

Regards croisés



« Thermodynamique » des systèmes organisés

Cf. Sciences of the artificial

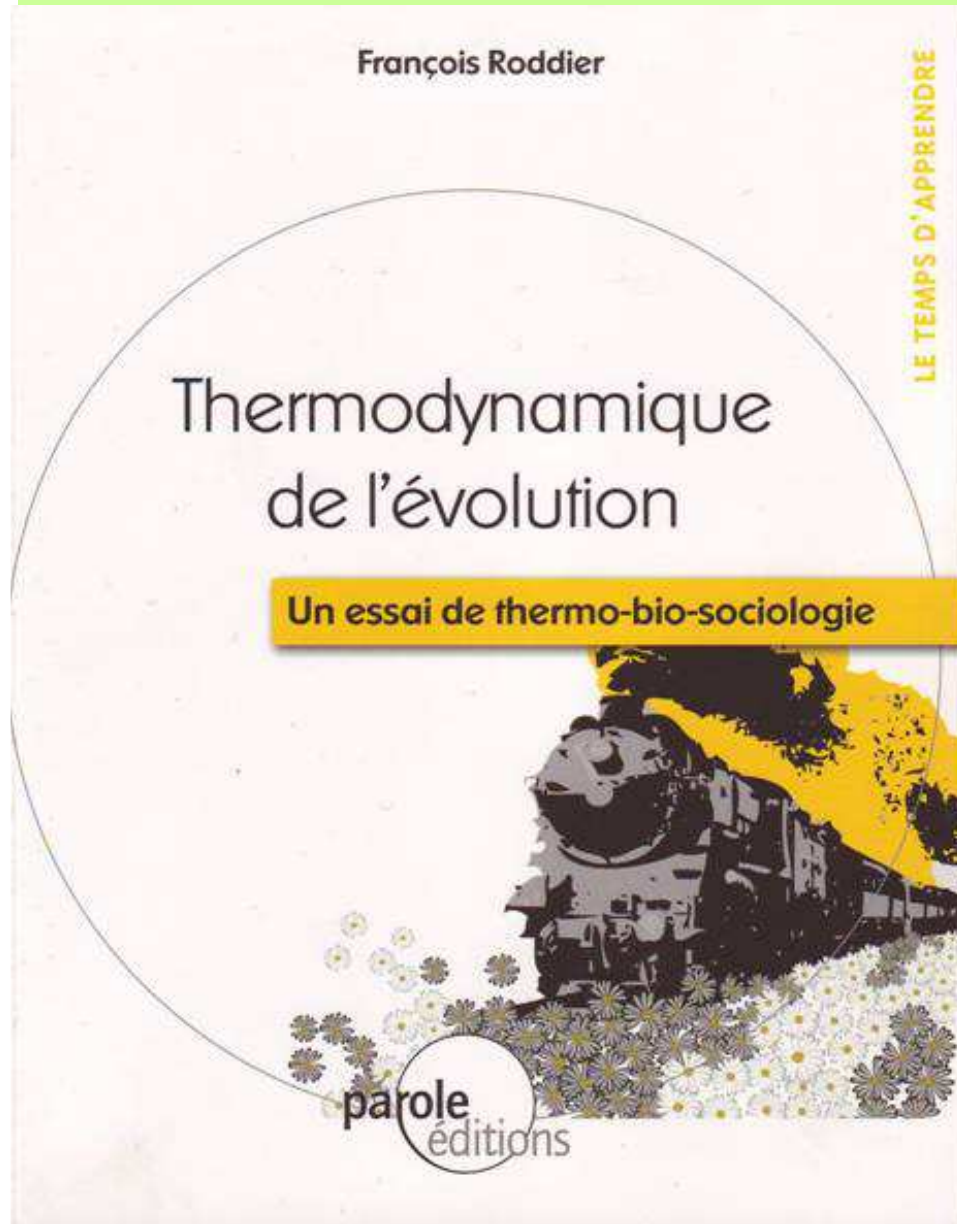
Vers une « Thermodynamique » du vivant et des sciences sociales

**Une lecture du livre de François Roddier :
Thermodynamique de l'évolution**

Plan

- **Une lecture du livre de François Roddier**
- **Le « hasard » biologique et les physiciens**
- **Rappels de qq. notions de thermodynamique**
- **La « machine » terrestre Gaïa**
- **Organisation des systèmes naturels et thermodynamique**
- **Systèmes biologiques**
- **Grandeurs « thermodynamiques » pour les Processus et systèmes à l'œuvre dans les organismes artificiels comme les SI**

François Roddier, astrophysicien



Introduction – Prologue, la notion d'évolution

I. Les lois de la thermodynamique

II. L'évolution génétique

III. Des gènes à la culture

IV. L'évolution culturelle

V. Compléments

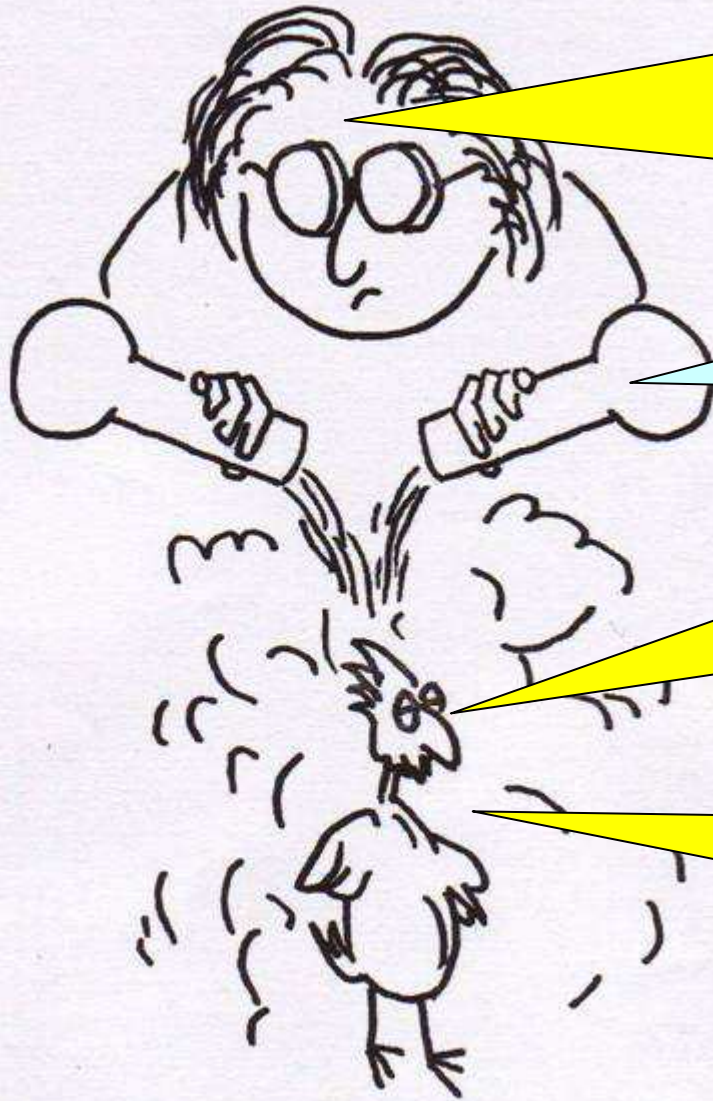
Entropie - Criticalité auto organisée

À la recherche du « hasard » ... et de la vie

⌘⌘⌘⌘

Messages de physiciens

Transition monde monde b



Your mess of chemical reactions turns into a chicken.
Source : R. Laughlin

Qui est-ce ?

- Le « Grand Horloger » de Voltaire
- Le dieu « Hasard » de J. Monod
- Le dieu « Évolution » des néodarwiniens
- La « Criticalité Auto-Organisée », source de la complexité (*Per Bak, Stuart Kauffman*)
- ???

▪ Différents corps chimiques simples, dont $\approx 80\%$ d'eau, ...

- Comment expliquer cette transformation « impossible » compte tenu des lois de la physique ???
- Que nous dit la thermodynamique ?

On remplace le poulet par :

- L'ADN de l'homme $\rightarrow$ 3,4 Md de bases (A, T, G, C, un alphabet à 4 lettres) $\approx$ 2.500 livres de 400 pages
- Le « noyau » du système LINUX $\rightarrow$ 2,3 MLS, soit $\approx$ 100 millions de caractères $\alpha\beta$, soit > 1 Md de bits en comptant les CCE

NB : un grand SI $\rightarrow$ 150 Millions de LS (≈ 60 Md de bits)

Contribution des physiciens à la compréhension du vivant

- ✚ **Pasteur → C'est un chimiste**
- ✚ **Schrödinger → Son livre : *Qu'est ce que la vie ?* [1947], a eu une influence décisive sur toute une génération de biologistes**
- ✚ **Pauling → C'est un chimiste (*cristaux aperiodiques*)**
- ✚ **Crick → D'abord physicien au Cavendish Lab.**
- ✚ **Wilkins → Spécialiste des images RADAR**
- ✚ **Delbrück → Physicien ; séjourne à l'Institut Pasteur, dans l'équipe Jacob-Monod**
- ✚ **Von Neumann → *The computer and the brain***
- ✚ **Schützenberger → Algorithmes du vivant**
- ✚ **Laughlin , Etc. ... Etc.**

Schrödinger dans le texte ...

Extraits de : *Qu'est-ce que la vie ?*

§62 : Le développement des événements dans le cycle vital d'un organisme témoigne d'une régularité et d'un ordre admirables, qui ne sont égalés par rien de tout ce que nous rencontrons dans la matière inanimée. Nous constatons qu'il est contrôlé par un groupe d'atomes, en ordre parfait, et qui ne représente qu'une petite fraction dans la somme totale dans chaque cellule. ...

§63 : ... pour le physicien cet état de choses n'est nullement plausible ; ... il est sans précédent. Contrairement à la croyance commune, le cours normal des événements, gouverné par les lois de la physique n'est jamais la conséquence d'une configuration bien ordonnée d'atomes – à moins que cette configuration d'atomes se répète un grand nombre de fois ...

Le mouvement brownien d'une petite particule suspendue dans un liquide est complètement irrégulier, mais s'il y a beaucoup de particules similaires, elles donneront naissance, par leur mouvement irrégulier, au phénomène régulier de la diffusion. ... si l'on pouvait vous donner un seul atome radioactif, sa survie probable serait beaucoup moins assuré que celle d'un moineau en bonne santé. ...

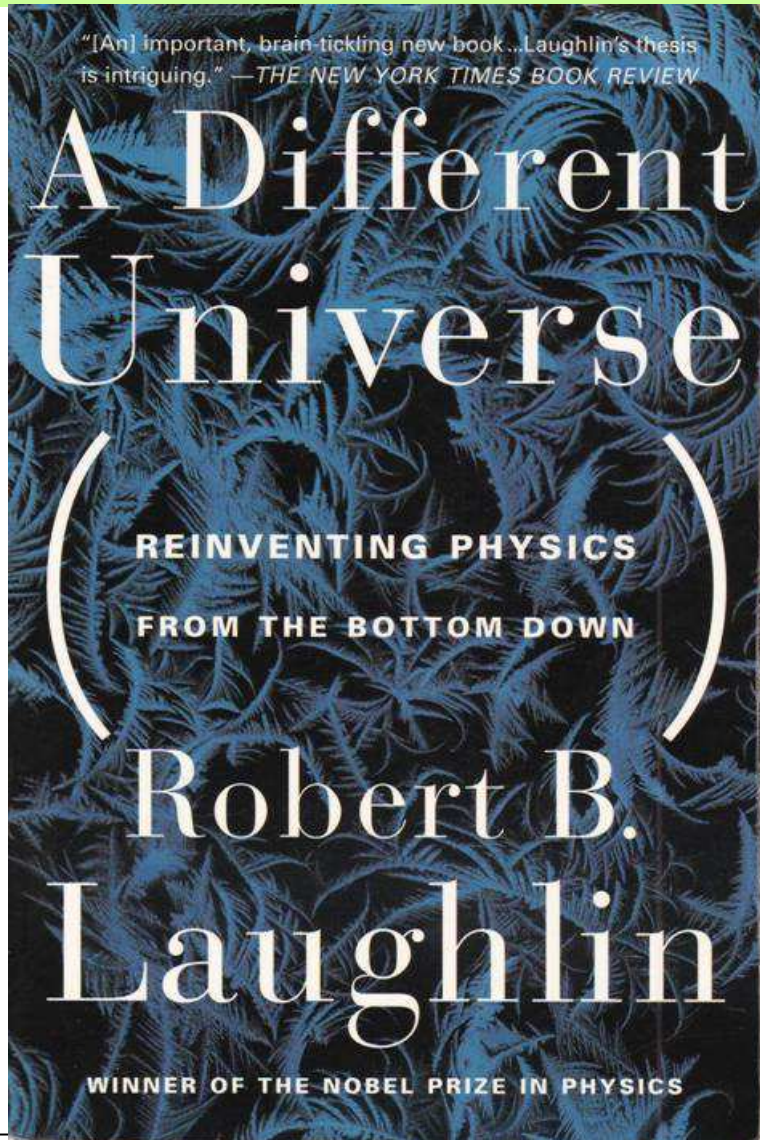
§65 : Deux méthodes de production d'ordre. ... mécanisme statistique qui produit de « l'ordre à partir du désordre », et la méthode nouvelle, « créatrice d'ordre à partir d'ordre ». ...

§66 : ... le « nouveau principe », l'ordre par l'ordre, que nous avons désigné solennellement comme étant la véritable clef pour la compréhension de la vie, n'est pas du tout une nouveauté en physique. Planck lui-même ...

↪ **Au niveau atomique, l'indéterminisme absolu est la règle de ce que l'on observe, mais au niveau moléculaire le monde est Newtonien / déterministe**
→ Échelle des observations

... en écho, R.Laughlin, 50 ans plus tard

... – Chapitre 15, Principes de vie



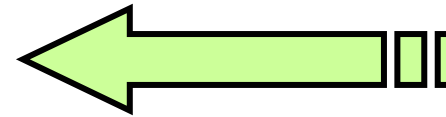
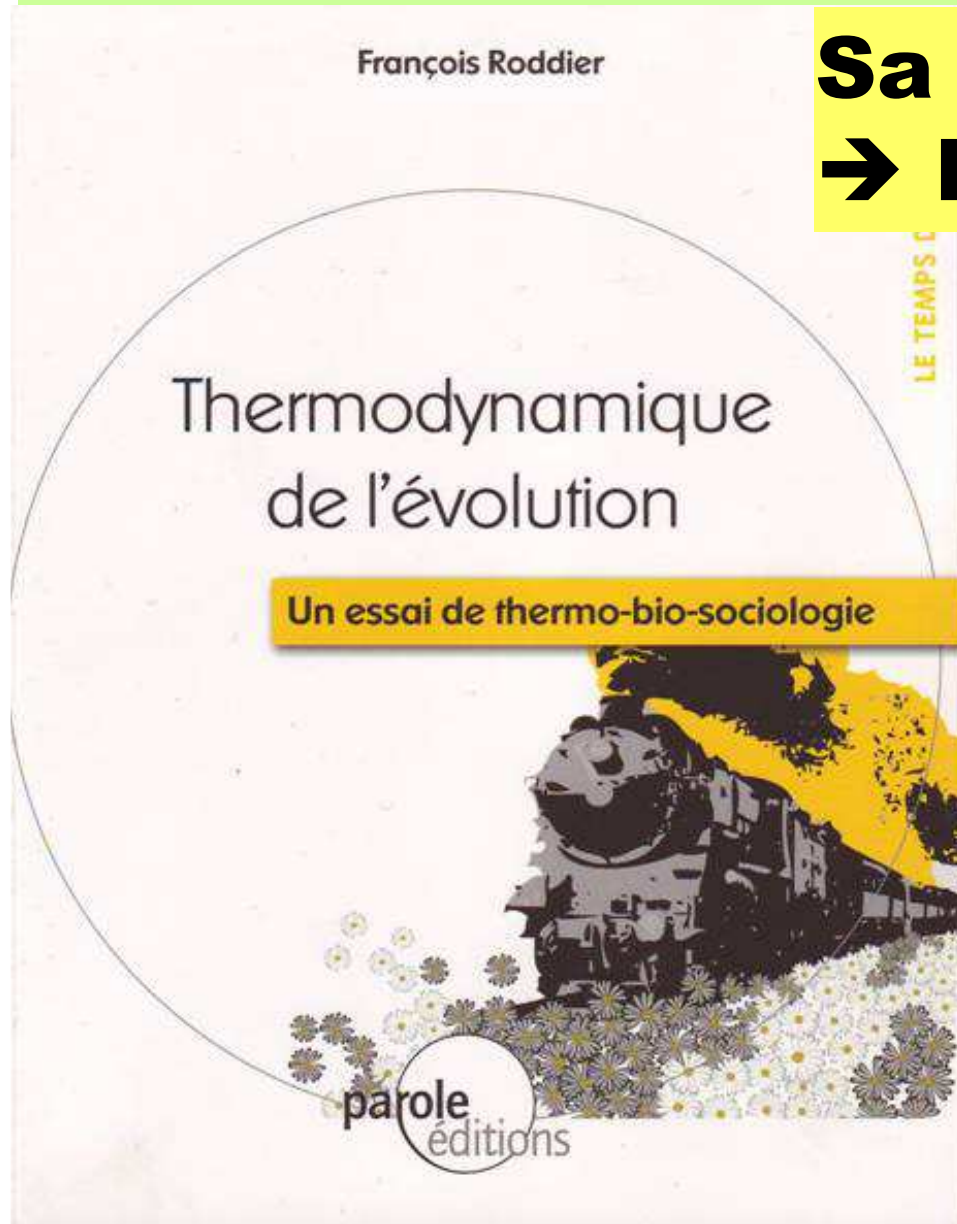
Prix Nobel 1998, Physique du solide et mécanique quantique

☞ Ce livre contient une réflexion profonde sur la nature des expériences et la pertinence des données d'observations qui résultent de ces expériences

→ Souligne l'importance cruciale de la **conception** des expériences pour **extraire le sens** caché des phénomènes observables

Et François Roddier

**Sa clé de lecture :
→ La thermodynamique**



**Qui va beaucoup, beaucoup,
... plus loin que R.Laughlin et
des physiciens antérieurs
dans l'extrapolation hors du
domaine habituel de la
physique**

Les clés de lecture de F.Roddier

➤ 1^{ère} clé : Les structures dissipatives

- I.Prigogine, Physicien russo-belge, Prix Nobel 1977

➤ 2^{ème} clé : La criticalité auto organisée

- Per Bak, Physicien danois, Institut Niels Bohr

➤ 3^{ème} clé : La 3^{ème} loi → MEP



Le tas de sable stocke de l'énergie potentielle qui va se libérer aléatoirement selon une loi de puissance

→ Complexity is a consequence of criticality, **How nature works**, P112



Rappel sur l'origine et les développements de la thermodynamique

La science de la chaleur ... /1

↪ **L'histoire de la thermodynamique démarre avec 2 instruments de mesure :**

- Le thermomètre [1624 ...]
- Le baromètre [1643, *Torricelli*] et les expériences de Pascal [1623-1662]

qui vont contribuer à la ruine de la physique d'Aristote → « La nature à horreur du vide », c'est faux !!!

↪ **On sait que les corps se transforment les uns dans les autres [métallurgie primitive], mais on ne sait pas comment :**

- « explications » alchimiques, mais Newton est surtout un alchimiste ... et cela ne choque personne, à l'époque !!!



La science de la chaleur ... /2

↪ Mais aussi :

- La **balance** à trébuchet de *Gilles Personne de Roberval*, 1602-1675
- L'**horloge** de précision de *Christian Huygens*, en 1678-79

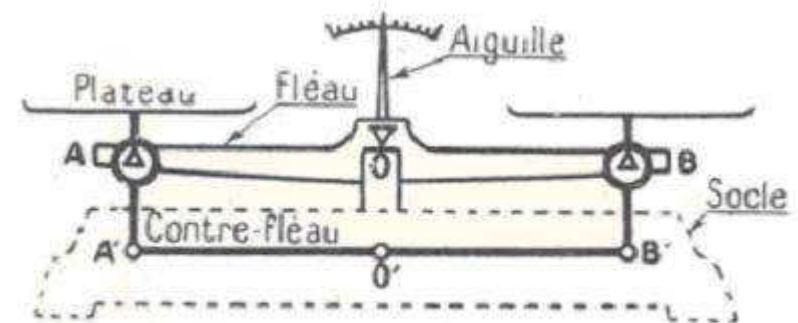
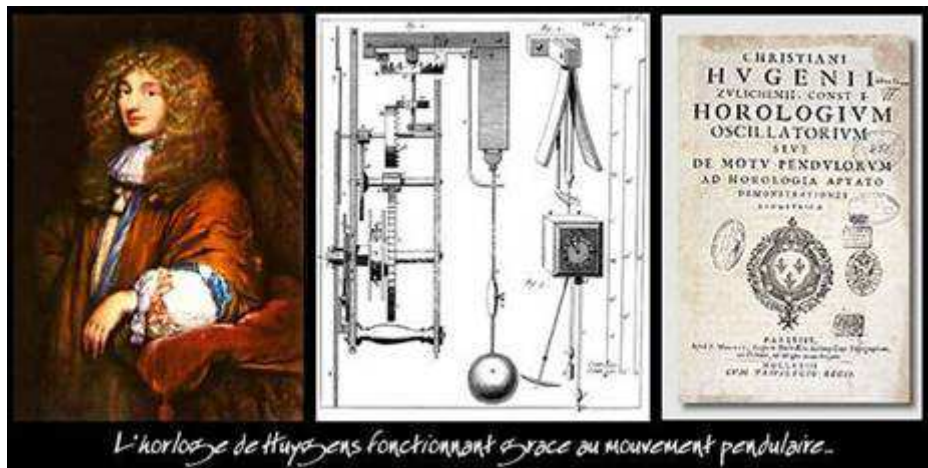
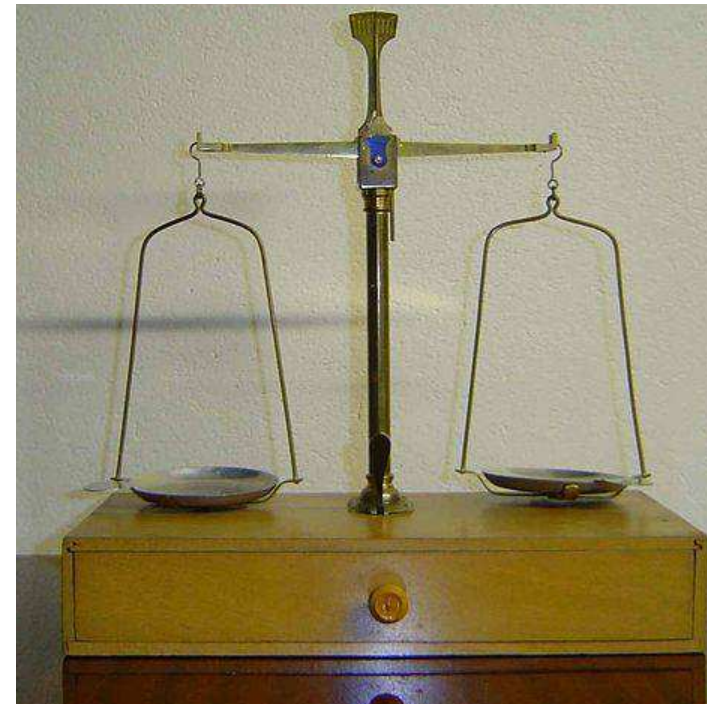


Fig. 178. — Schéma d'une balance Roberval.



