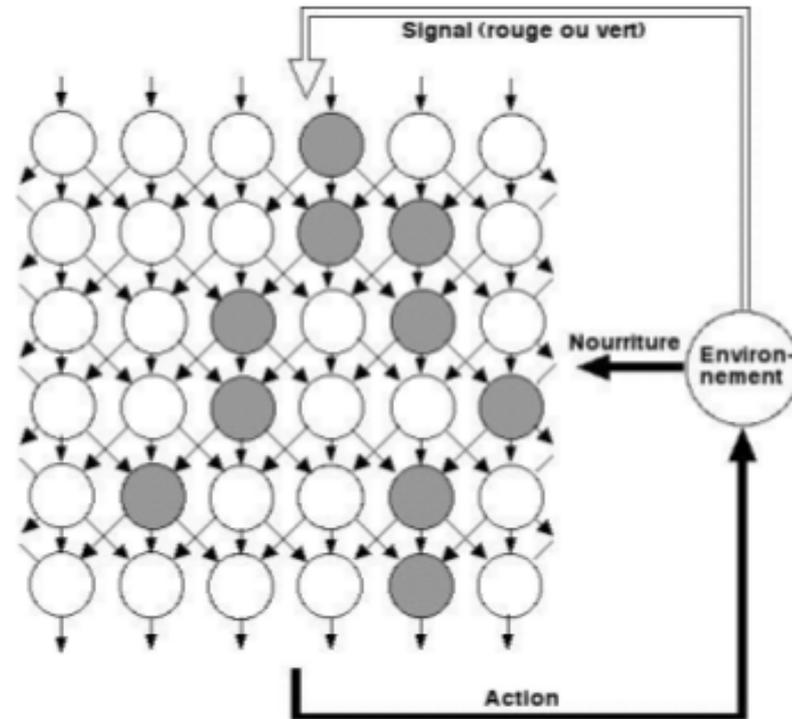
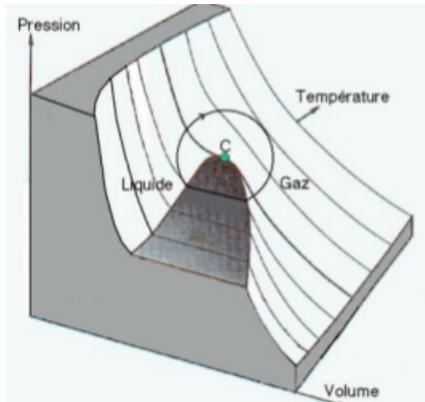


L'Univers :



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

## Cycle de comportement paradoxal



Irréversible

Imprédictible

Information a posteriori



AVENIR CLIMATIQUE  
PARLONS CLIMAT AVEC ENERGIE !