Toricelli observe que les fontainiers de Florence ne peuvent monter l'eau avec une pompe aspirante à plus de 10,4 m. Il comprend que cette valeur limite est due à la pression atmosphérique.
(les merveilles de la science L.Figuier)



Torricelli [1608-1647] et son baromètre
→ Découvert par les fontainiers de Florence

Qui y a t-il là ?! → Du vide, mais, selon Aristote, « La nature a horreur du vide » !!!

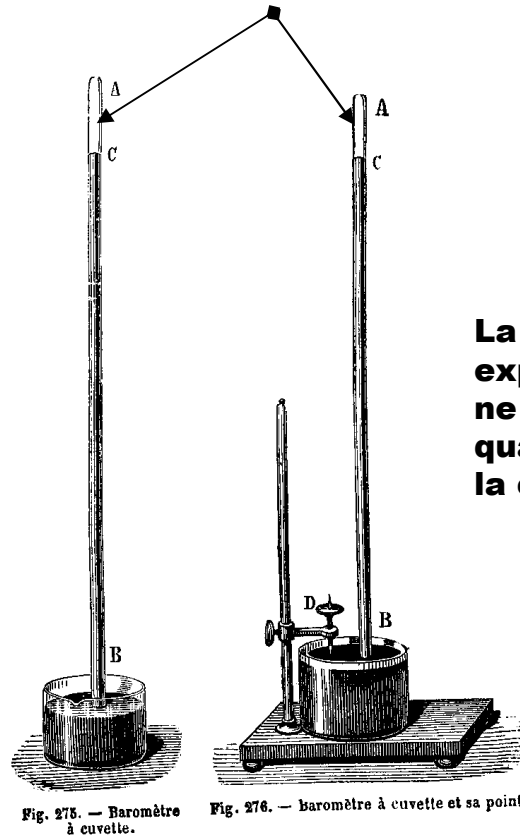
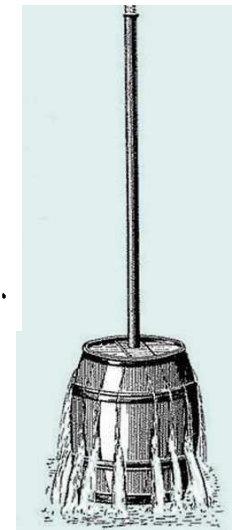


Fig. 275. — Baromètre à cuvette.

Fig. 276. — Baromètre à cuvette et sa pointe.

La pression qui fait exploser le tonneau ne dépend pas de la quantité d'eau dans la colonne !!!



Pascal et son tonneau



Le thermomètre de Galilée →1593

Grandeurs extensives : le nombre d'entité concernées [cf. complication, au sens PF] → La masse du système, la capacité calorifique, l'énergie, l'entropie (quantité de désordre)

Grandeurs intensives : « qualité/vertu » des entités dans le contexte du système → La température, la pression

Créer du mouvement avec de la chaleur



Le fardier de Cugnot [1769], au musée du Cnam

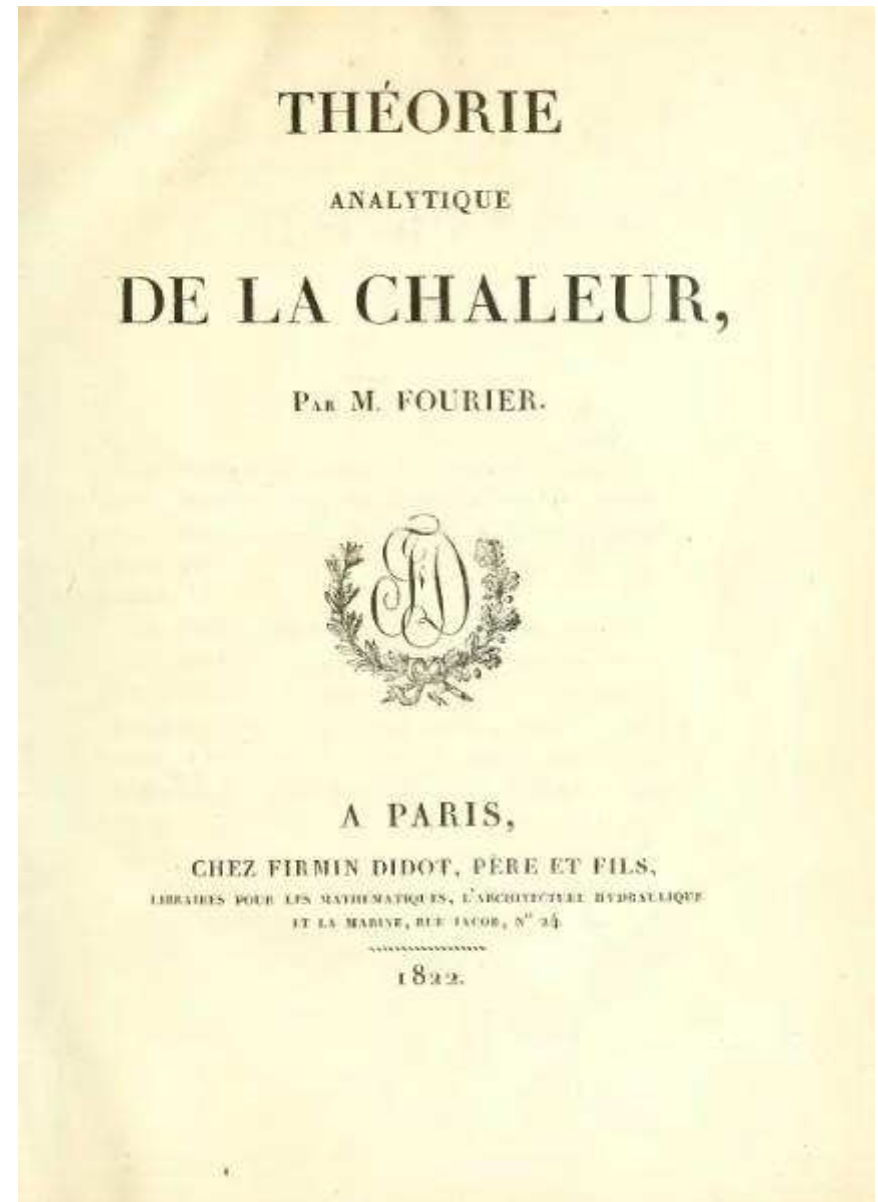
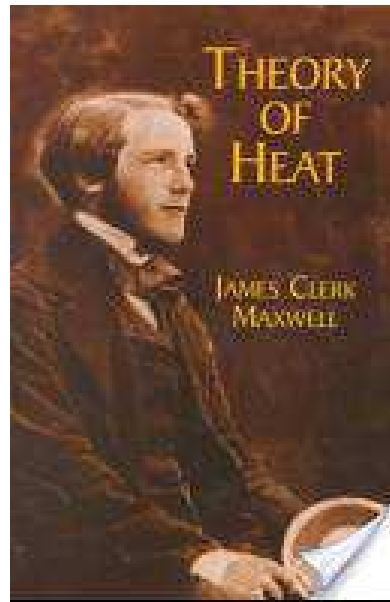
Grandeurs thermodynamiques

↪ **Température** et **Pression** sont 2 nouveaux types de grandeurs physiques qui **caractérisent l'état macroscopique d'un corps**
→ Elles ne sont pas additives

On parle alors de grandeurs **Intensives**, par opposition aux grandeurs **Extensives** qui, elles, sont additives [la masse, la durée, la vitesse, etc.]

Quelques noms de la thermodynamique ...

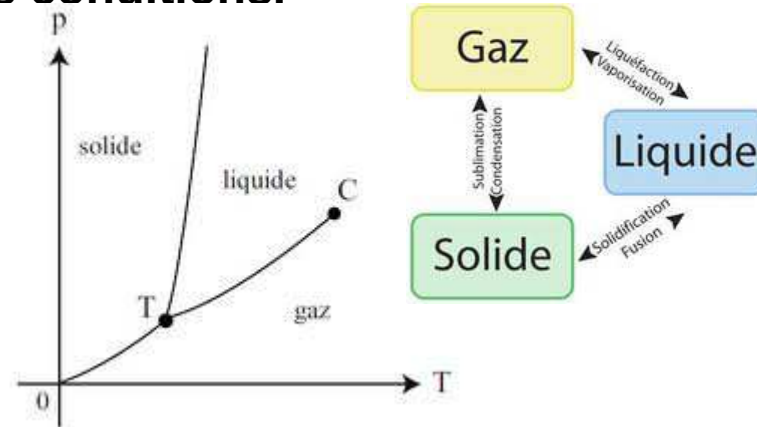
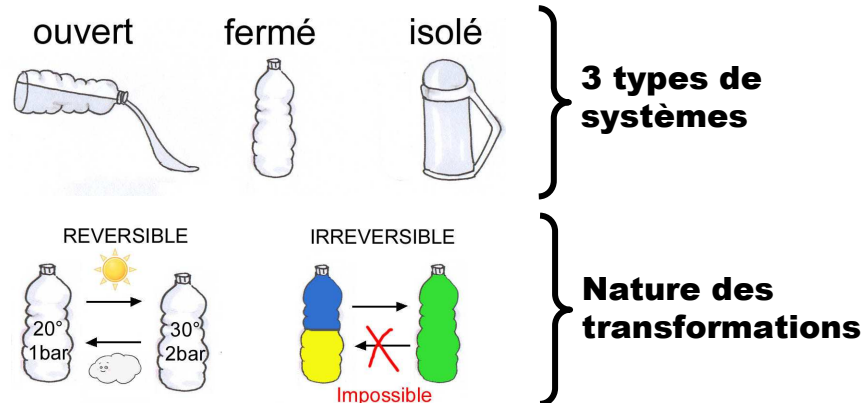
↪ **Tout le monde connaît
Mariotte, Lavoisier,
Carnot, Clausius, ...
mais beaucoup moins
les apports de **Fourier**,
Maxwell, **Gibbs**,
Duhem, ...**



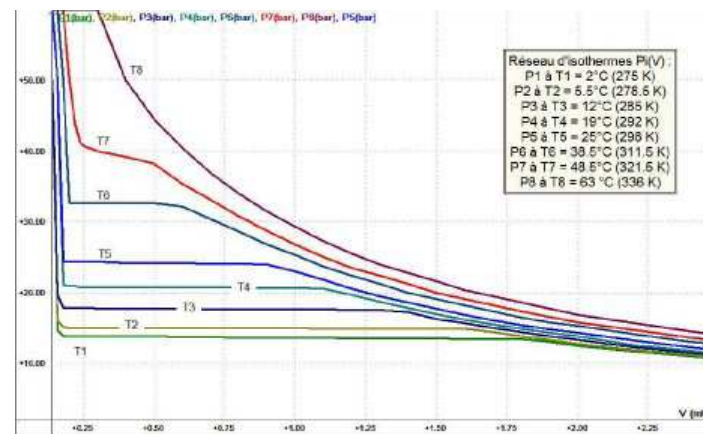
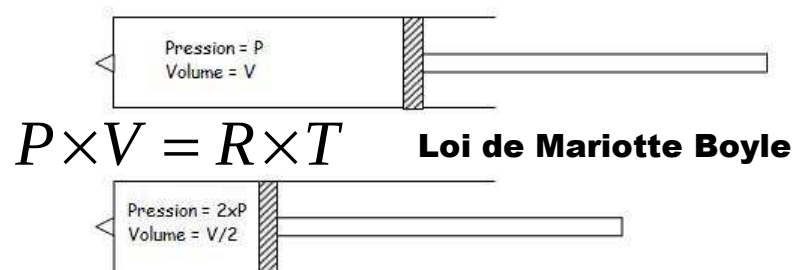
De quoi s'occupe la thermodynamique

La thermodynamique est l'étude des lois qui gouvernent les échanges de chaleur dans les systèmes à l'état d'équilibre et l'atteinte des états d'équilibre (thermodynamique des processus réversibles, cinétique chimique)

→ Ces lois sont généralisées aux systèmes hors équilibres (thermodynamique des processus irréversibles), sous certaines conditions.



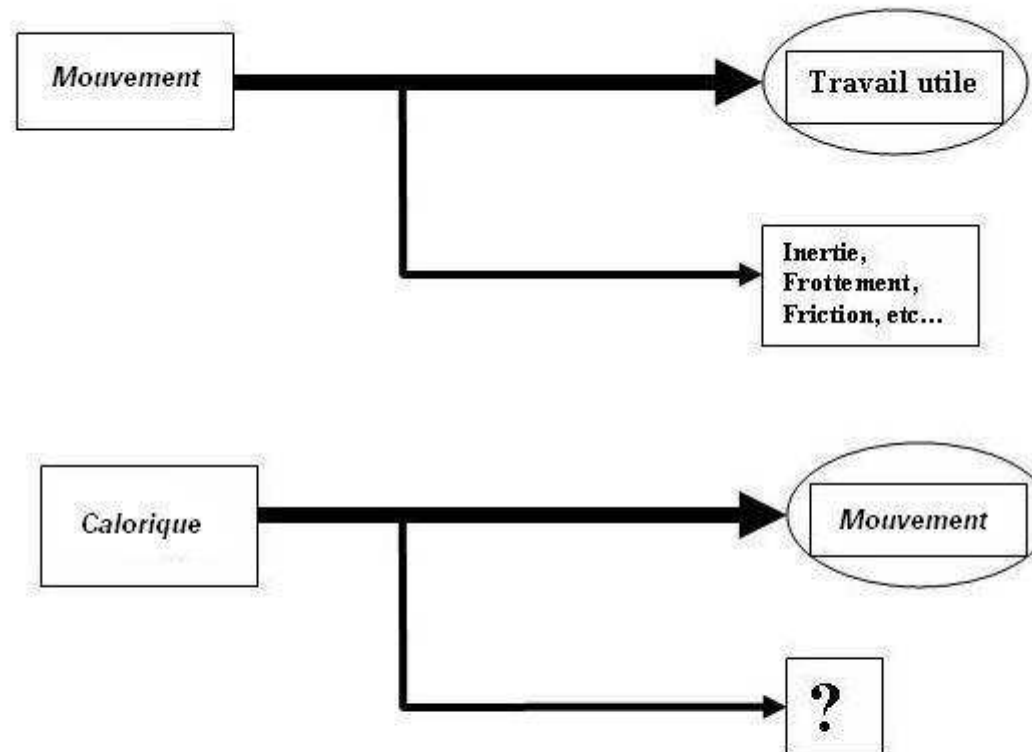
→ Frontière Dedans / Dehors



A la recherche d'analogies fécondes

ANALOGIE des PROCESSUS

Conversion de l'énergie effectuée au moyen de machines

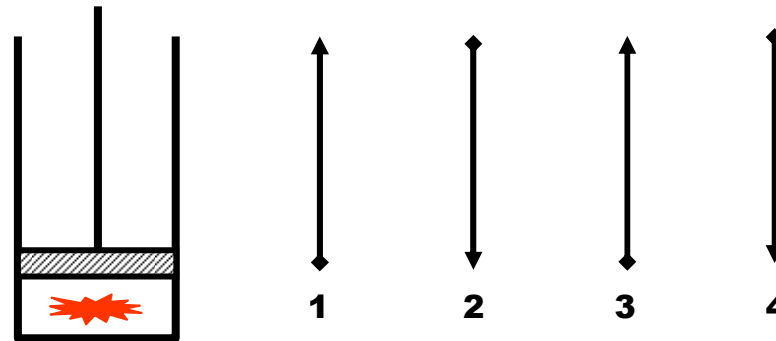
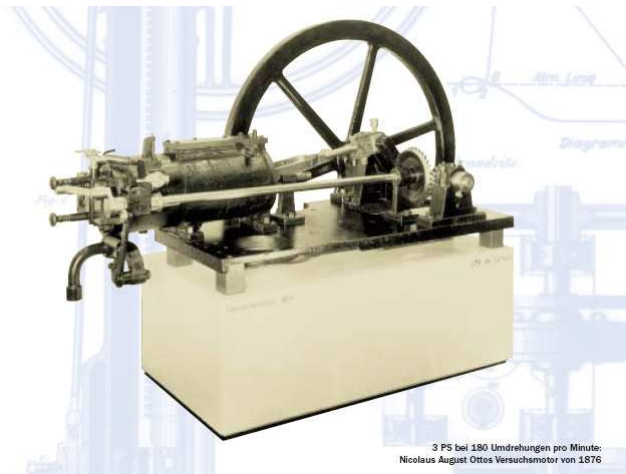
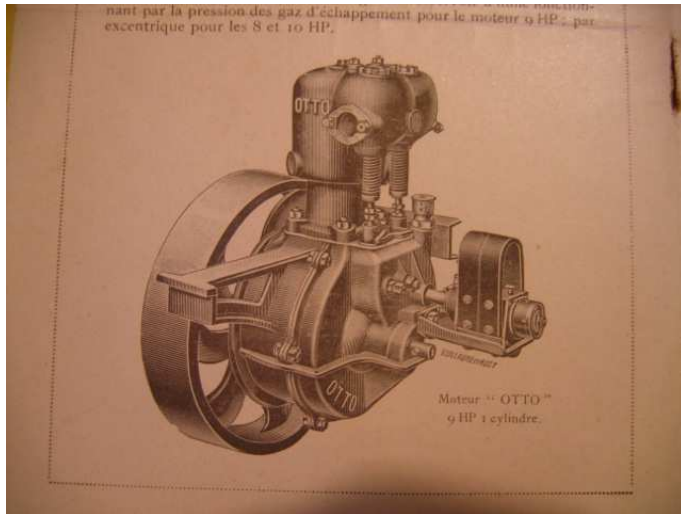


Sadi Carnot s'est posé la question de savoir où allaient les pertes thermiques ?

Calorique = début 19ème, on pensait que la chaleur était véhiculée par une substance appelée calorique. ☞ disparaît définitivement avec la théorie atomique

Processus irréversibles utiles

→ Les explosions ... mais comment les réguler ?



Explosion

Les 4 cycles :

- 1. Détente et production d'énergie mécanique**
- 2. Compression et évacuation des gaz brûlés**
- 3. Aspiration Gaz + Oxygène**
- 4. Compression, puis en fin, explosion**

Retour à 1

Les ressources nécessaires à la puissance motrice :

- 1. Charbon ou Bois + Oxygène ⇒ Combustion**
- 2. Combustion + Eau ⇒ Vapeur à haute pression**
- 3. La pression doit être régulée, sinon la machine explose (soit soupape, soit régulateur à boules)**
- 4. La vapeur se détend dans le cylindre à température atmosphérique et produit de l'énergie mécanique**

Les états de la matière à notre échelle

↪ **Gaz : occupe tout l'espace disponible**

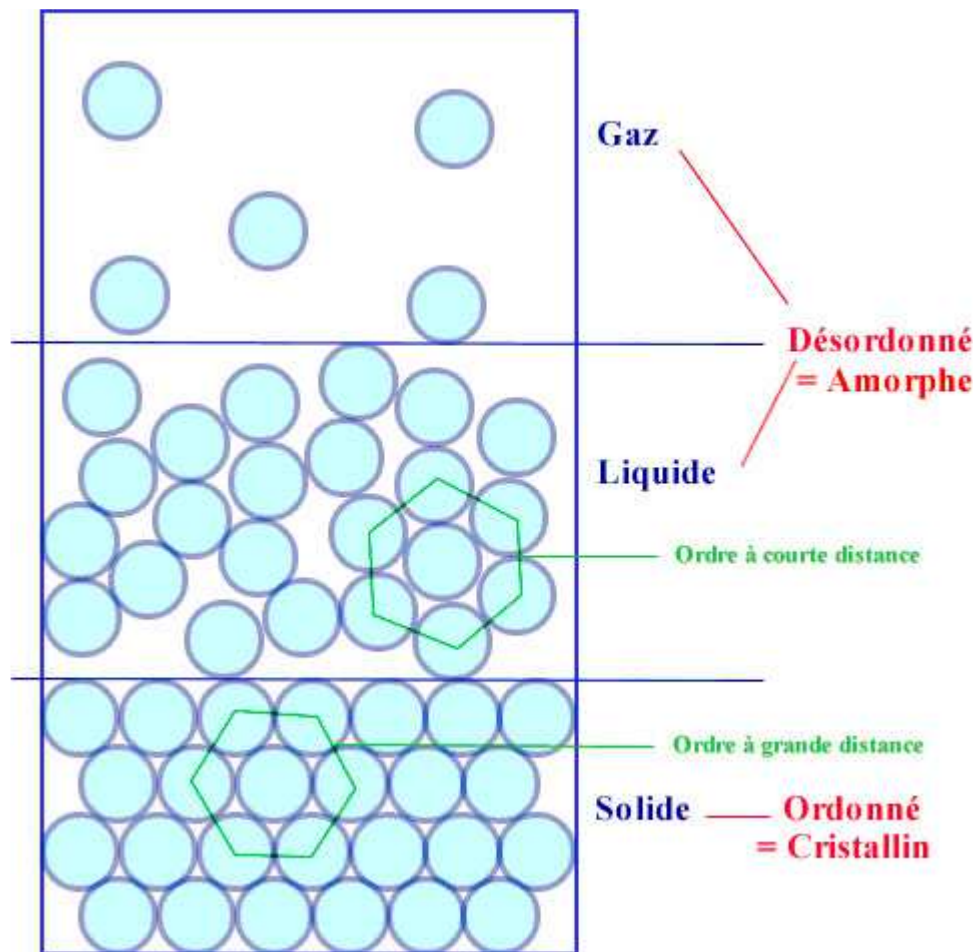
- Compressible, pas de forme propre

↪ **Liquide : prend la forme du récipient qui le contient** [mais PB avec les superfluides]

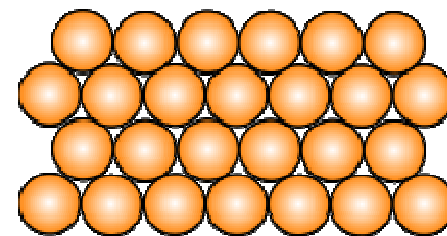
- **Incompressible** $\Rightarrow$ Donc transmet la pression (le tonneau de *Pascal*) – Pas de résistance au cisaillement (mais poussée d'Archimède) – Surfaces + tension superficielle, viscosité

↪ **Solide**

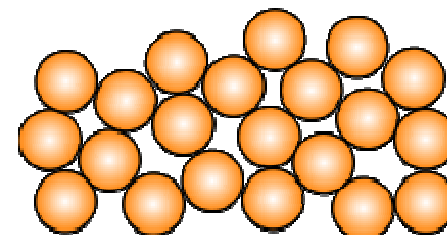
- **Forme géométrique 3D stable** $\rightarrow$ Plus/moins déformable – **Forces 3D** : a) Compression/étirement ; b) flexion ; c) Torsion – **Friction** [ça chauffe quand on frotte ! $\rightarrow$ Freinage]



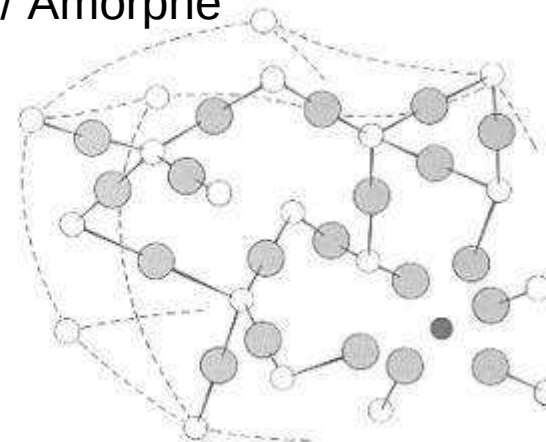
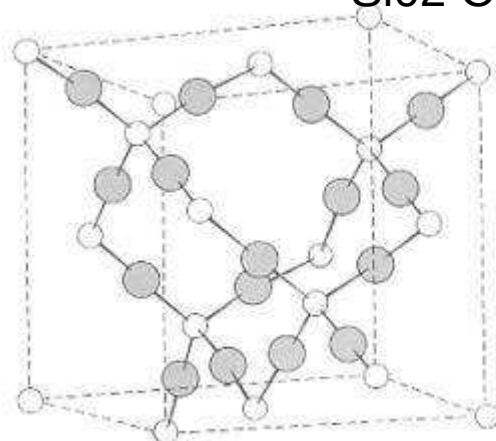
cristal



amorphe

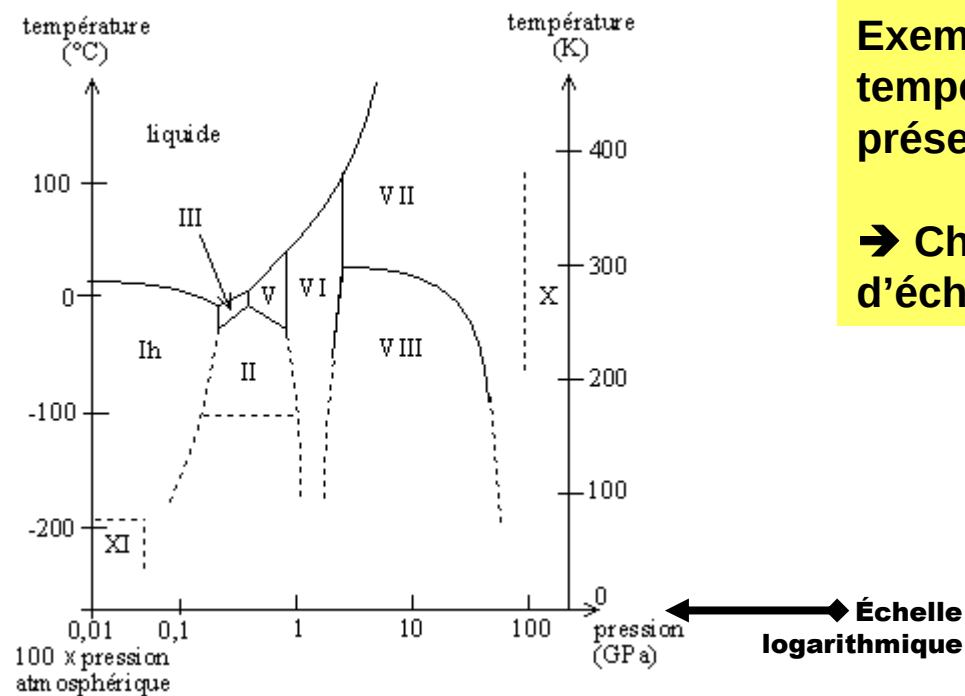


SiO₂ Cristal / Amorphe



Les changements de phases

↪ Outre les transitions fondamentales : solide, liquide, gaz, qui requièrent beaucoup d'énergie, il y a les changements qui affectent la **structure cristalline** des corps



Exemple de la glace : En fonction de la température et de la pression, la glace présente de nombreuses variétés cristallines

→ Chaque changement s'accompagne d'échanges énergétiques

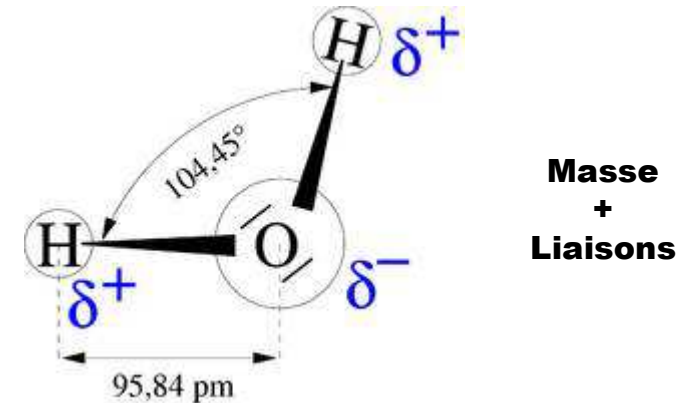
L'eau

↪ **Rien** dans la molécule d'eau ne laisse présager de la multiplicité des formes prises selon les conditions énergétiques globales [Température]

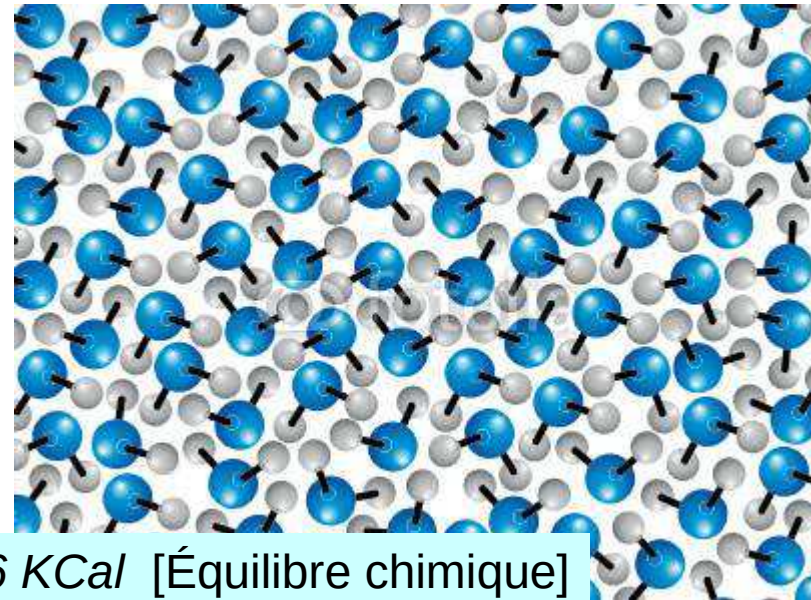
- Basse énergie → Solide
- Moyenne énergie → Liquide
- Haute énergie → Gaz

Cf. la physique des tas de sable

Une molécule d'eau H₂O

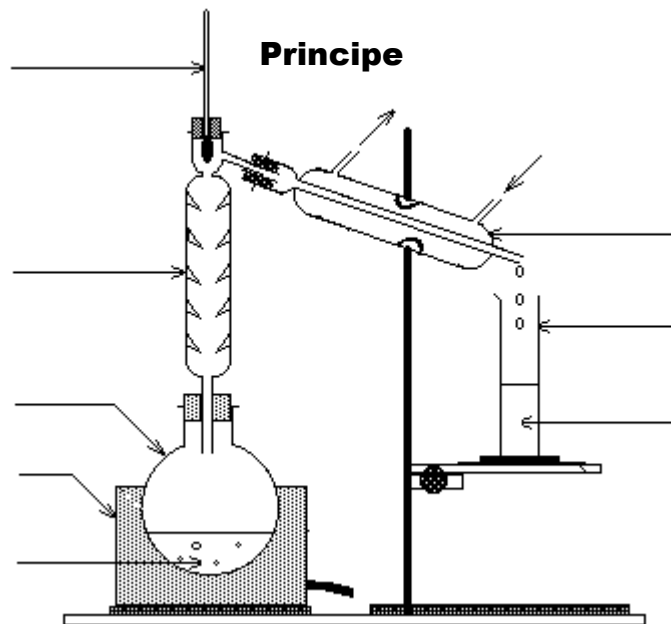


Foule de molécules d'eau

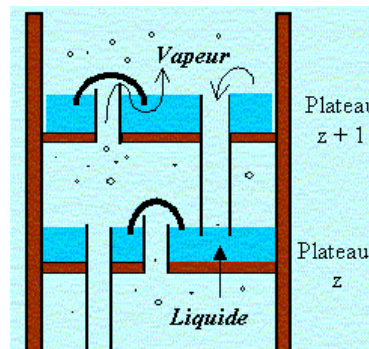


Energie : $2 \times H_2 + O_2 \rightarrow 2 \times H_2O$ modulo $\approx \pm 136 \text{ KCal}$ [Équilibre chimique]

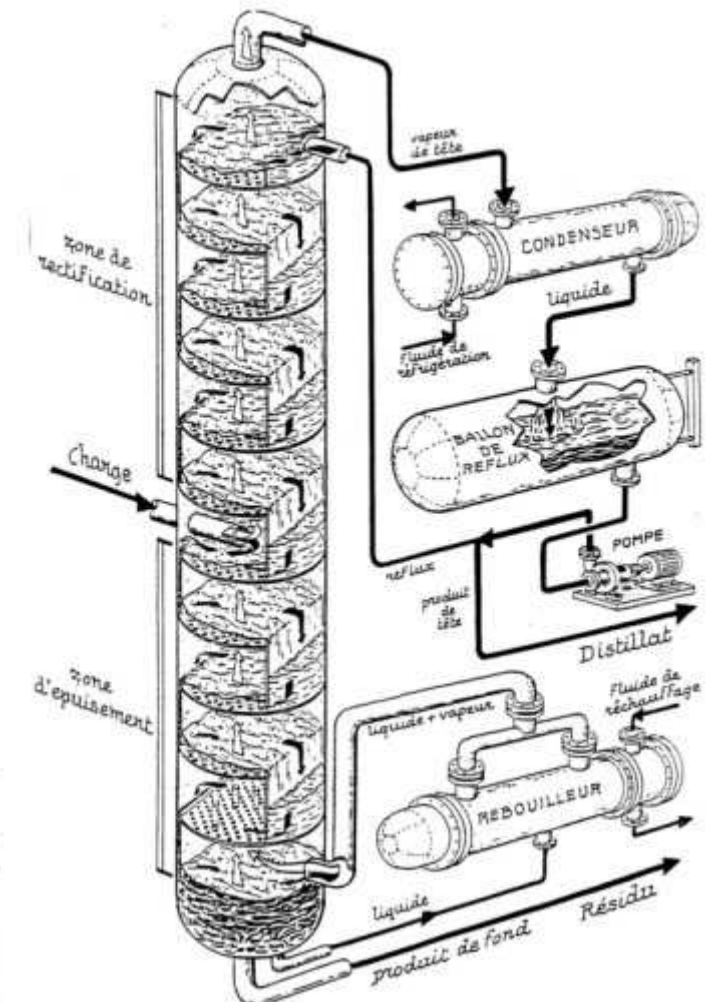
Vous avez dit « Équilibre » ...



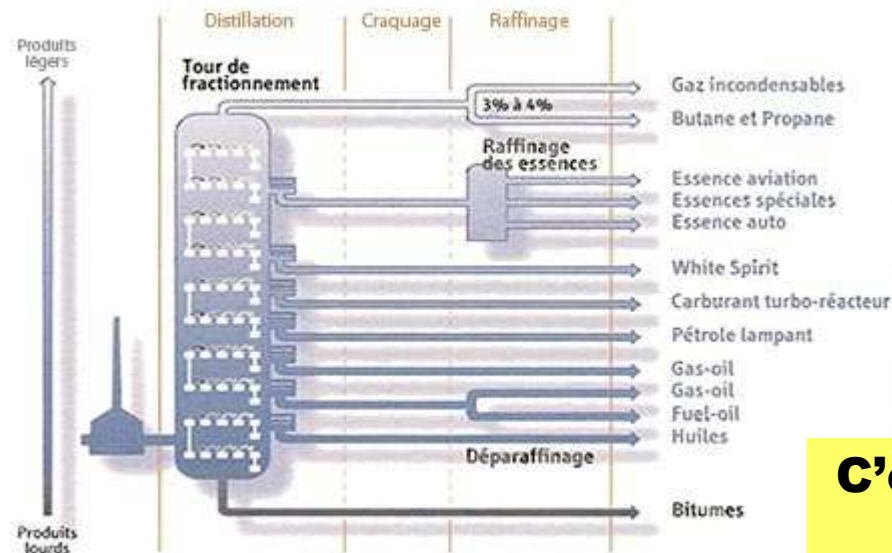
Métaphore de la colonne à distiller



Vue 3d des écoulements dans une colonne



C'est une machine à trier les molécules intéressantes



Comment la chaleur se propage :

↳ Les trois modes de transmission de la chaleur :

Par **rayonnement** → ondes électromagnétiques

- Le soleil chauffe la terre par le rayonnement infrarouge [essentiellement]

Par **conduction** → énergie cinétique

✓ [Cf. la théorie, *fausse*, du « fluide calorique »]

- Une barre métallique conduit très bien la chaleur [agitation thermique des atomes constitutifs de la matière]

Par **convection** → transport de matière

- Le noyau terrestre [Ni-Fe] à 7-8.000°C transfère sa chaleur vers l'extérieur, via le volcanisme, par des courants de convection très lents, mais très puissants, à l'origine de la tectonique des plaques et de la dérive des continents

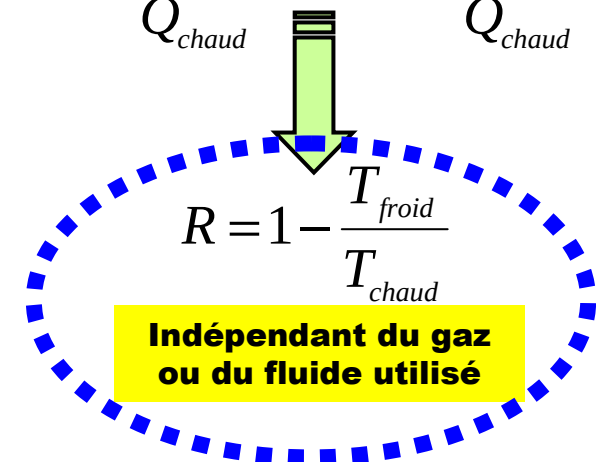
Lois et principes / .1

↳ Les grands principes :

- **Conservation** de la masse, Lavoisier 1743-94 : ***Rien ne se perd, rien ne se crée, tout se transforme***
 - ✓ Il « liquide » la théorie du phlogistique, grâce à des mesures précises
- Carnot [1796-1832]-Clausius [1822-88] : ***Irréversibilité*** du « mouvement de la chaleur » $\Rightarrow$ On passe ***toujours*** du ***Chaud*** vers le ***Froid***
- Rendement des moteurs thermiques : $R = \frac{Q_{chaud} - Q_{froid}}{Q_{chaud}} = 1 - \frac{Q_{froid}}{Q_{chaud}}$
- Notion d'entropie (en grec $\rightarrow$ évolution)

$$\frac{T_{froid}}{T_{chaud}} = \frac{Q_{froid}}{Q_{chaud}} \quad \text{D'où :} \quad \frac{Q_{chaud}}{T_{chaud}} = \frac{Q_{froid}}{T_{froid}} \quad \text{D'où :} \quad \frac{Q_{chaud}}{T_{chaud}} \leq \frac{Q_{froid}}{T_{froid}}$$

Si réversible **Monde réel**



$R = 1 - \frac{T_{froid}}{T_{chaud}}$

**Indépendant du gaz
ou du fluide utilisé**

Lois et principes / .2

- Notion d'entropie [suite]

Une même quantité de chaleur a une valeur énergétique récupérable plus grande quand elle émane d'un corps **chaud** que d'un corps **froid**

- D'où :

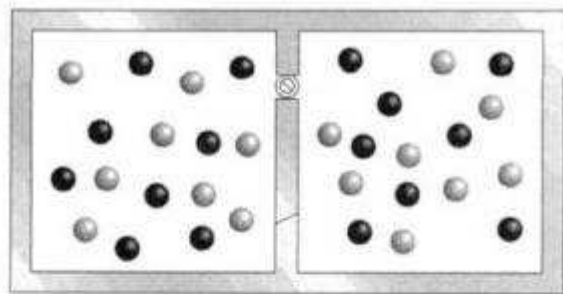
Plus c'est « froid » et plus ça devient irréversible :

$$\text{Si } T \rightarrow 0, \text{ alors } \frac{Q}{T} \rightarrow \infty$$

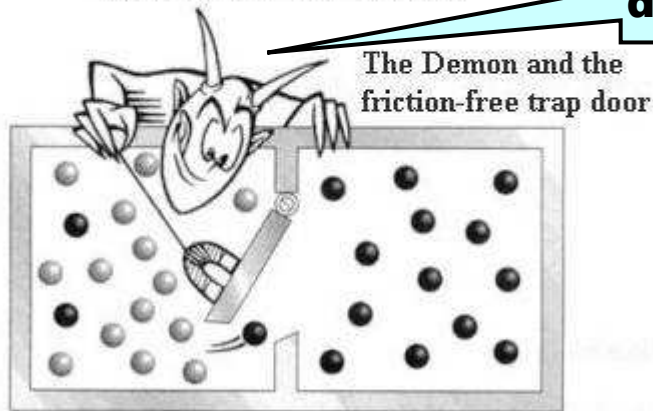
Au voisinage du zéro absolu, il faut une énergie infinie pour recréer de la chaleur ; à comparer avec la notion de néguentropie de la théorie de l'information

→ Plus c'est prévisible, moins c'est porteur d'information (la taille du code est une mesure de la rareté).

Le démon de Maxwell

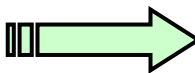


System at Equilibrium



System with Lower Entropy
(in violation of the Second Law)

Par son action, le Démon fabrique de l'ordre



Les deux compartiments sont indifférenciés.

Aucun gradient énergétique entre eux.

Pour comprendre ce qui se passe, le « Démon » doit interagir, et pour cela dépenser de l'énergie

Pour faire le tri entre les particules « chaudes » et les particules « froides », le démon à besoin d'information sur l'état des particules.