# 3ème loi : production maximale d'entropie

Fixe l'optimum des structures dissipatives auto-organisées

Exemple : flux énergétique de l'atmosphère

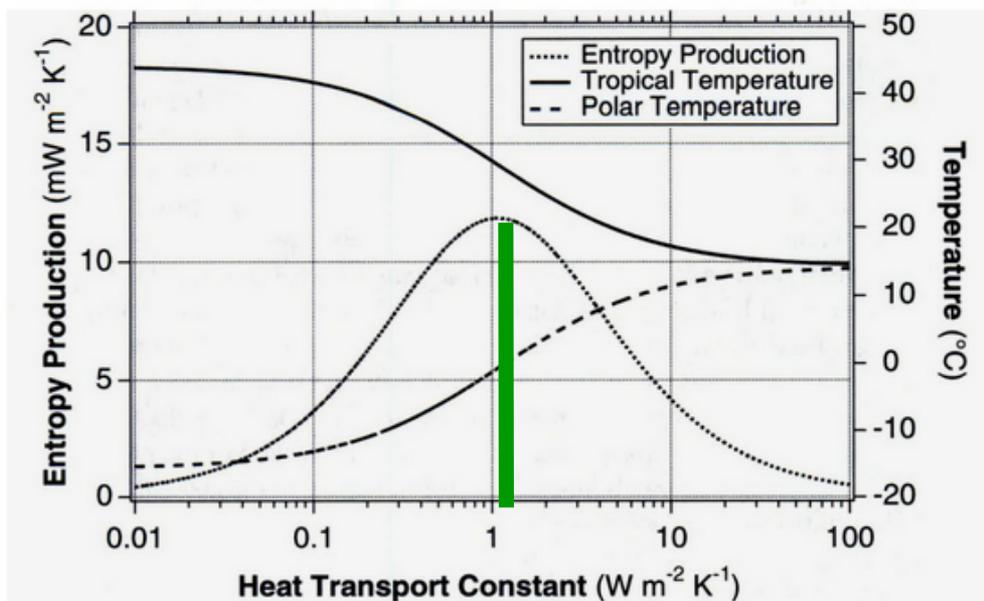


Fig. 1.4. Equator-Pole temperature gradient, and entropy production as a function of heat transport coefficient

MEP pour  $2 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$ .

# 3ème loi : production maximale d'entropie

Fixe l'optimum des structures dissipatives auto-organisées

Exemple : flux énergétique de l'atmosphère

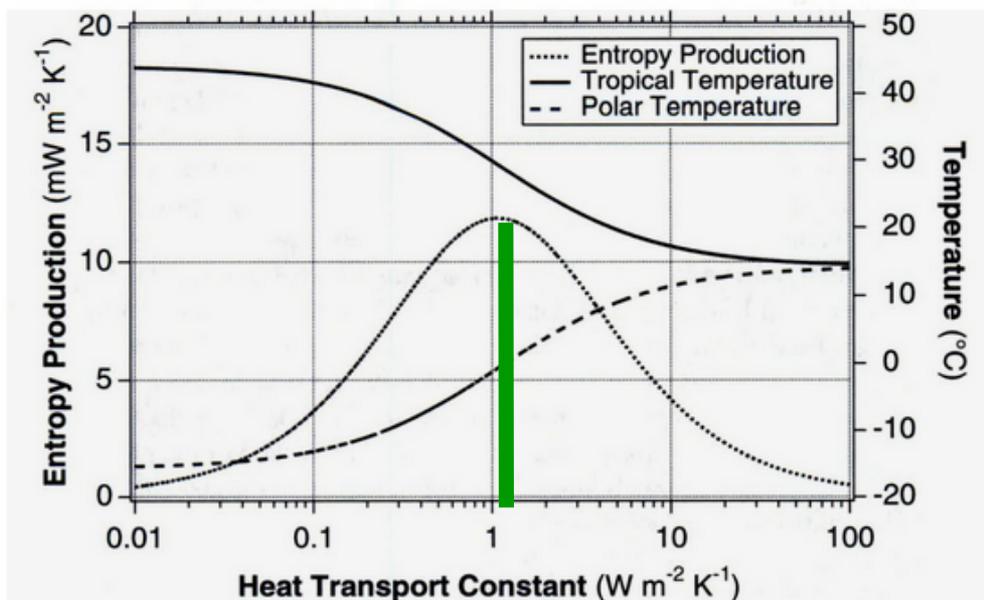


Fig. 1.4. Equator-Pole temperature gradient, and entropy production as a function of heat transport coefficient

MEP pour  $2 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$ .

C'est bien ce que l'on mesure !

**Plan :**

**1) tout évolue : des cohérences ?**

**2) les lois de l'énergie**

**3) du non-vivant au vivant, des gènes à la culture**

**4) Perspectives d'avenir**

# Apparition de la vie

L'auto-réplication, processus qui entraîne l'évolution de la vie sur Terre, est un mécanisme par lequel un système dissipe une quantité croissante d'énergie au fil du temps.

« Une bonne façon de dissiper plus est de faire plus de copies de vous-même ». Jeremy England

<http://www.englishlab.com/uploads/7/8/0/3/7803054/2013jcpsrep.pdf>

# Apparition de la vie

L'auto-réplication, processus qui entraîne l'évolution de la vie sur Terre, est un mécanisme par lequel un système dissipe une quantité croissante d'énergie au fil du temps.