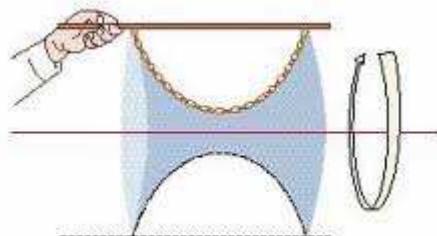
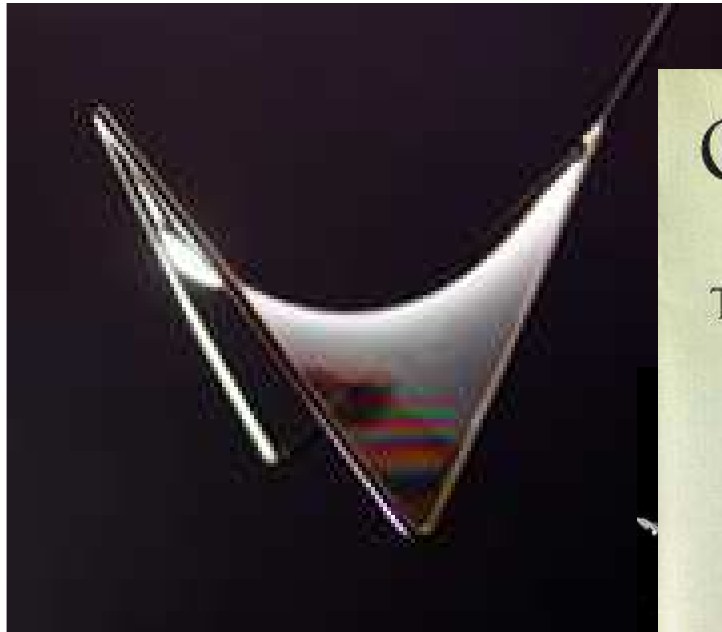
Pour cela, il consomme de l'énergie !

☞ Ce qui évite le viol du 2ème principe.
Cf. Szilard, Brillouin, ...

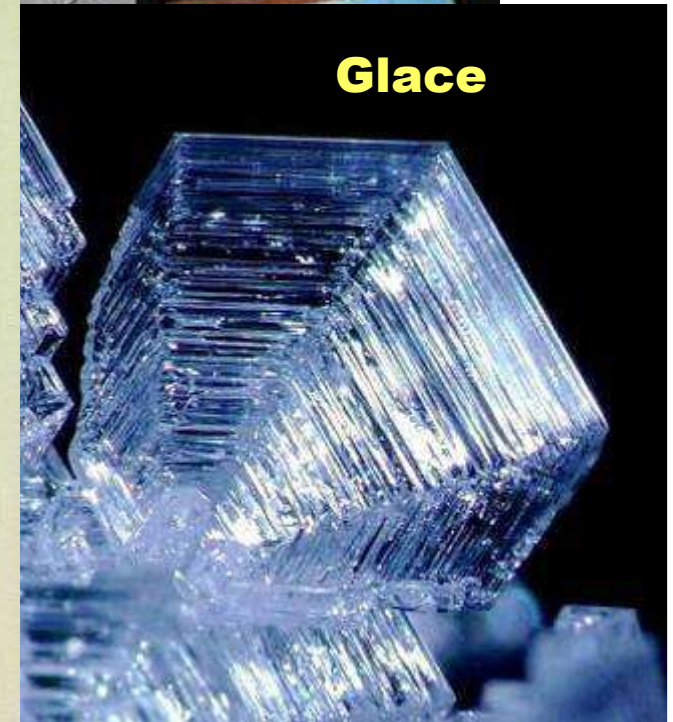
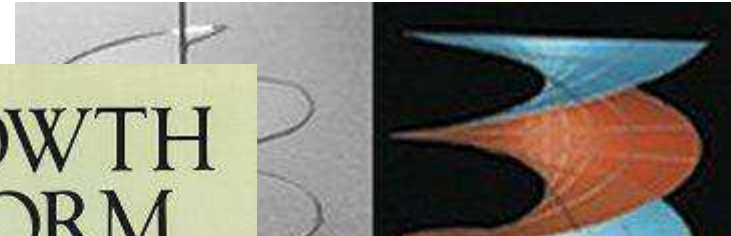
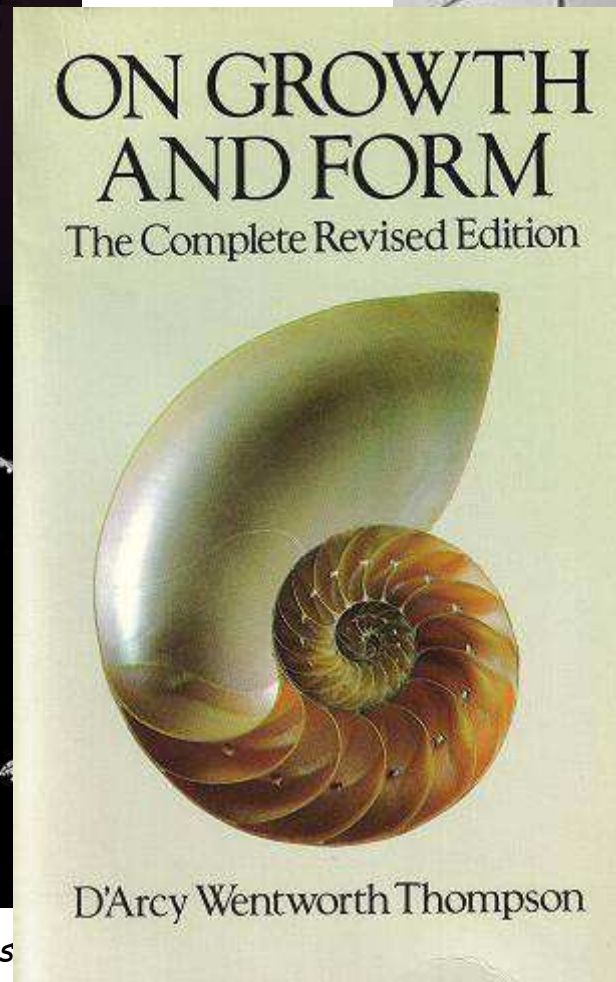
Il rend l'organisation du système improbable, ce qui a pour effet d'augmenter son information [au sens de Shannon]

Organisation

↪ **Les forces qui régissent la cohésion de la matière organisent les formes prises par la matière selon les conditions de T et de P**

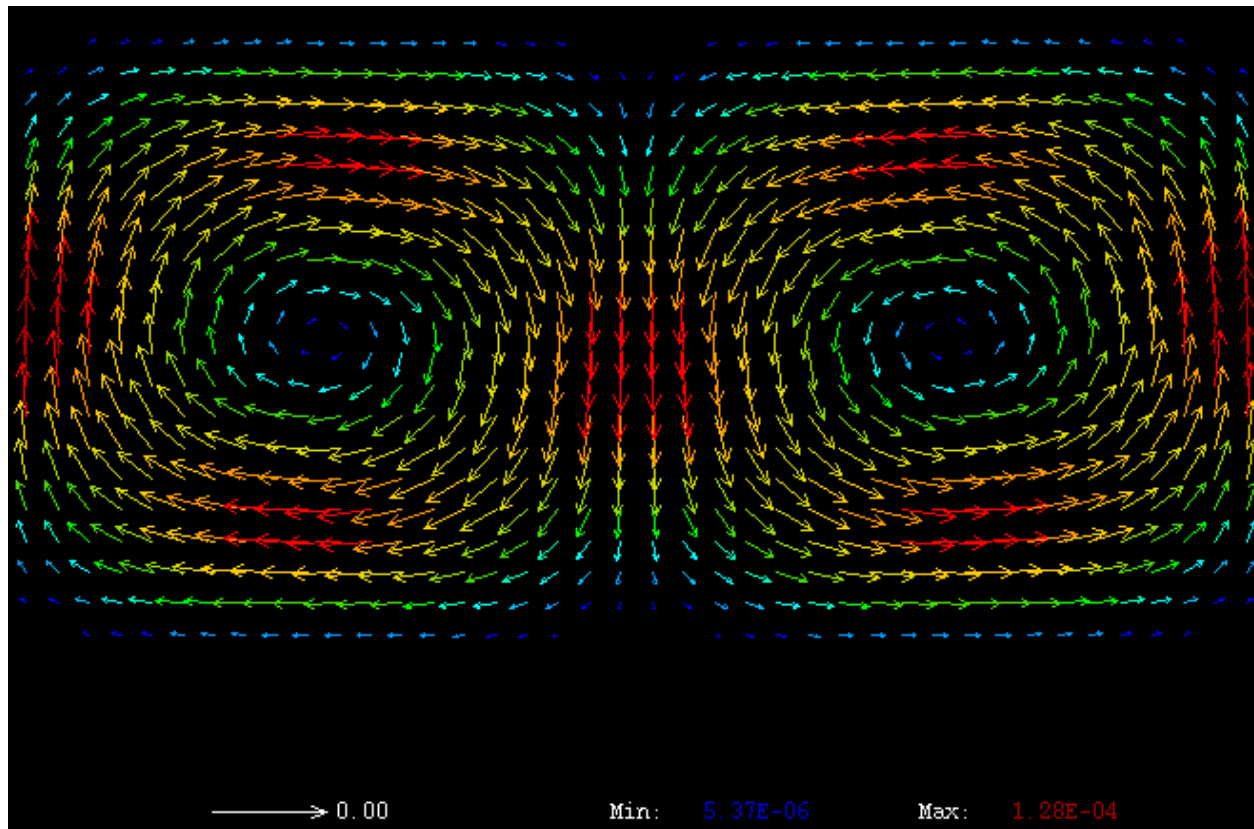
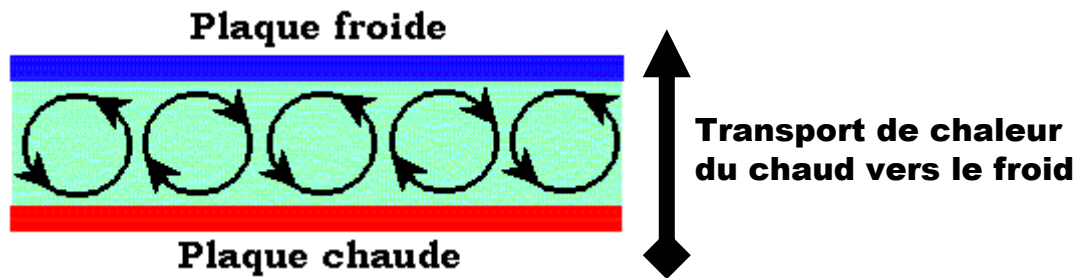


Chaînette caténoïde



Glace

Auto-organisation naturelle



Le fluide
☞ **une collectivité de**
particules,
s'organise pour
optimiser le transport
de l'énergie thermique
du chaud vers le froid

Un nouveau principe / loi [*]

↪ Principe MEP : Maximum Entropy Production

- Complète le 2ème principe

The **Law of Maximum Entropy Production** (LMEP or MEP) was first recognized by American scientist **Rod Swenson** in 1988, and articulated by him in its current form (below) in 1989. The principle circumstance that led Swenson to the discovery and specification of the law was the recognition by him and others of the failure of the then popular view of the second law or the entropy principle as a 'law of disorder'. In contrast to this view where transformations from disorder to order were taken to be 'infinitely improbable' such transformations are seen to characterize planetary evolution as a whole and happen regularly in the real world predictably and ordinarily with a "probability of one"), The Law of Maximum Entropy Production thus has deep implications for evolutionary theory, culture theory, macroeconomics, human globalization, and more generally the time-dependent development of the Earth as a ecological planetary system as a whole.

It is given as follows:

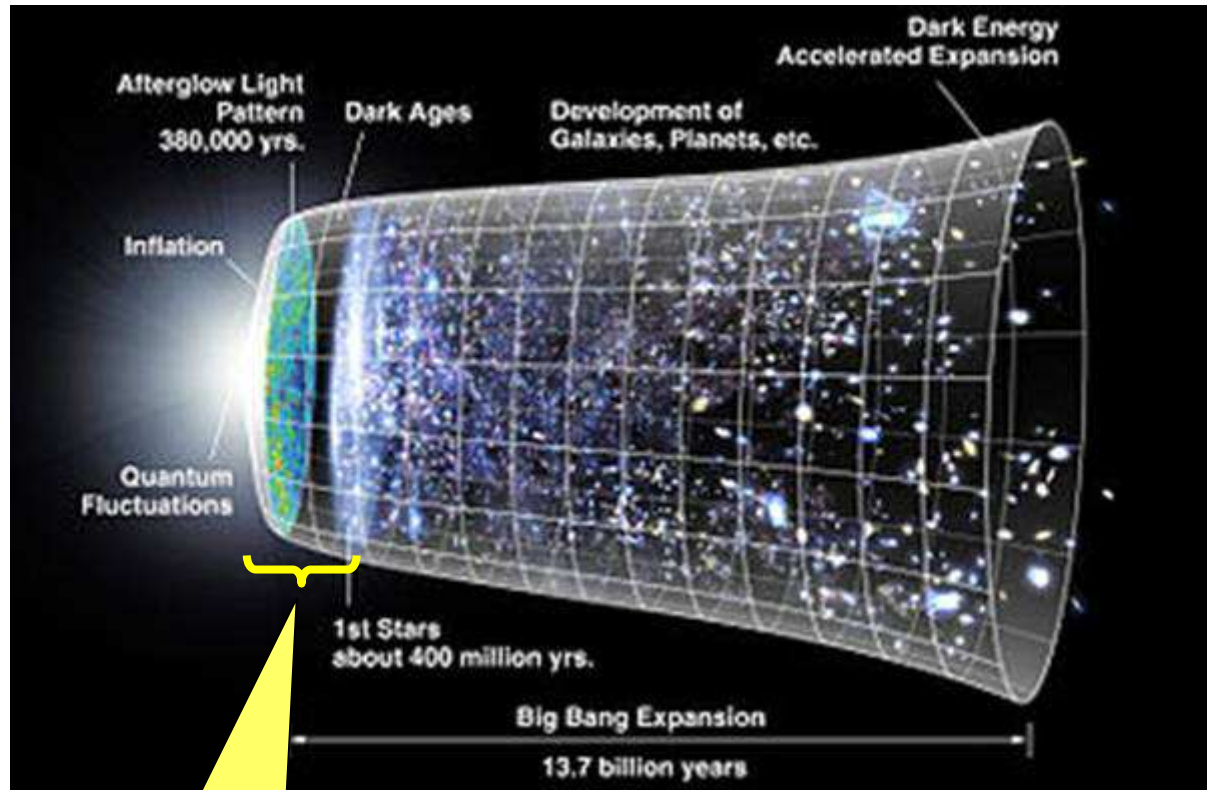
THE LAW OF MAXIMUM ENTROPY PRODUCTION

A system will select the path or assemblage of paths out of available paths that minimizes the potential or maximizes the entropy at the fastest rate given the constraints

NB : Le système s'organise pour que le transfert d'énergie de la source chaude vers la source froide soit le plus efficace qu'il est possible, de façon à ce que la somme des sources chaude+froide retrouve le + vite possible un état d'entropie maximum. La contrepartie est une organisation ± « poussée » du système de transport, riche en information [cad. hautement improbable du point de vue de la théorie de l'information]. L'information organisée [ordre] est attiré vers l'information moins organisée [désordre] sauf si un « démon » [un projet] lutte [i.e. dépense de l'énergie] contre cette tendance inéluctable.

Limites ...

Mais est-ce applicable ou généralisable à l'échelle de l'univers ... que nous observons avec nos instruments ... ???



Période de ≈ 400.000 ans,
complètement spéculative



Le satellite Planck

La machine thermique terrestre

Les sources d'énergie

↳ **Le soleil**

- Rayonnement

↳ **Le noyau terrestre interne**

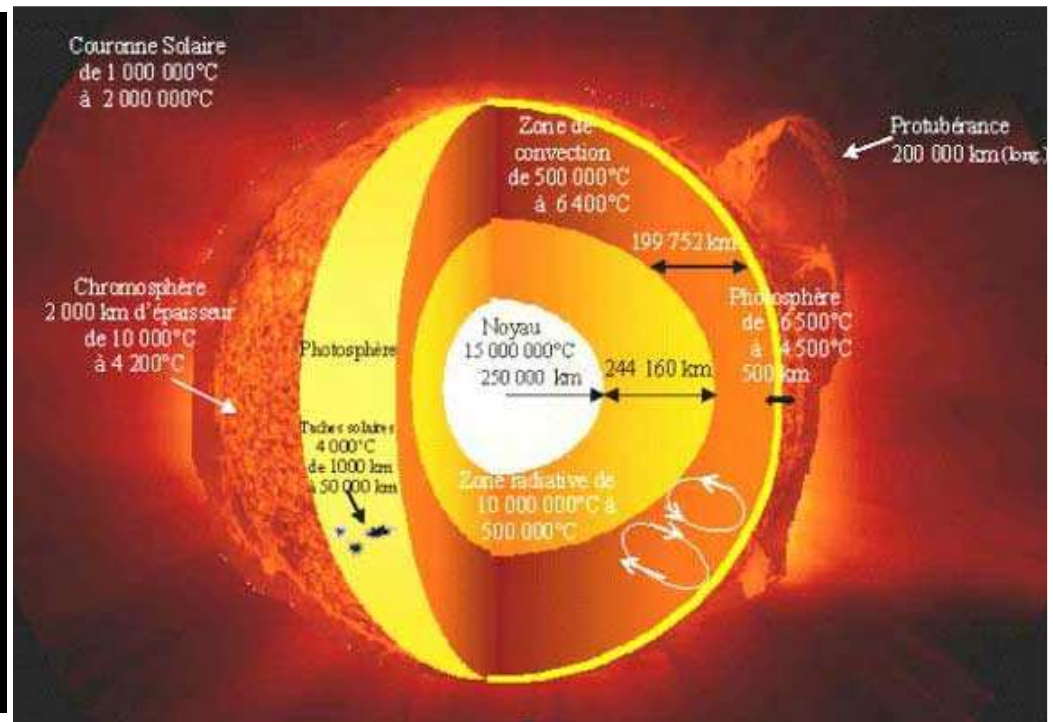
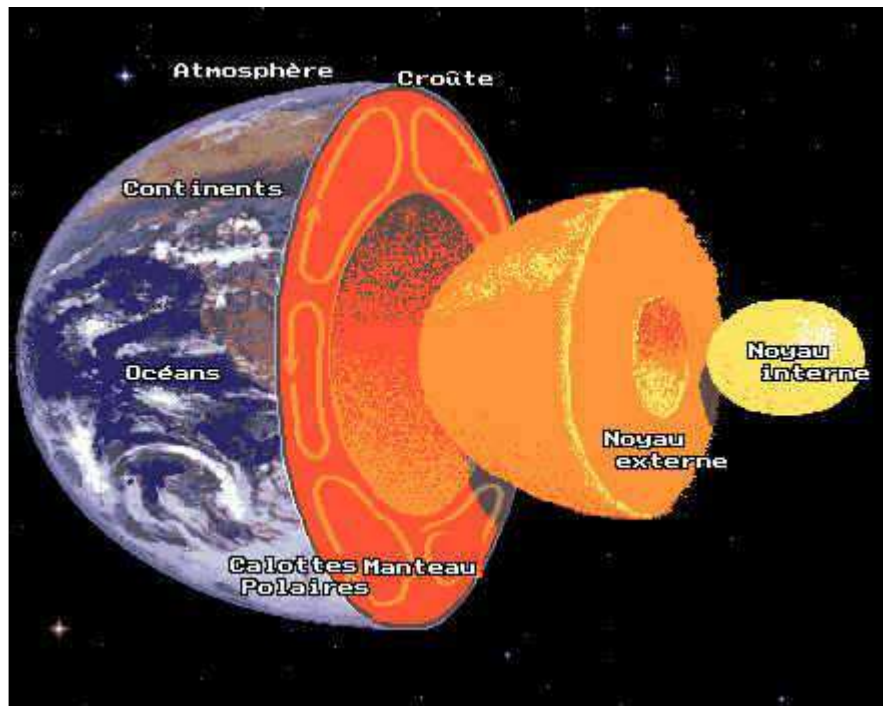
- Convection et conduction – Géothermie
- Réactions nucléaires (cf. le réacteur naturel d'Oklo, Gabon)

↳ **La rotation de la planète terre, journalière, annuelle + l'influence de la lune**

- Oscillations périodiques – Effets de marées

↳ **Les énergies fossiles**

- Stockage d'énergie « potentielle » [en puissance, au sens d'Aristote], résultant de l'histoire de la terre