« Une bonne façon de dissiper plus est de faire plus de copies de vous-même ». Jeremy England

<http://www.englandlab.com/uploads/7/8/0/3/7803054/2013jcpsrep.pdf>

La 3ème loi rend la vie non seulement possible mais hautement probable à chaque fois que les conditions sont réunies.

# Apparition de la vie

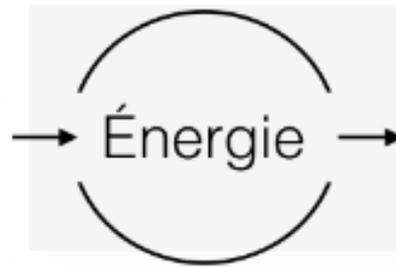
Dissipation d'énergie  $\Leftrightarrow$  apparition d'information

Mémorisation d'information permet de lutter contre l'effet de la reine rouge et de se réadapter pour continuer à dissiper le maximum d'énergie

Mémorisation d'information rendue probable par la 3ème loi

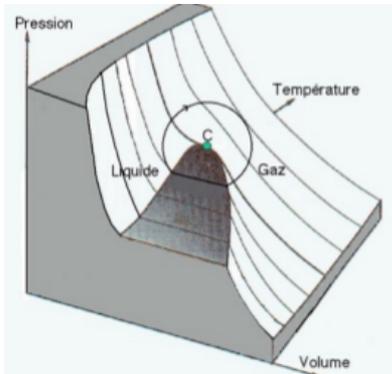
Mémorisation d'information = ARN / ADN dans le vivant

# La vie :

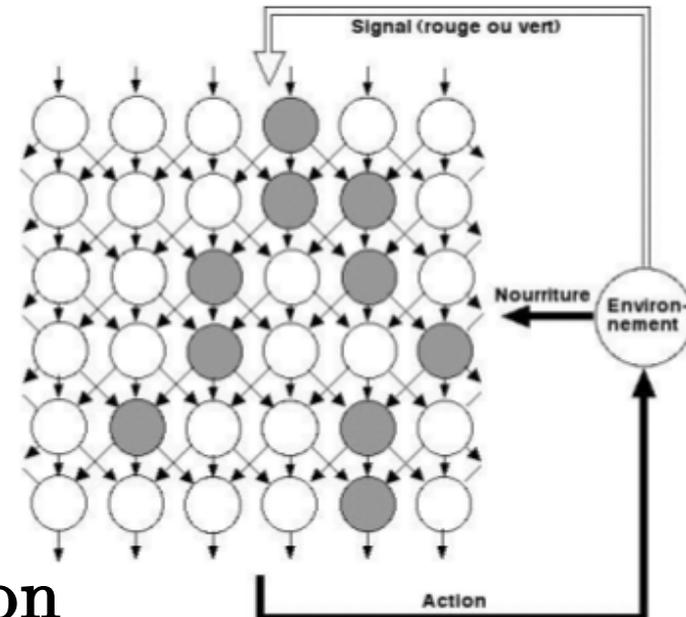


« Ici, il faut courir le plus vite possible pour rester en place »

## Cycle de comportement paradoxaux



Irréversible  
Imprédictible  
Information a posteriori  
**Transmission de l'information**