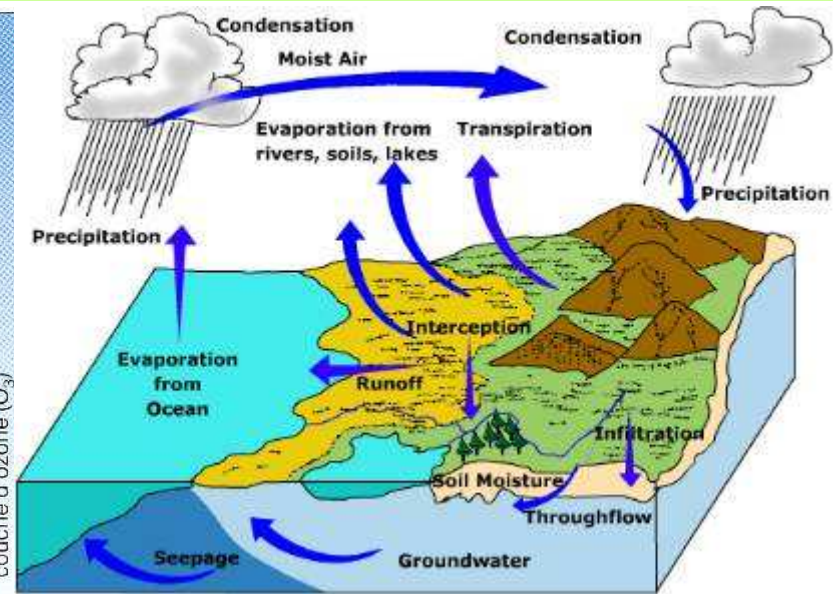
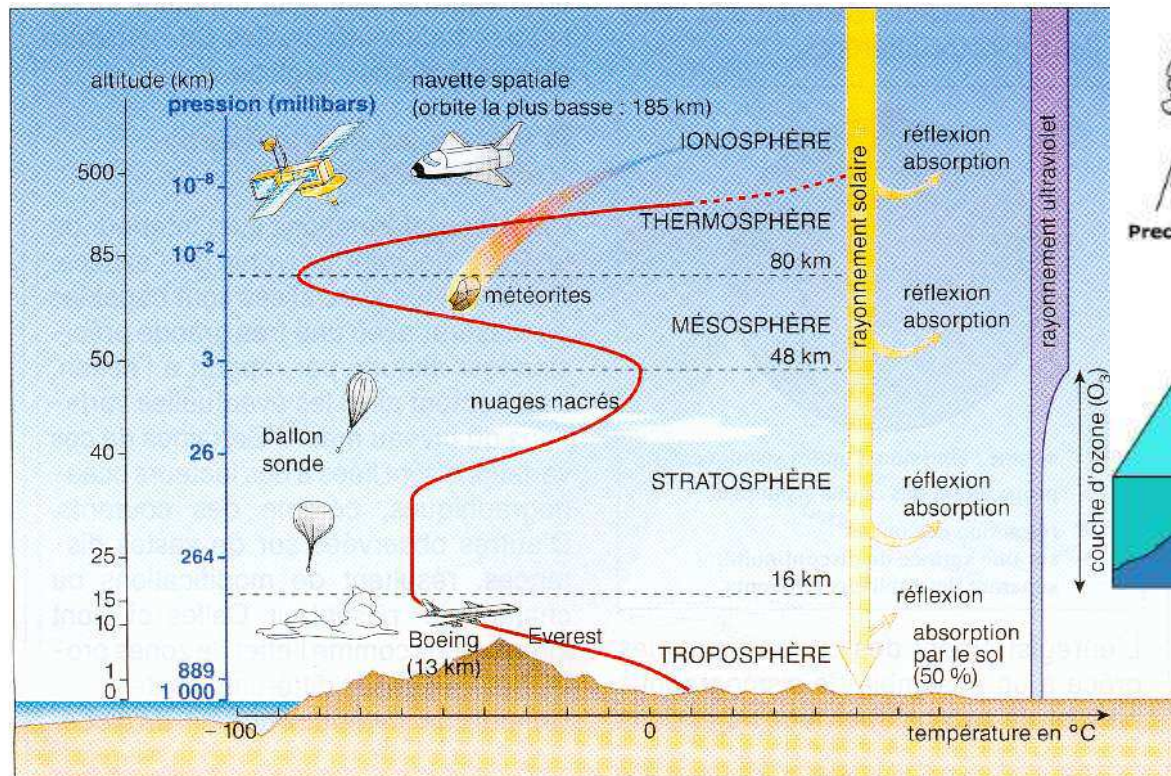


Katrina



Les marées
Amplitude 15m

La biosphère

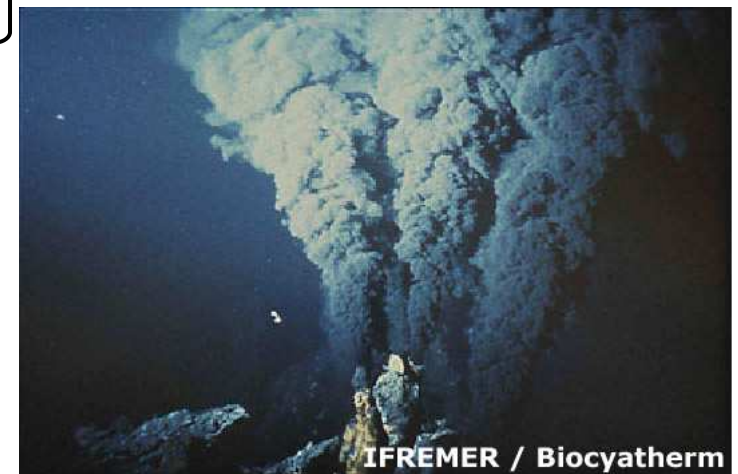


Couche où se développe la vie, 0 à 10 km



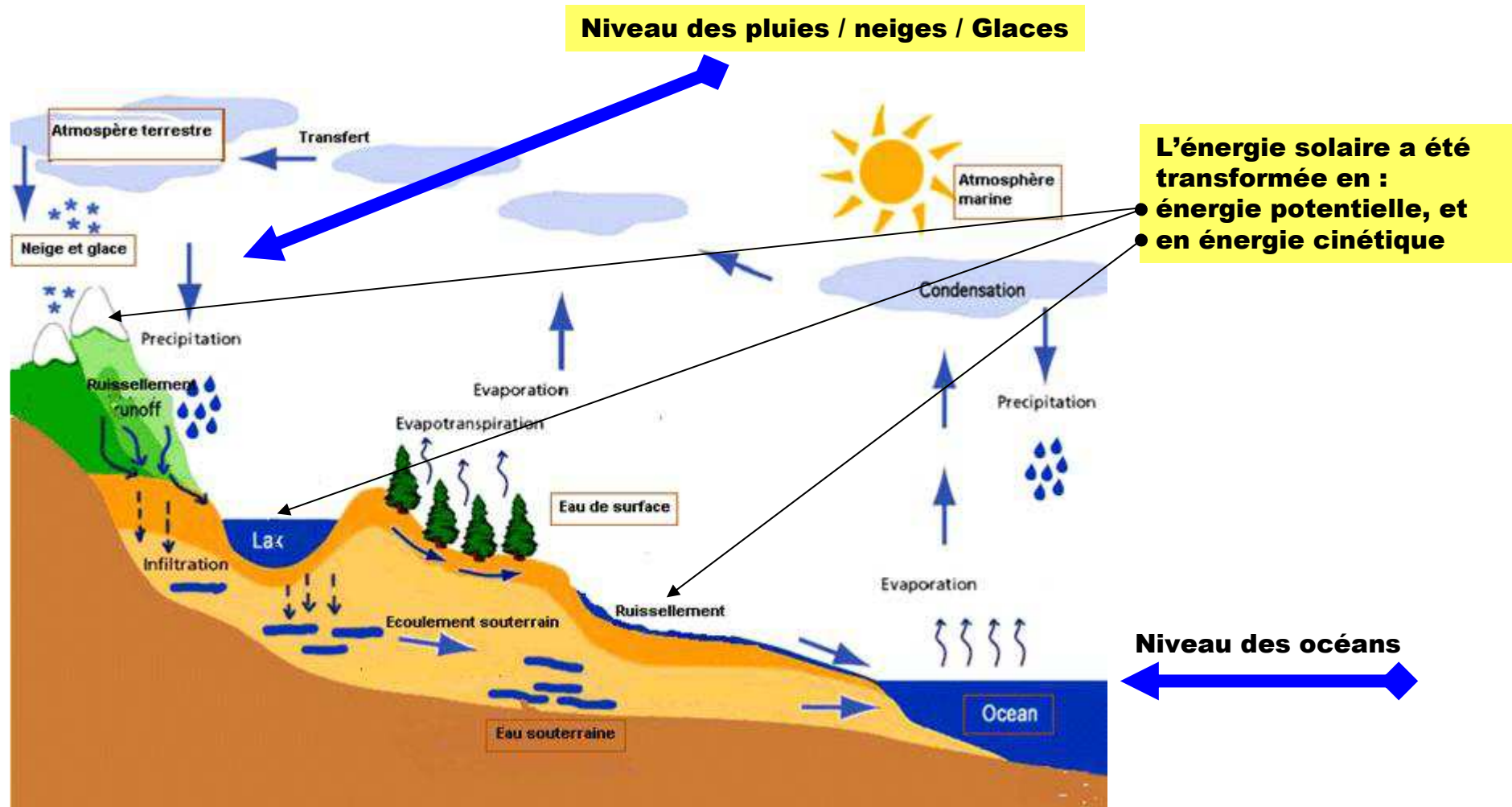
Source hydrothermale
Mer des Caraïbes,
profondeur 5.000m

Colonie de stromatolites,
archéobactéries, apparition
vers -700 millions d'années
Méthane → Oxygène



IFREMER / Biocytherm

Transformation des énergies



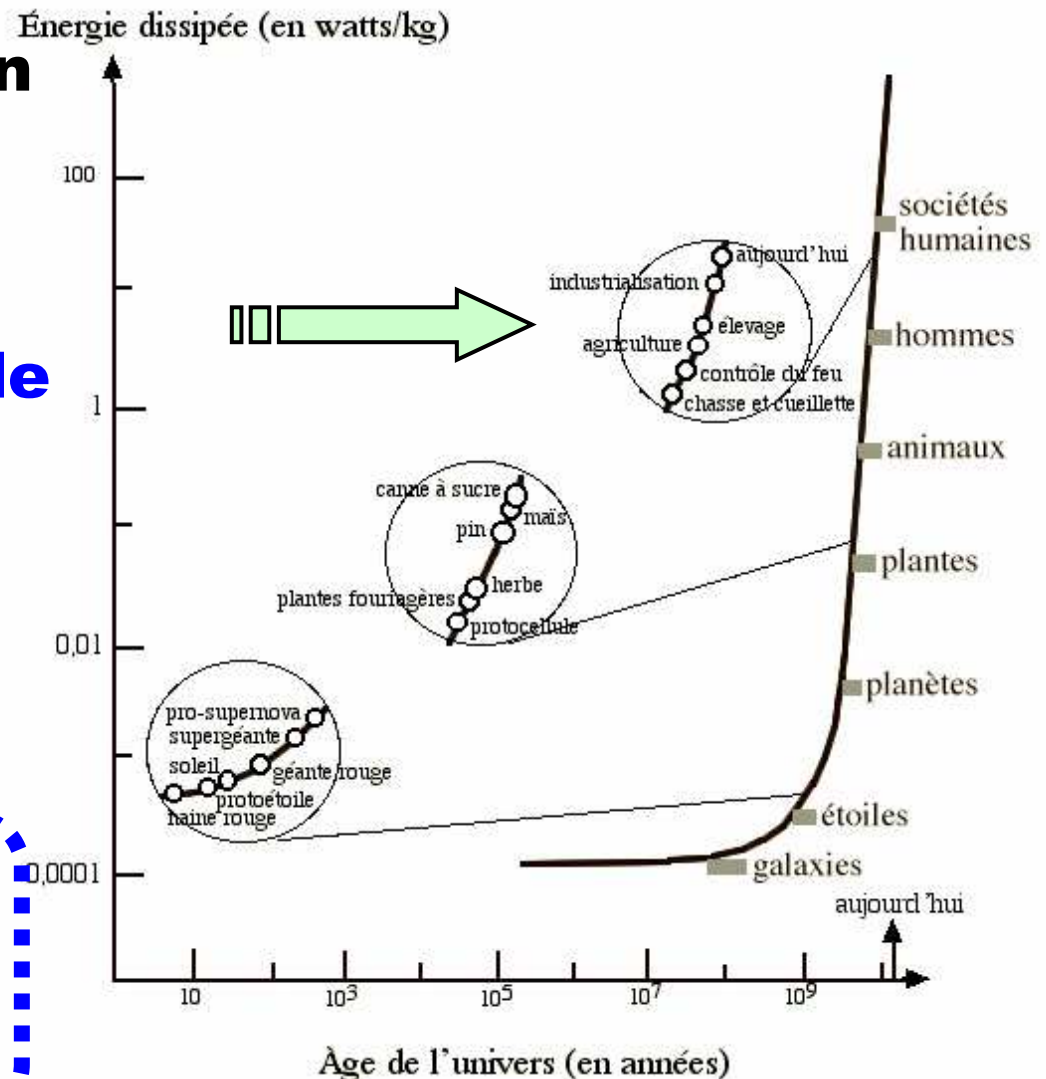
En résumé

↪ La biosphère est le siège d'une dissipation énergétique conforme au principe MEP

→ En conséquence, il va y avoir apparition de structures organisées pour maximiser le refroidissement de la « machine »

↪ Thèse de F.Roddier :
→ Les systèmes sociaux font partie de ces structures

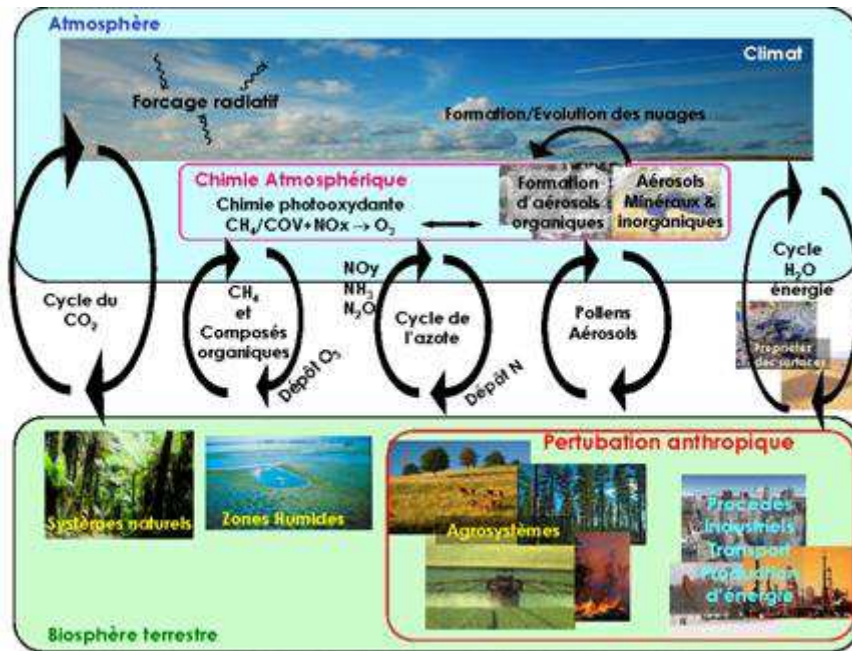
☞ Partie IV du livre



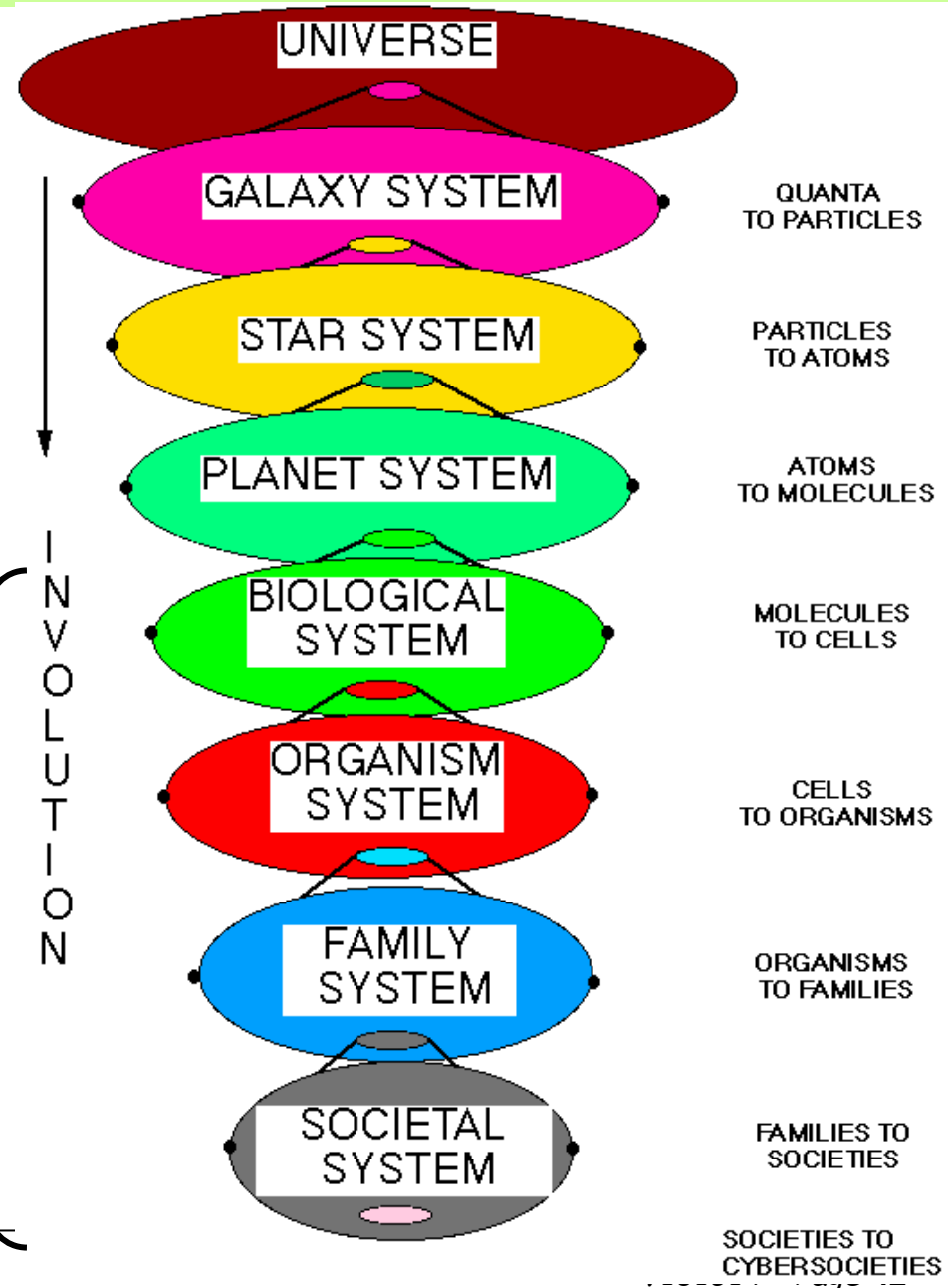
**Organisation des systèmes
thermodynamiques**
→ i.e. qui échangent de l'énergie
Organismes collectifs

Constats et explications ...

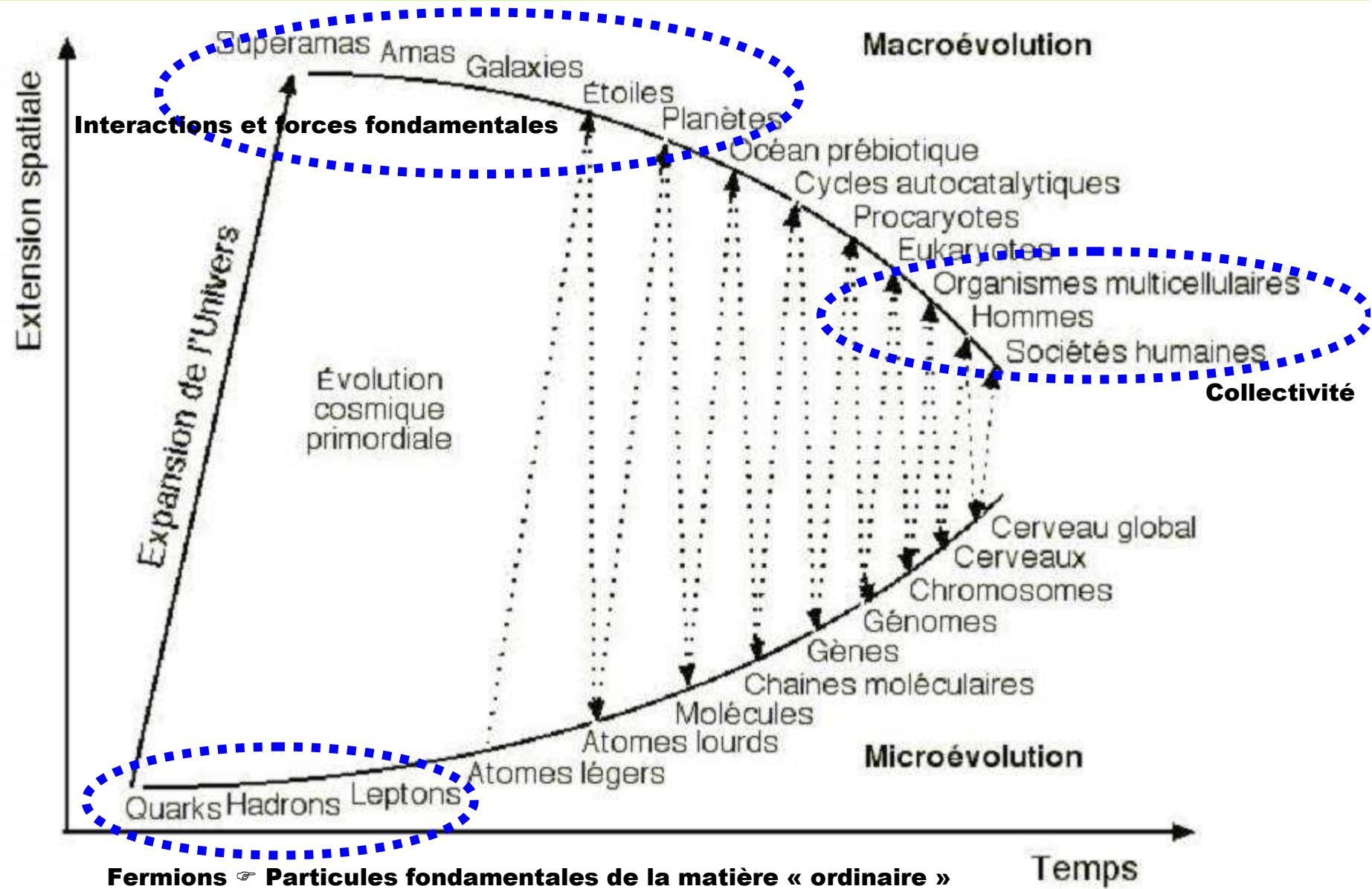
Un empilement de structures



**De tous ces cycles
énergétiques émergent
différents types de structures
organisées**



Évolution de l'univers



La nature des « objets » perçus

↪ Une référence ancienne [1974] de la collection Recherches Interdisciplinaires [P.Delattre], de C-P.Bruter, **Topologie et perception**, 2 Vol.