# Evolution

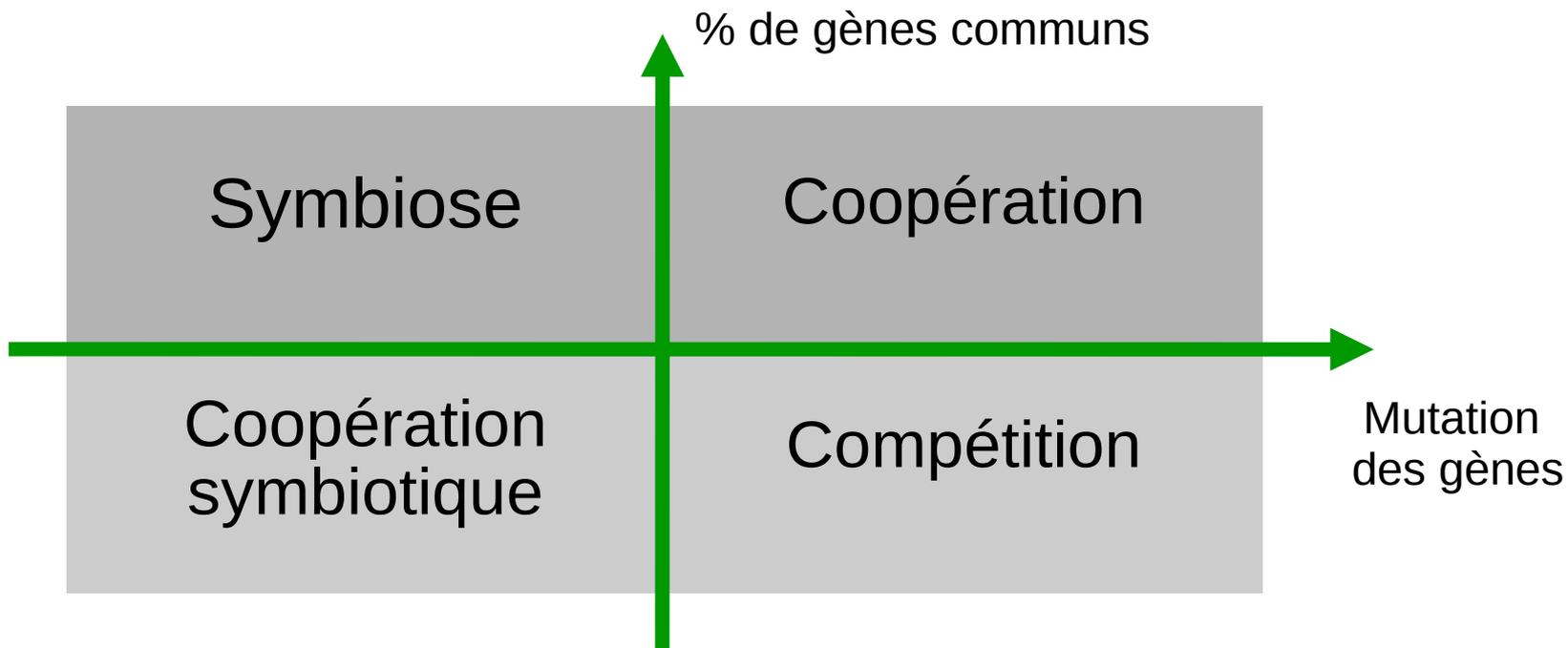
Adapté : très efficace pour accéder à l'énergie

Adaptable : très souple pour changer d'énergie

Adapté : performant en environnement stable  
Effet de la reine rouge ?

Adaptable : performant en environnement changeant  
Sélection naturelle si l'environnement se stabilise ?

# Evolution

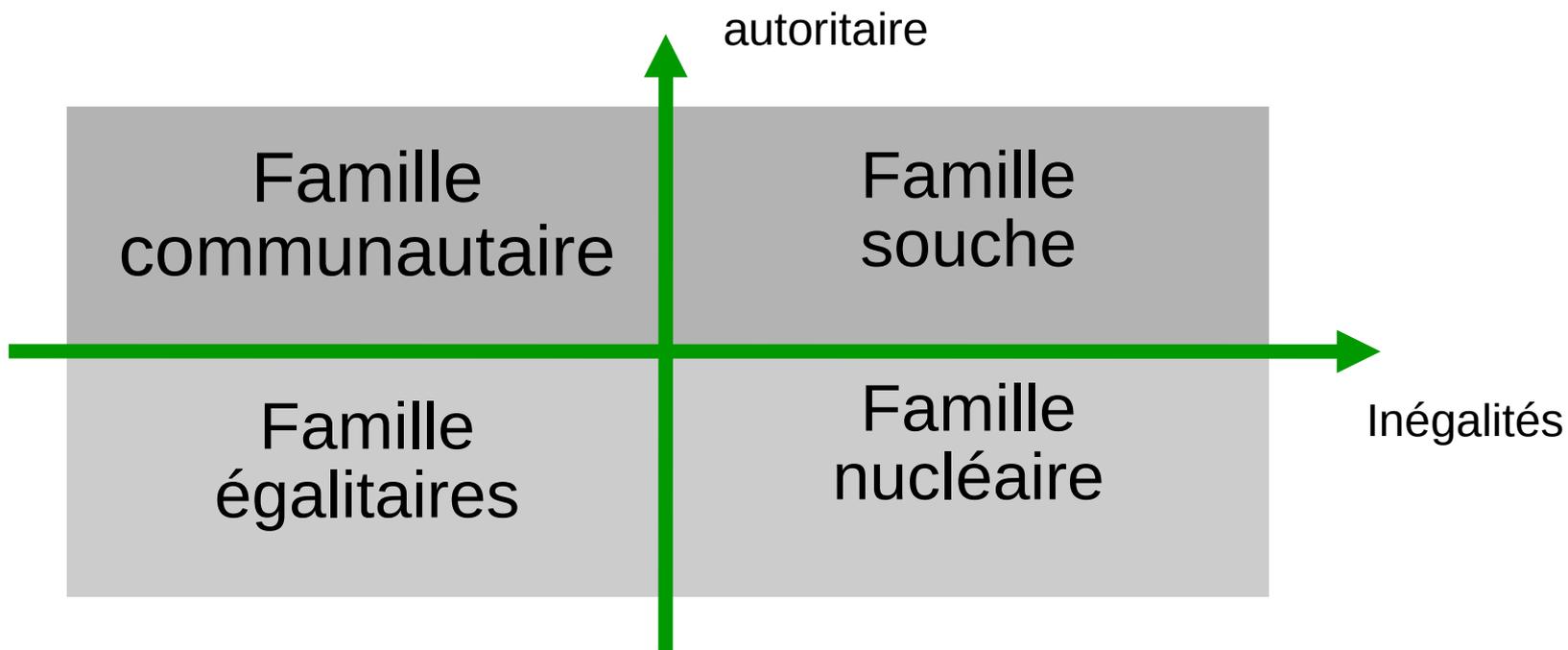


# Des gènes a la culture

La culture est une transmission d'information

Culture s'additionne aux gènes pour augmenter la dissipation énergétique ?

# Evolution



Communautaire = symbiose

Nucléaire = compétition

Egalitaire = le groupe s'adapte aux individus

Souche = l'individu s'adapte au groupe



**Plan :**

**1) tout évolue : des cohérences ?**

**2) les lois de l'énergie**

**3) du non-vivant au vivant, des gènes à la culture**

**4) Perspectives d'avenir**

# Evolution

L'évolution se fait par avalanches de bifurcation

Le moment de changement (révolution industrielle) que nous vivons va bientôt se terminer.

Hasard, effet de la reine rouge et augmentation de la création entropique feront l'avenir.

Comment sera notre avenir ?

# Avenir

Effondrement (suite accélérée de crises). Peut-on y échapper ?

Effet de la reine rouge : ralentir individuellement sa course signifie être éliminé

Effet de la reine rouge : maintenir nos infrastructures impose de consommer toujours plus

Ralentir collectivement ? La coopération n'apparaît qu'en environnement pauvre. Soit après l'effondrement

Environnement fortement instable = favorisation des petites structures (adaptables)



# Conclusions :

- Donne un **modèle de représentation au monde** qui est très robuste
- **Déstabilisant** (remise en cause du libre-arbitre)
- **Humilité** : l'Univers passe et nous avec
- **Surprenant** : aléatoire, donc imprévisible