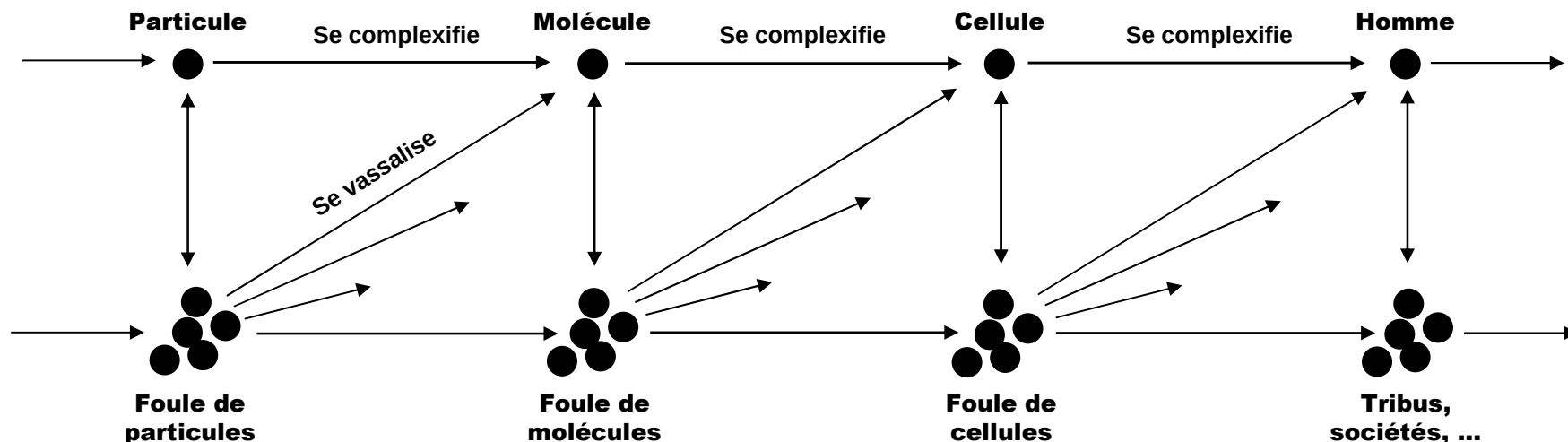
✓ Une théorie des objets ☞ Nature et construction des objets

Qq. Citations :

- Un objet existe ssi il est structurellement stable par rapport aux actions des forces qui s'exercent sur lui.
- La capture entre objets de même nature débouche sur la socialisation et la complexification.
- Un objet étant donné, il peut agir sur d'autres objets par capture, annihilation ou répulsion.

Etc. ... Etc.

Le processus de complexification (Tableau 2, P30)

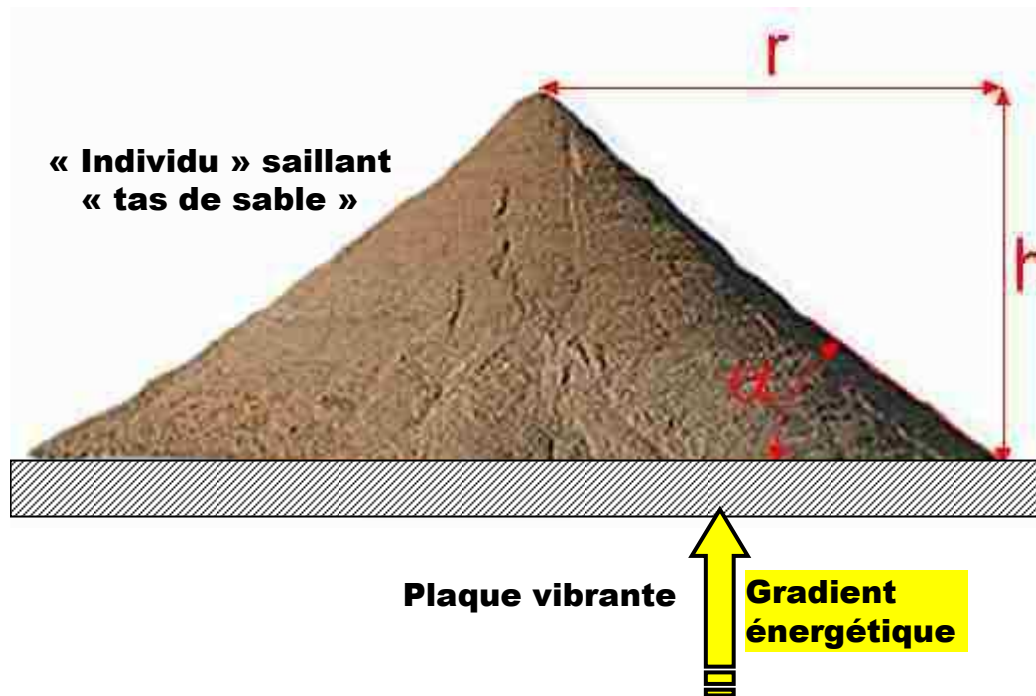


NB : un meilleur terme serait : s'individualise → Processus d'individuation qui transforme une foule en un nouvel individu (émergence) ; cf. les pb d'échelle soulevés par R.Laughlin (" *More is different*") et la voie sextuple de S.J.Gould

Stabilité de l'individu collectif

⇒ Il y a stabilité structurelle jusqu'à un certain **seuil énergétique**:

- Le fait de **se rassembler** est une **protection** contre les prédateurs du **dehors** qui exercent une « pression » – La protection maximale est au centre – **Le bord est une singularité/discontinuité**
- Une « **communication** » est nécessaire à la cohésion
- Mais il faut pouvoir se **déplacer**, **voler ou nager**, ce qui nécessite un certain espace pour chaque individu, et **se nourrir**, ce qui nécessite suffisamment de ressources dans l'environnement pour la collectivité



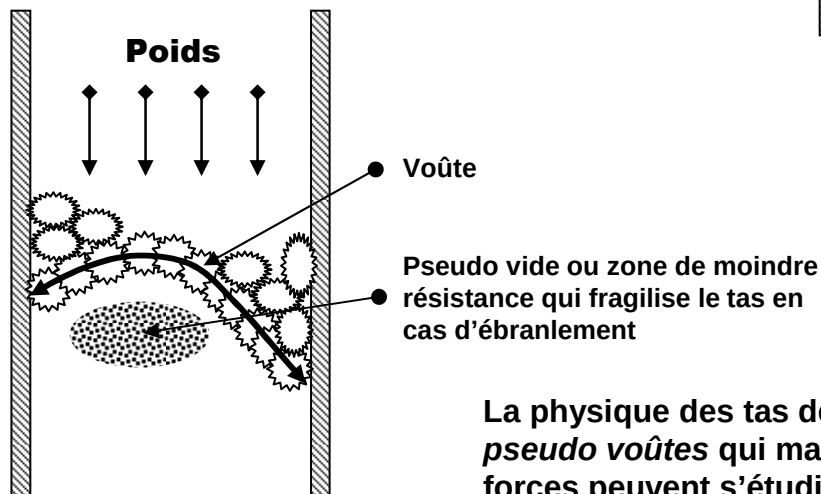
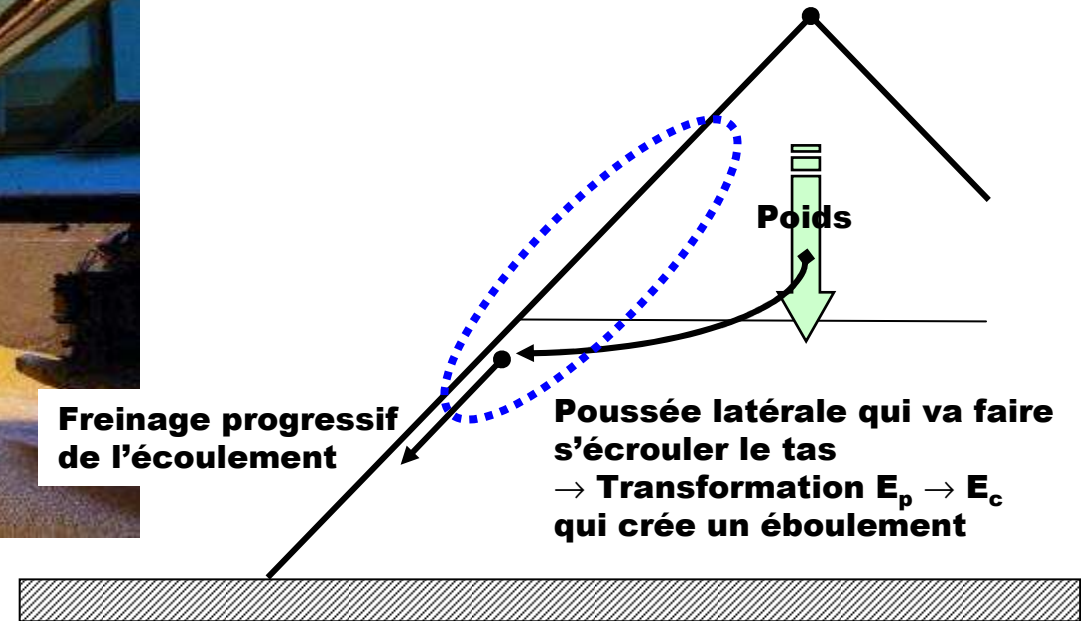
La plaque communique de l'énergie cinétique aux grains de sables, ce qui va finir par compenser les forces de frottements induites par la pesanteur
→ Le sable s'écoule comme un fluide

L'individu « tas de sable » meurt en tant qu'entité collective ce qui revient à redonner aux éléments une liberté de se rassembler ultérieurement pour former un nouvel individu collectif

Stabilité des tas de sable



Freinage progressif de l'écoulement



La physique des tas de sable enseigne qu'il se forme à l'intérieur du tas des *pseudo voûtes* qui maintiennent la cohérence du tas. Ces lignes/surfaces de forces peuvent s'étudier avec les méthodes et outils de la RDM

La physique des tas de sable est-elle transposable aux organisations d'UA ?

↳ Exemples de collectivités humaines relevant de la logique UA

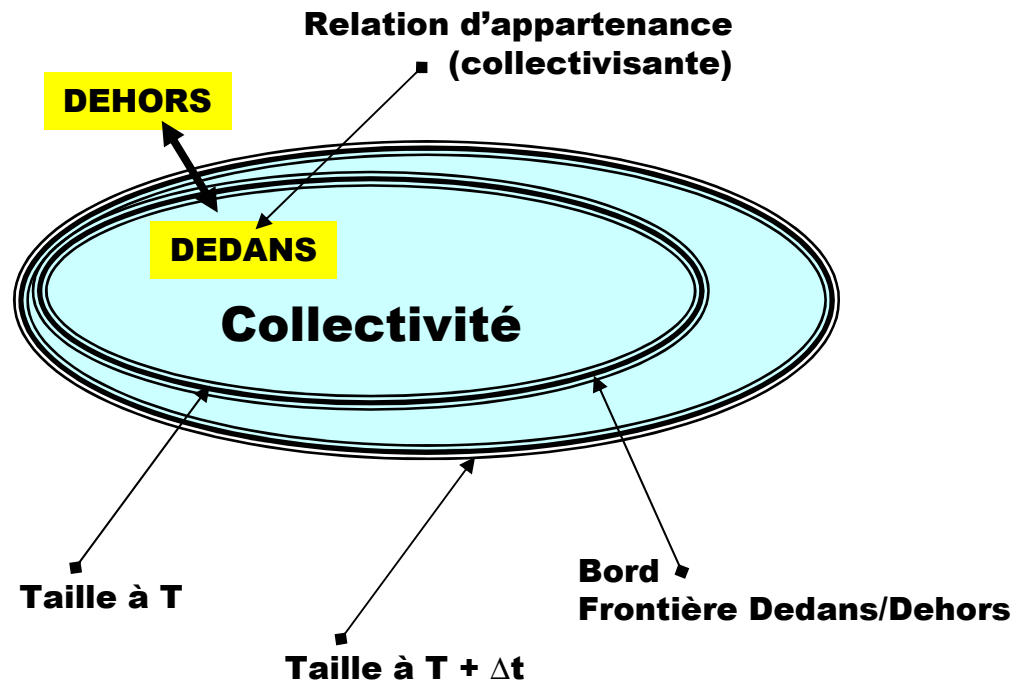
- Collectivités guerrières
- Entreprises sur le « front de la "guerre" économique »
- Collectivités projets oeuvrant au sein des entreprises
- Etc. ... Etc.

↳ Les forces de liaison ➡ Qu'est ce qui fait que ça tient ?! [Cf. le schéma de Gould, *La voie sextuple*]

- Niveau individu
- Niveau UA élémentaire
- Ensemble d'UA formant une nouvelle UA

Organismes et comportements collectifs

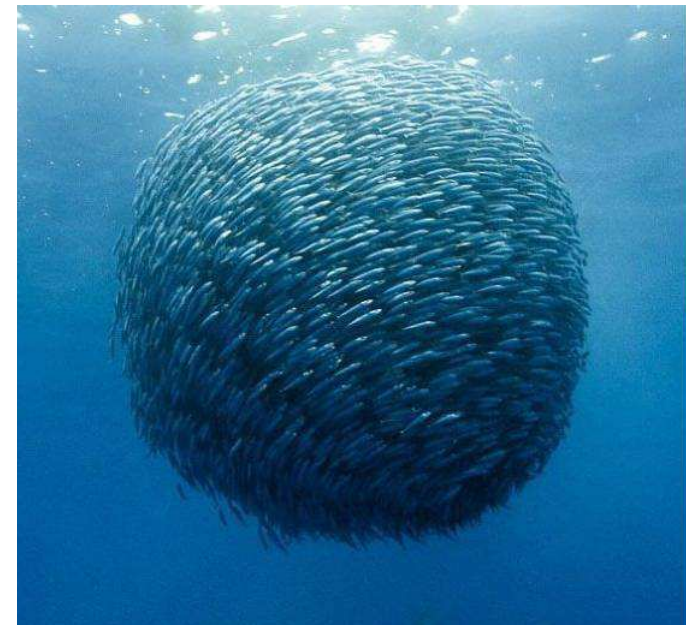
↪ **Nature des forces qui font que la **collectivité** « **tient** », maintient sa cohérence et se développe ???**



Vol de 300.000 étourneaux



Banc de poisson « sphérique »



Effets énergétiques collectifs

➡ **Le vol de l'oiseau de tête** crée un effet de portance bénéfique au suivant ... et ainsi de suite → **Il y a un effet d'attraction dirigé vers l'oiseau de tête**

☞ **« Tube » énergétique favorable au vol en V**

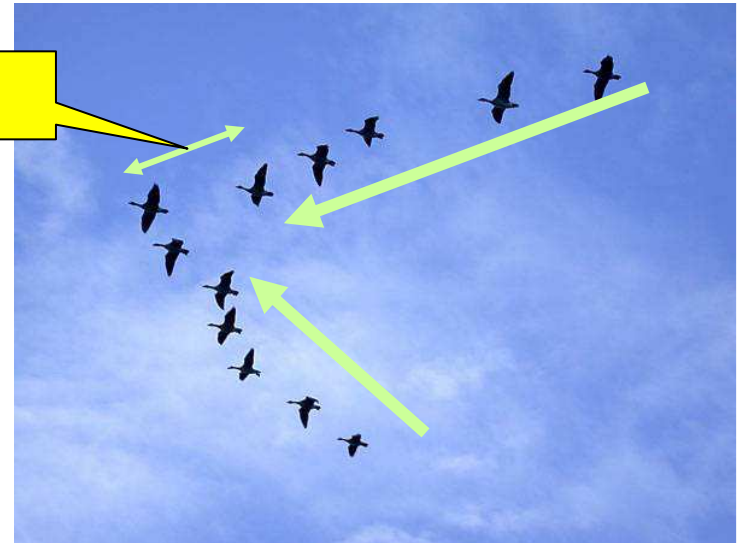
Par une « sensation » énergétique l'oiseau peut se positionner de façon à minimiser sa dépense énergétique tout en préservant son confort de vol (cf. les points ou zones « selles » dans les minimax)

☞ **La collectivité se structure en fonction de ce gradient énergétique**

NB : nous sommes sensibles aux accélérations, mêmes faibles, pas aux vitesses, mêmes élevées !!!

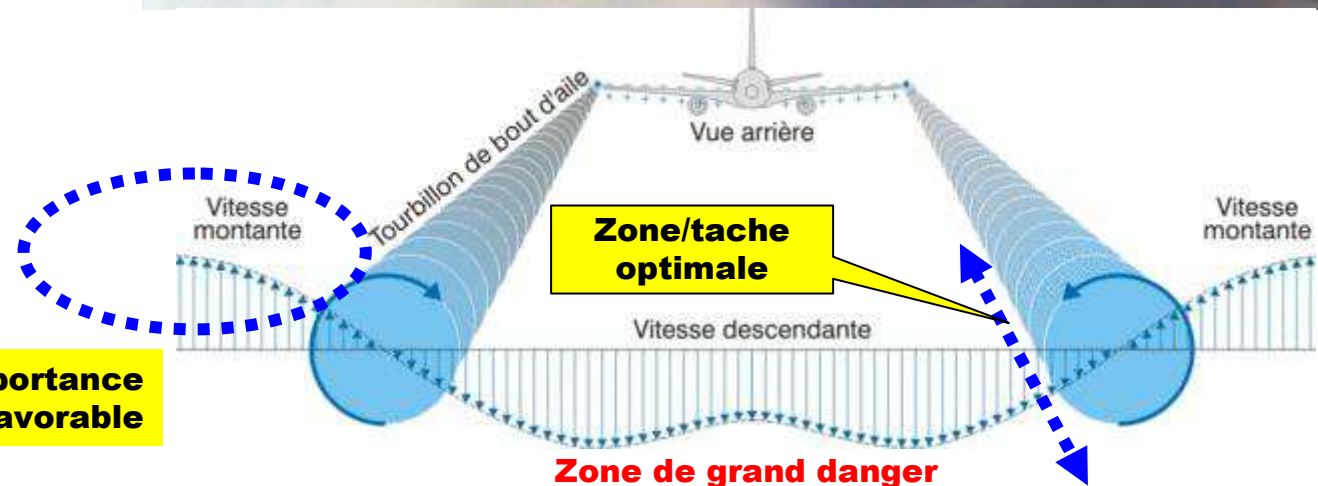
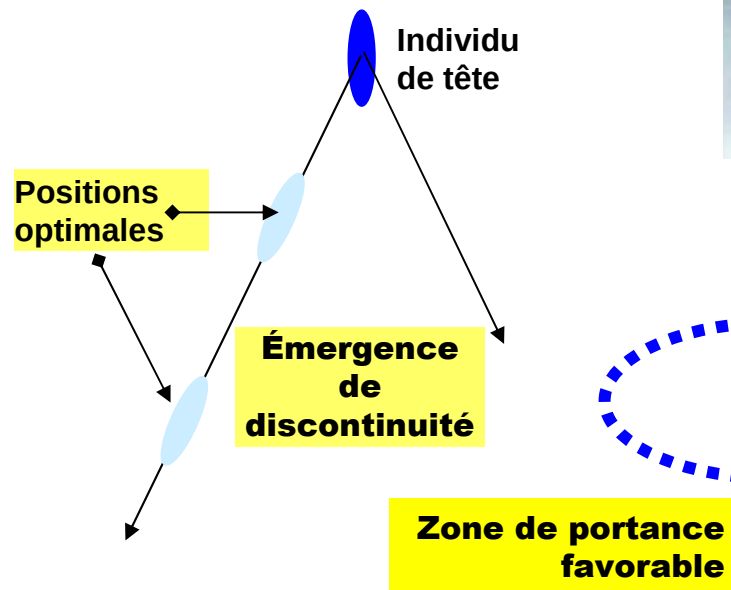
☞ D'où la difficulté à admettre le mouvement inertiel, incompréhensible pour Aristote

Distance optimale

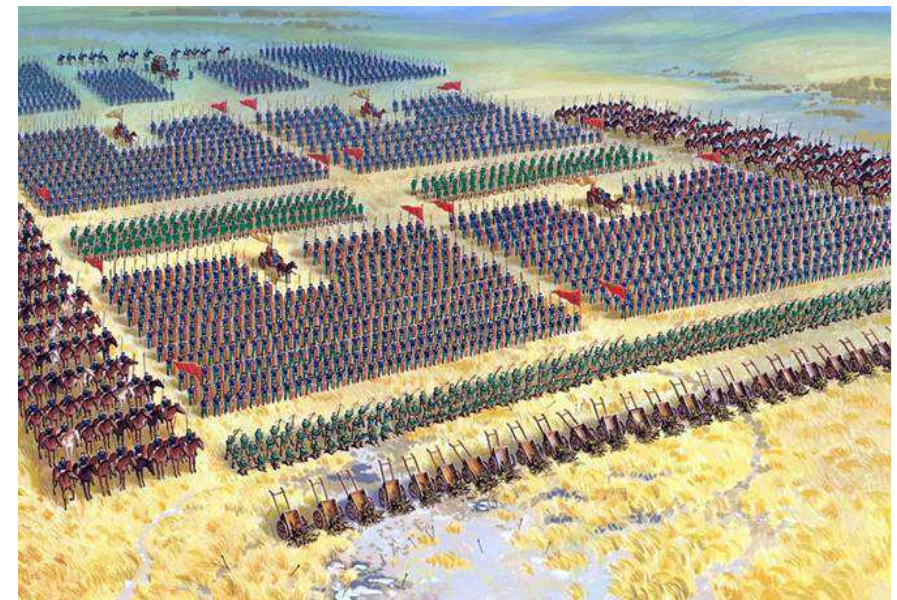
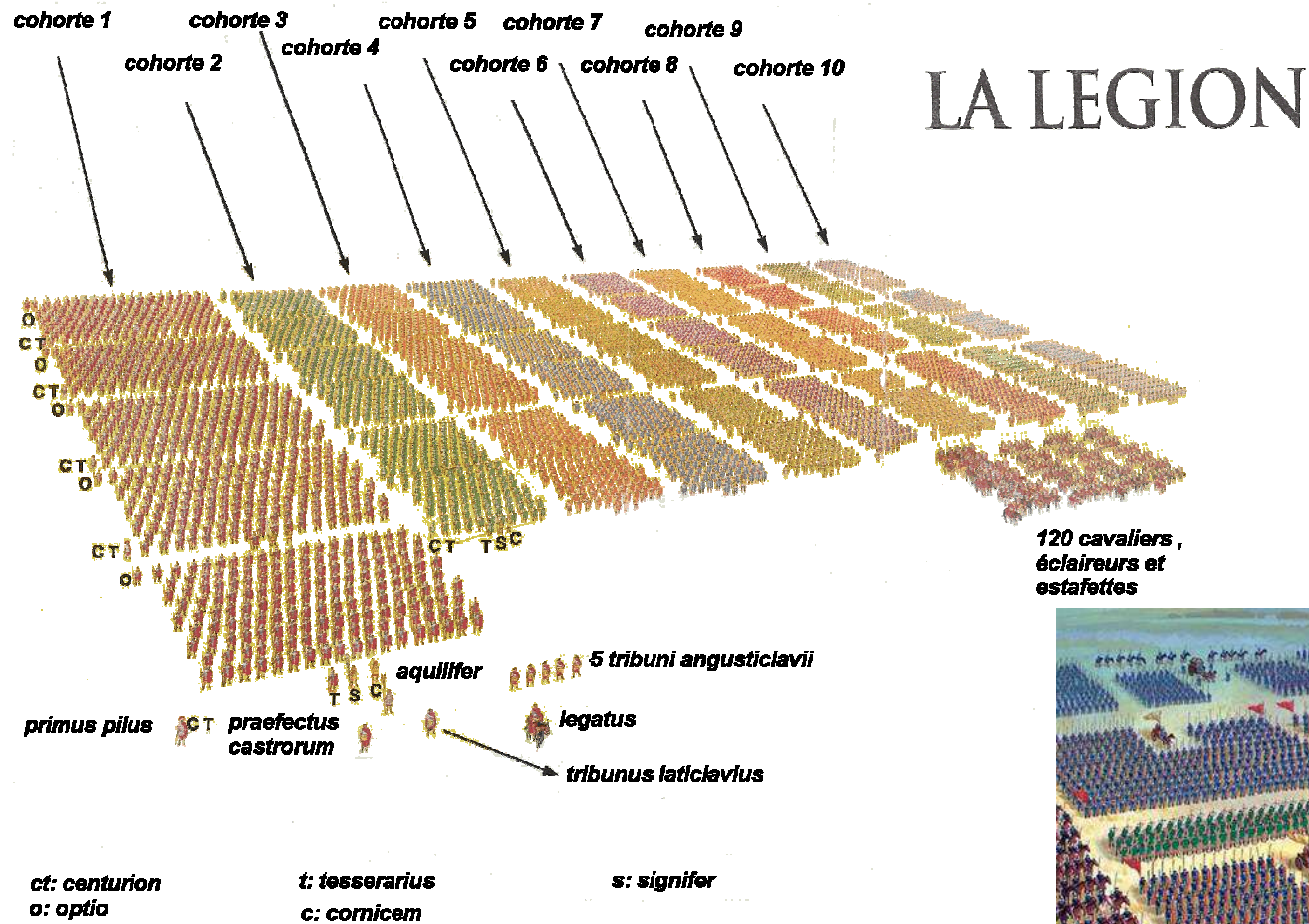


Théorie ...

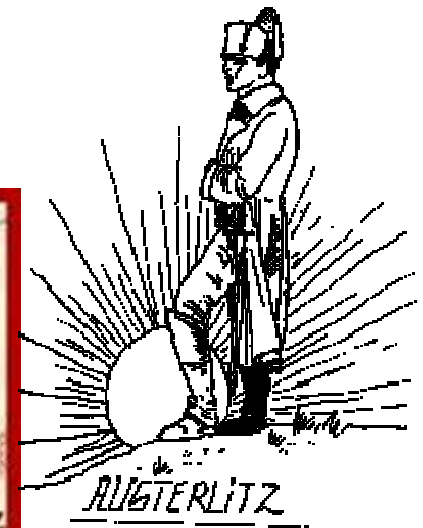
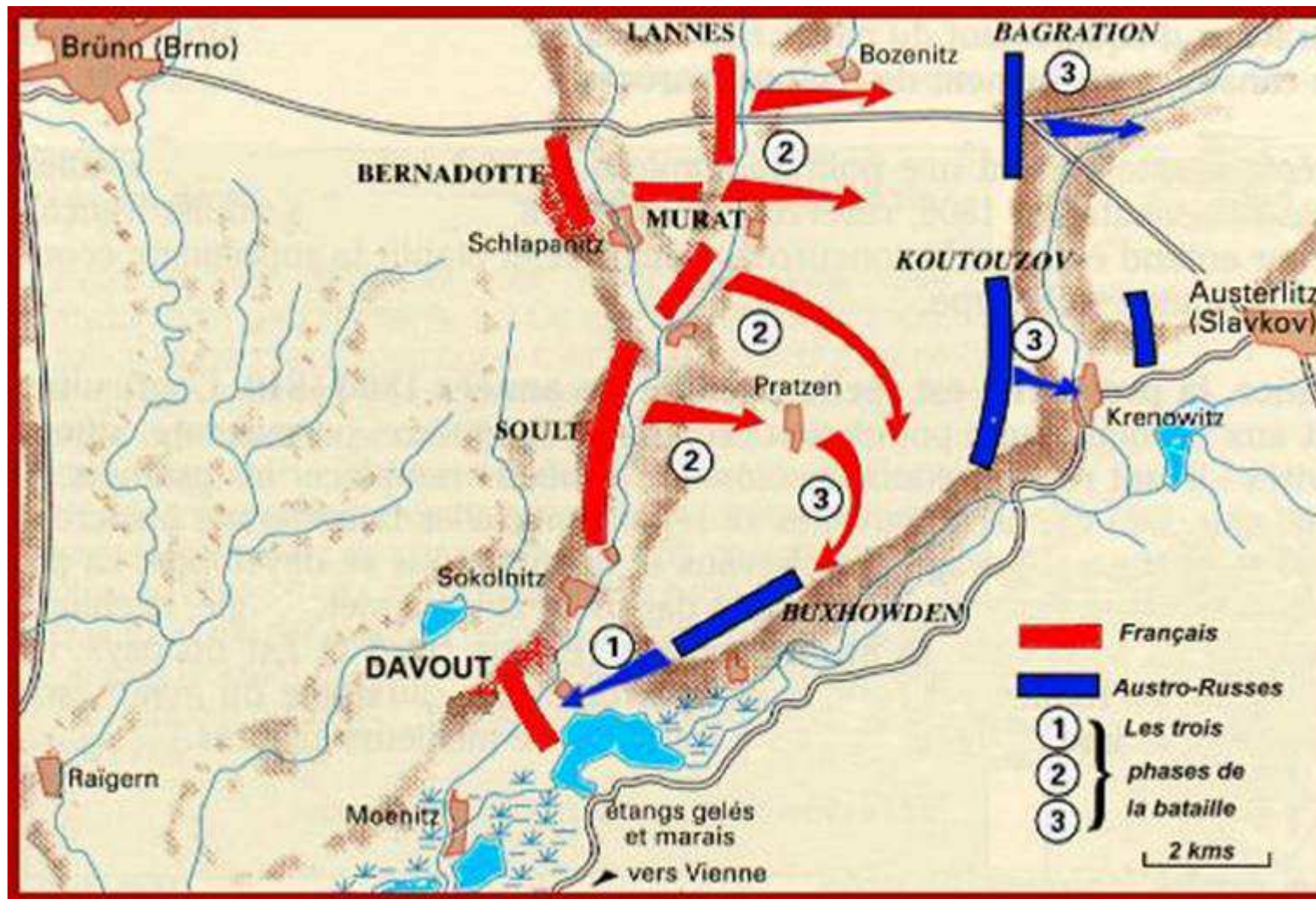
↪ Analyse des turbulences dues aux effets de traînées pour les avions



Organisme humain



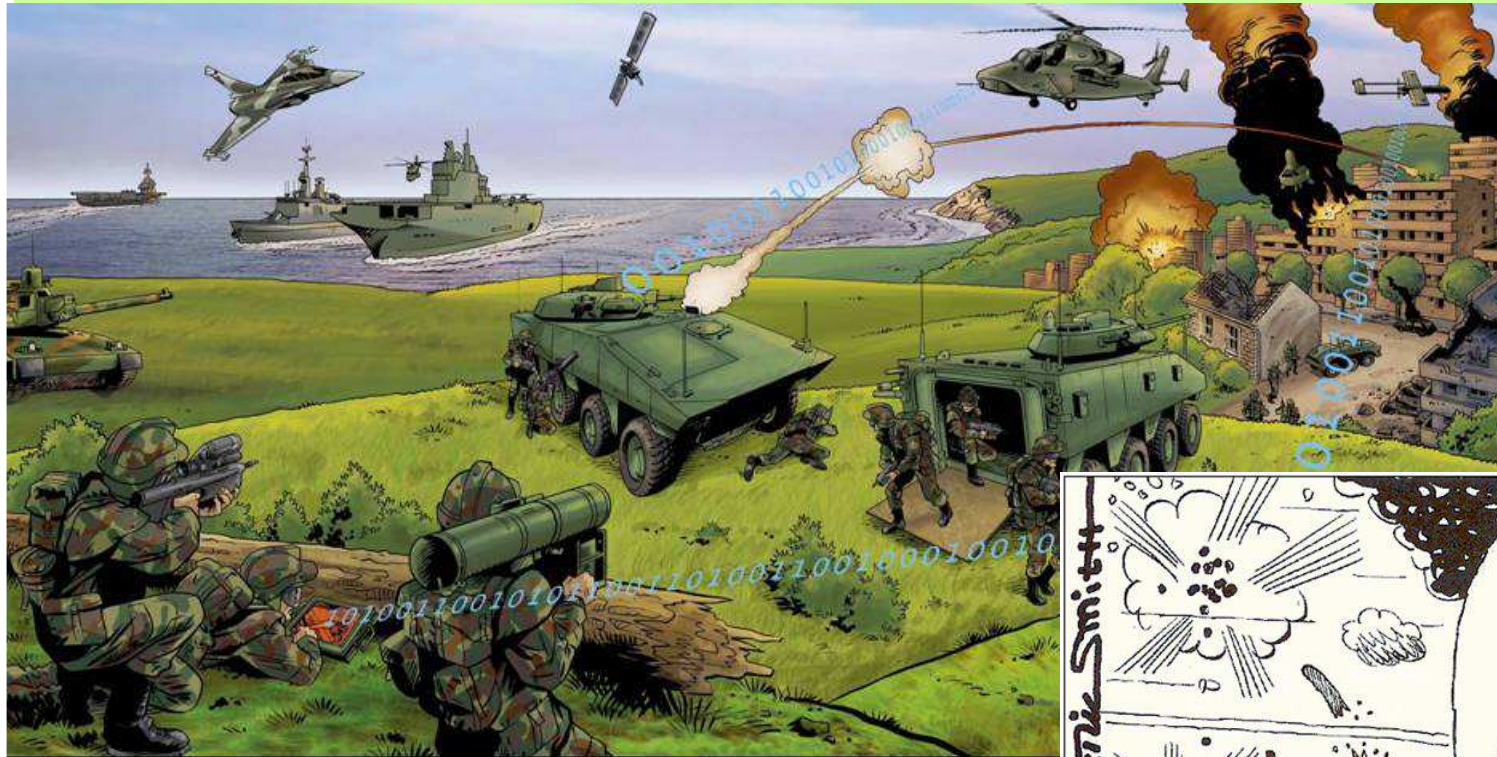
Un champ de bataille



Cf. les manuels de tactique, et plus particulièrement, K. von Clausewitz, *Vom Kriege*.

Bulle Opérationnelle Aéroterrestre

→ Comment modéliser la guerre des drones



→ Pour [re]trouver un état d'équilibre, l'apparent chaos doit être hautement organisé

Cf. les Livres Blancs, Défense et Sécurité, 2008, 2013



GTIA DEUX / MAN

EMT 21RIMA

- CIE C 21RIMA
- CIE F 21 RIMA
- EEI D 1 REC
- SRR 21RIMA

DETALAT MAN

GTIA UN / BOUAKE

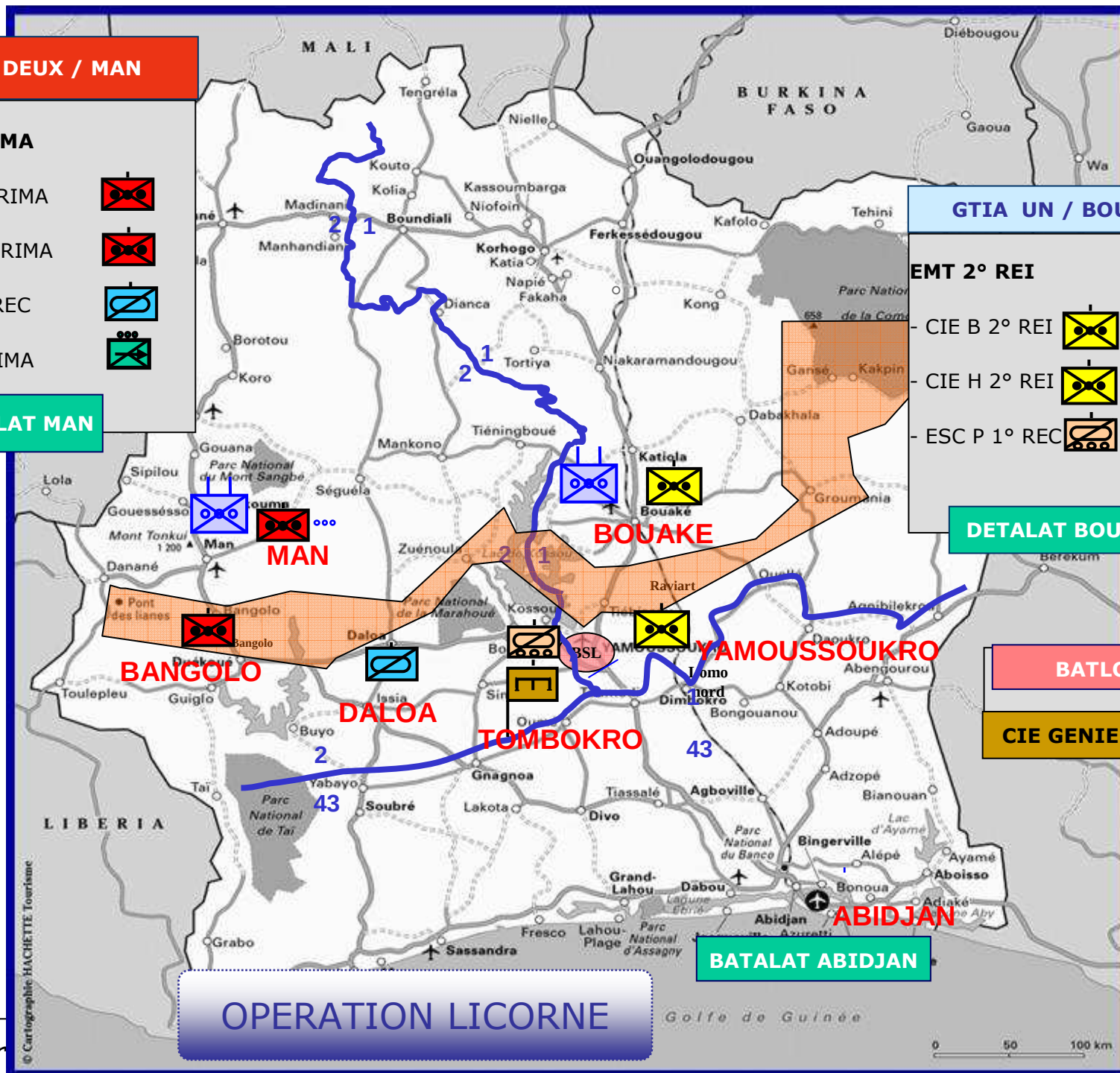
EMT 2° REI

- CIE B 2° REI
- CIE H 2° REI
- ESC P 1° REC

DETALAT BOUAKE

BATLOG

CIE GENIE 1° REG



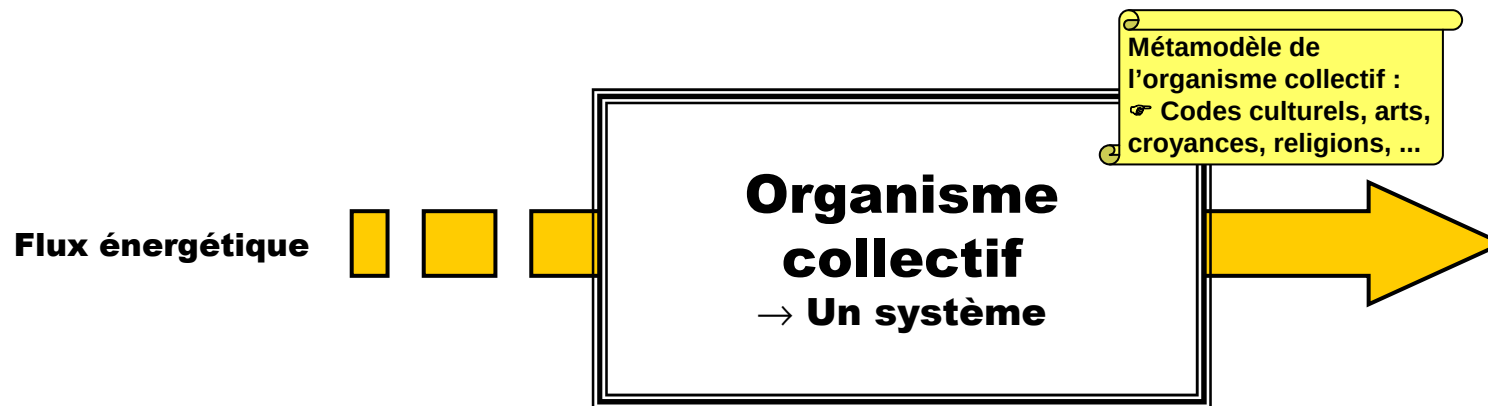
OPERATION LICORNE

Éléments de fonctionnement des UA

✚ Pour fonctionner correctement et effectuer les missions qui sont les leurs, il faut :

- Un pouvoir politique qui fixe les objectifs
 - ✓ Nécessité d'une adhésion « populaire » ➡ **Motivation** [Pourquoi]
- Un commandement ➡ **Doctrine d'emploi**
 - ✓ 3 Niveaux : 1) Stratégique, 2) Opératif, 3) Tactique - Et les moyens qui vont avec
- Une **capacité de combat** opérationnelle, adaptable, modulable et synchronisée ➡ la « bulle » opérationnelle et les UA
 - ✓ On parle de « logique » capacitaire
 - ✓ En distinguant Engagement / Réserve
- Un soutien logistique ➡ « **Énergie** » nécessaire au combat

Émergence de la coopération



**Émergence de comportements coopératifs
en application du principe MEP**

- **Chasseurs-cueilleurs**
- **Agriculteurs** [les 3 fonctions des peuples indo-européens]
- **Systèmes techniques** [les sociétés modernes]

Les 5 voies de la coopération [M.Nowak, *Super cooperators*, chap. 14] :

1. **Réciprocité directe** → **Donnant-donnant**
2. **Réciprocité indirecte** → **Le don gratuit**
3. **Communautés spatiales** → **Les territoires, les villes, ...**
4. **Compétitions entre groupes rivaux** → **Tribalismes, ...**
5. **Parenté et parentèles**

Les plus grands organismes collectifs humains actuels

↳ Les Églises chrétiennes

- Continuum Judéo-chrétien qui intègre la civilisation gréco-romaine en abandonnant l'esclavage
 - ✓ Mode de gouvernance ☞ Les évêques + le clergé
 - ✓ Alternance ordre/désordre + Crises - Survivre aux crises

↳ La Chine

- Continuum Chine antique [jusqu'au Royaumes combattants] ;
Chine Impériale [de -220 BC à 1905 AC, 1^{ère} république] ;
Chine « communiste » et RPC [1949 à ...]
 - ✓ Mode de gouvernance ☞ Le PCC ($\approx 5\%$ de la population)
 - ✓ Alternance ordre/désordre + Crises - Survivre aux crises

Analyse systémique des organismes collectifs

↳ Taille de l'organisme

- ✓ Facteurs d'échelle

↳ Durée de vie de l'organisme

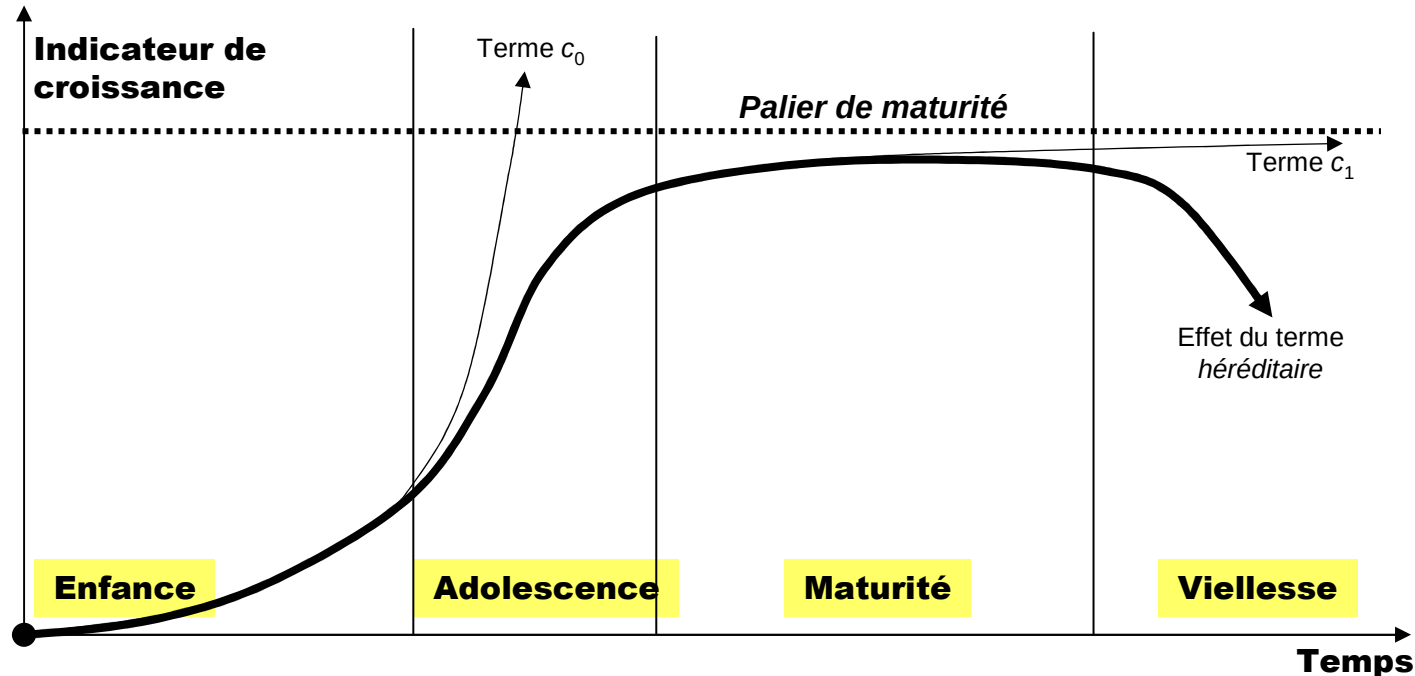
- ✓ En nombre de génération

↳ A la recherche du [méta]modèle qui assure la cohésion de l'organisme

- Les individus
- Les relations entre les individus
 - ✓ Pourquoi et jusqu'où faut-il coopérer
- Un impératif : le groupe doit survivre aux individus
 - ✓ Le métamodèle doit être partagé par tous
- Organisation, gouvernance
 - ✓ Comment l'organisme régule t-il sa cohésion ?

Dynamique de la croissance

Le modèle de Lokta-Volterra



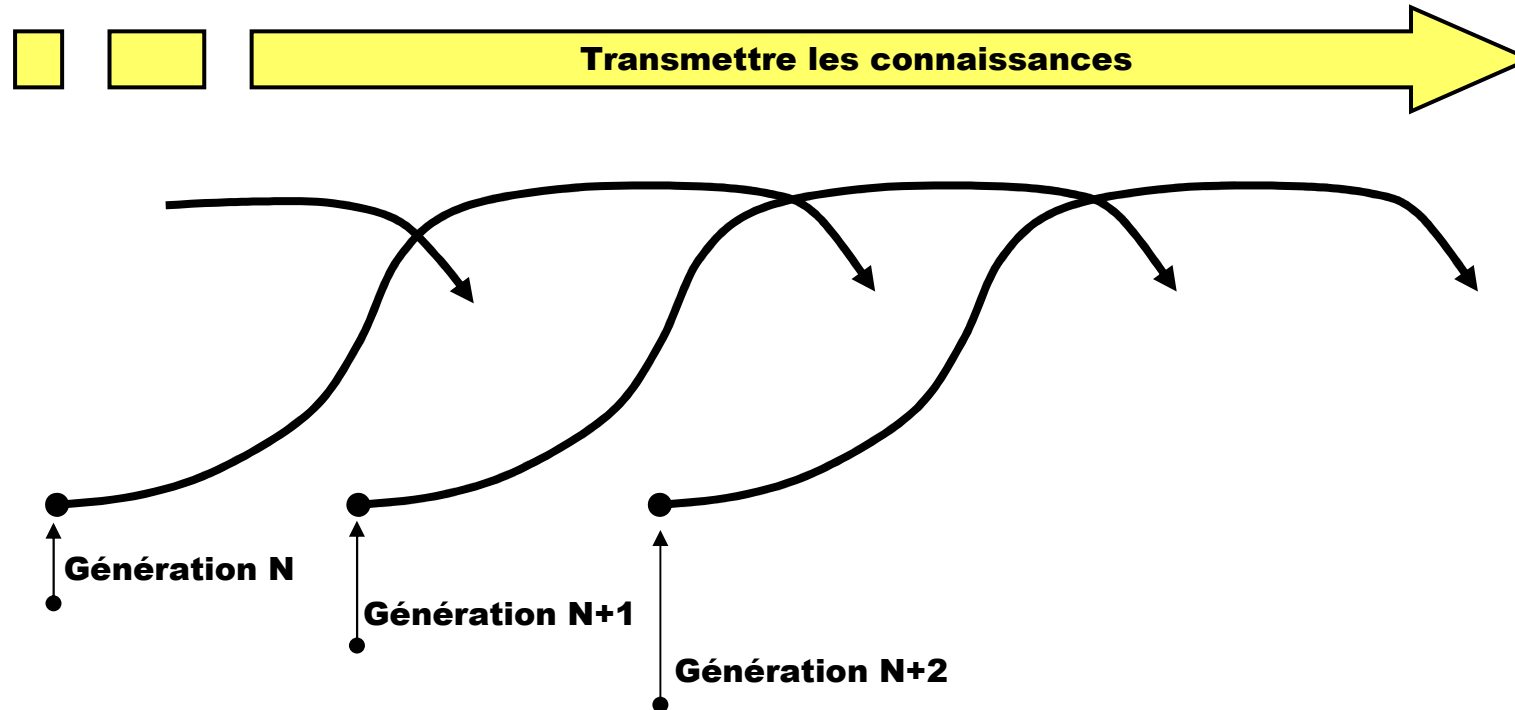
$$\Delta N(t) = \left[c_0 - c_1 \times N(t) - \int_0^t N(\tau) \times f(t - \tau) d\tau \right] \times N(t) \times \Delta(t)$$

Accroissement exponentiel,
→ i.e. proportionnel à la population

Terme « héréditaire » dont l'effet est cumulatif

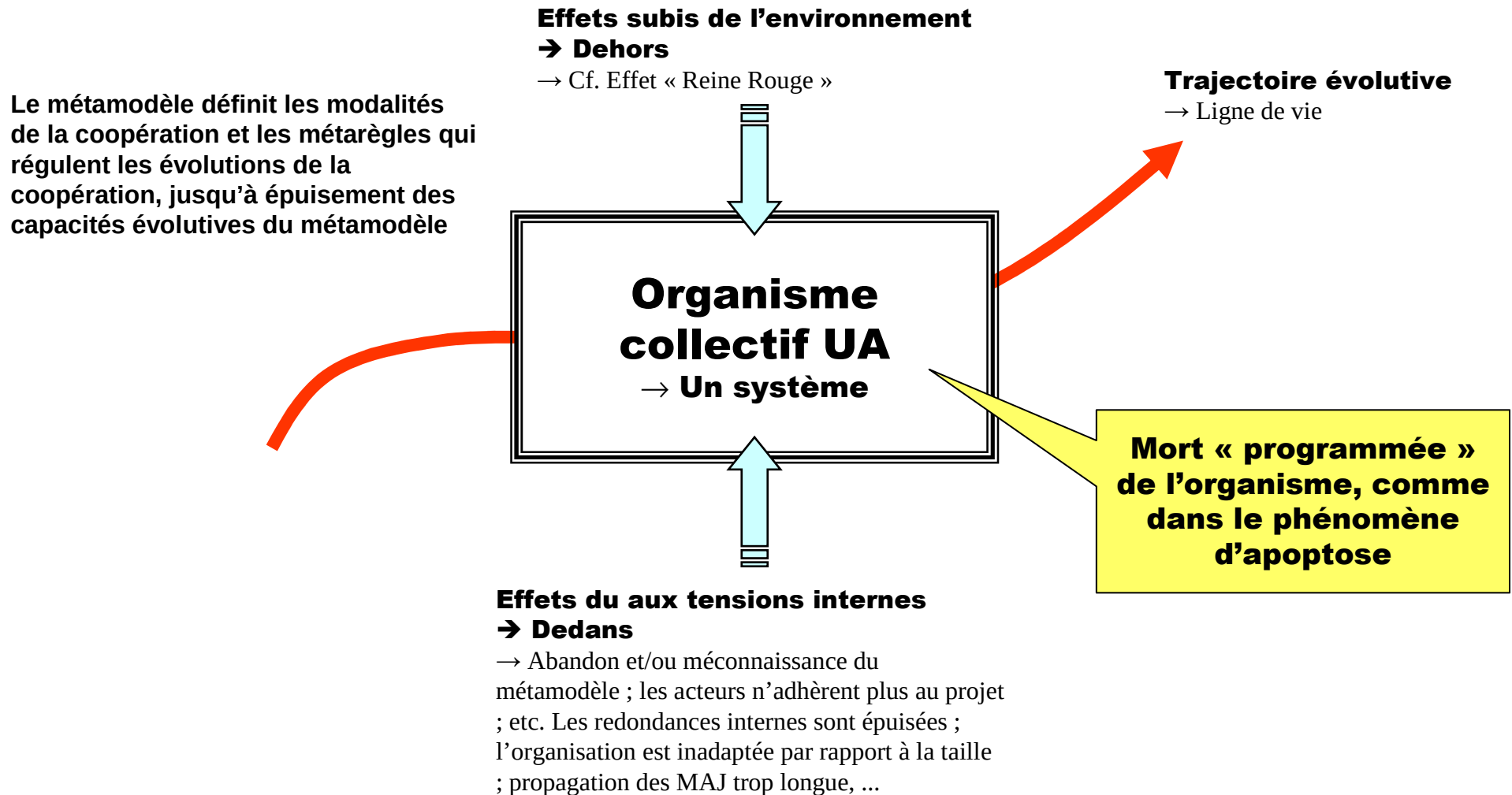
Freinage en fonction de la population dont l'effet provoque la forme en S de la courbe de maturité

Mémoire et cycles générationnels



- Les adultes assurent la survie du groupe et forment les adolescents
- Les femmes et les anciens assurent la formation des enfants ➡ **Imprégnation du métamodèle** ➡ *Le temps nécessaire à cette imprégnation est fonction du niveau d'organisation induit par le métamodèle à l'instant T et du nombre d'individus à imprégner*
- **Rôle important des anciens dans la transmission du métamodèle** ➡ **Expérience**

Vie et mort des UAs en tant qu'entités collectives



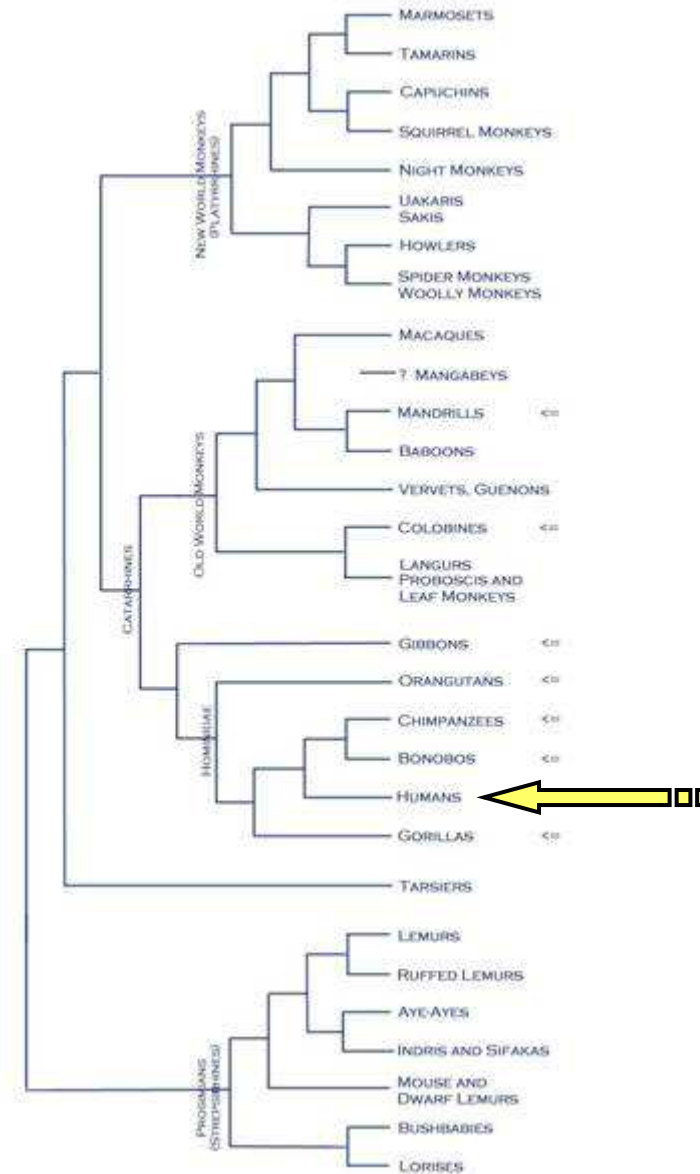
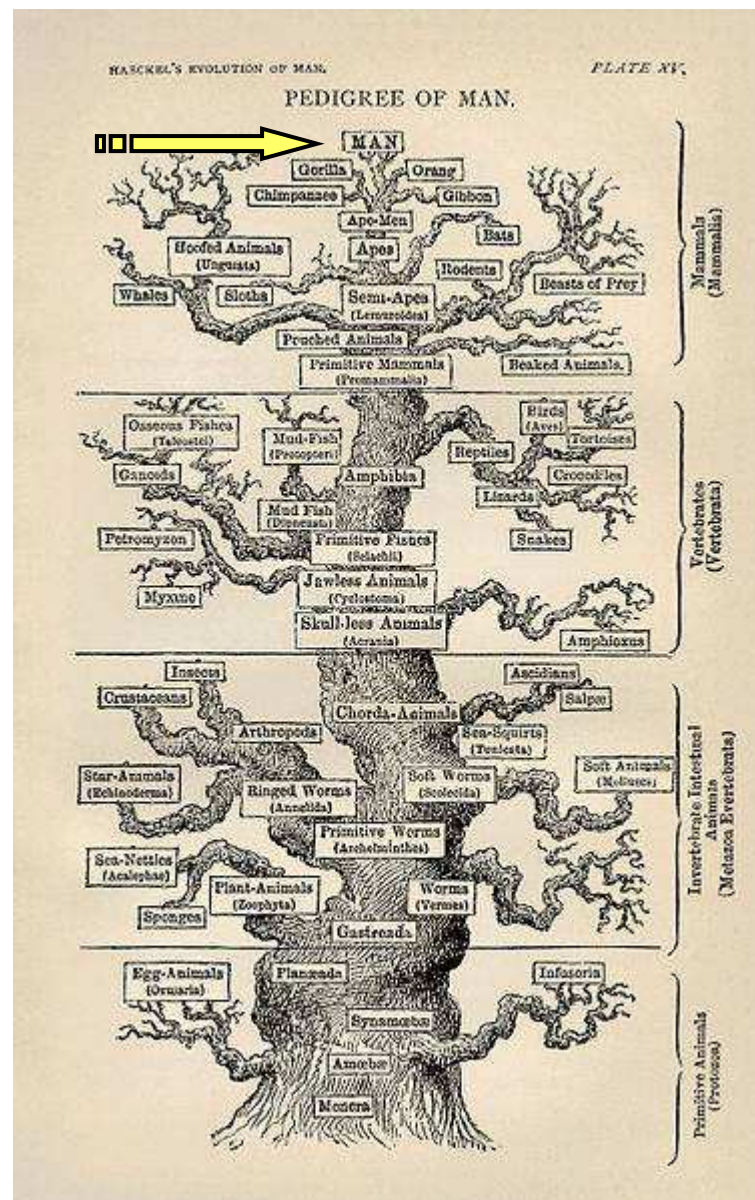
**Intermède Systèmes biologiques,
Ingénierie du vivant
→ Classification phylogénétique**

Quelques données

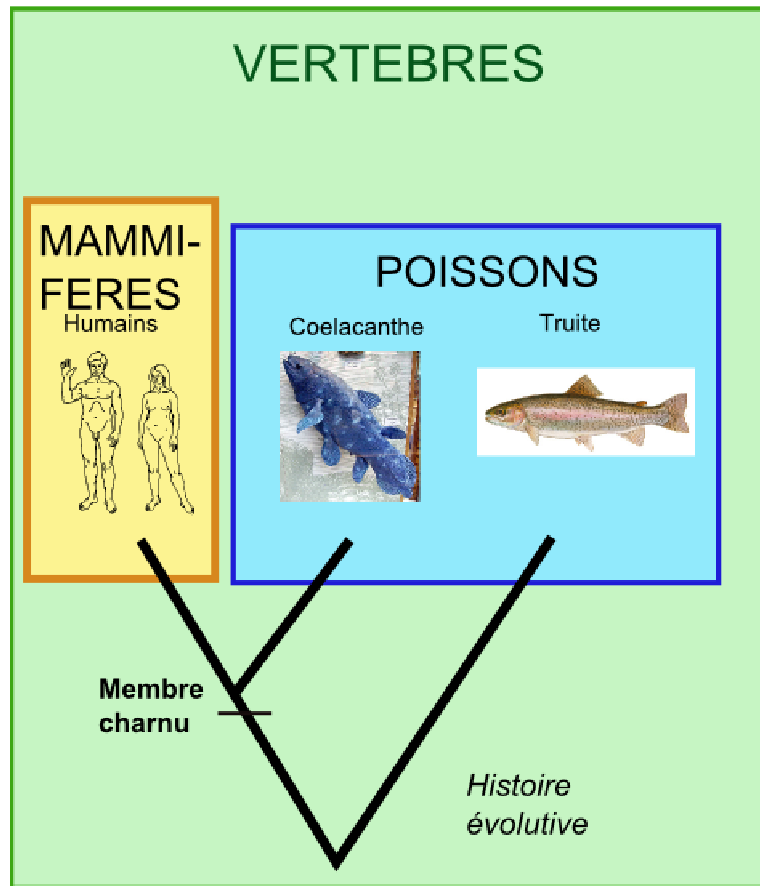
↳ **La brique élémentaire du vivant** ➡ **La cellule**

- Système physico chimique hautement organisé qui maintient sa structure [ou sa « forme » au sens aristotélicien ➡ *substance*]
 - ✓ Stockage → Énergie + Information
 - ✓ Un génome humain c'est 3,6 Md de bases (4 lettres ATGC)
- Assemblage de cellules de même nature pour former des « tissus », des organes, ...
 - ✓ Le cerveau humain → 100 milliards de neurones et 1 million de milliards de connexions (10^{15})
 - ✓ Un corps humain $\approx 75 \times 10^{12}$ cellules ; $\approx 25 \times 10^{26}$ molécules
- Les cellules communiquent entre elles
 - ✓ Messagers chimiques - Phénomènes électriques

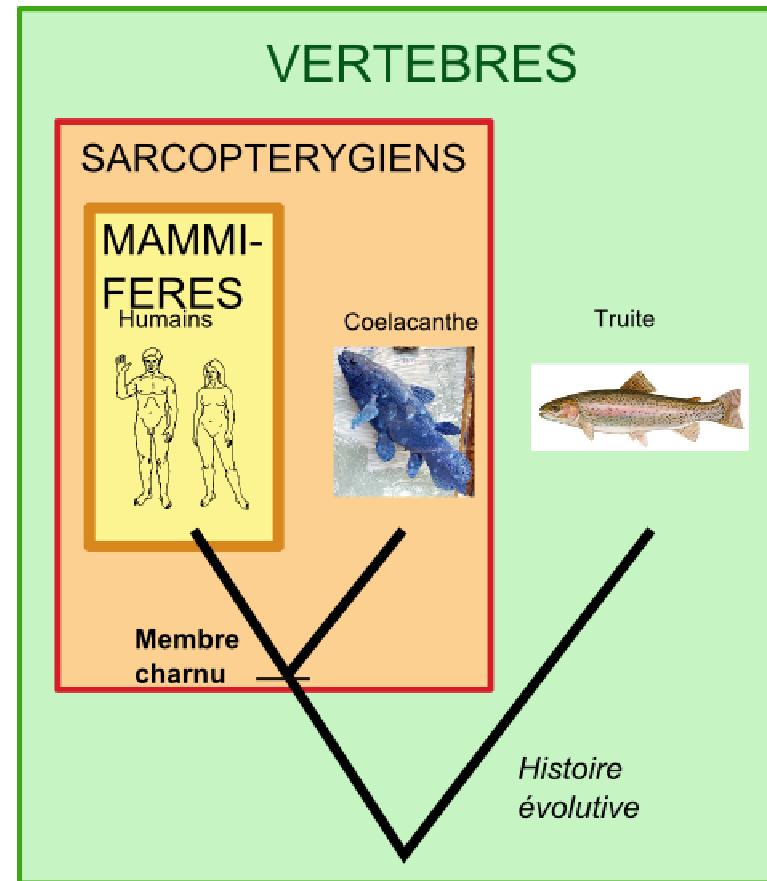
↳ **Arbre phylogénétique du vivant**

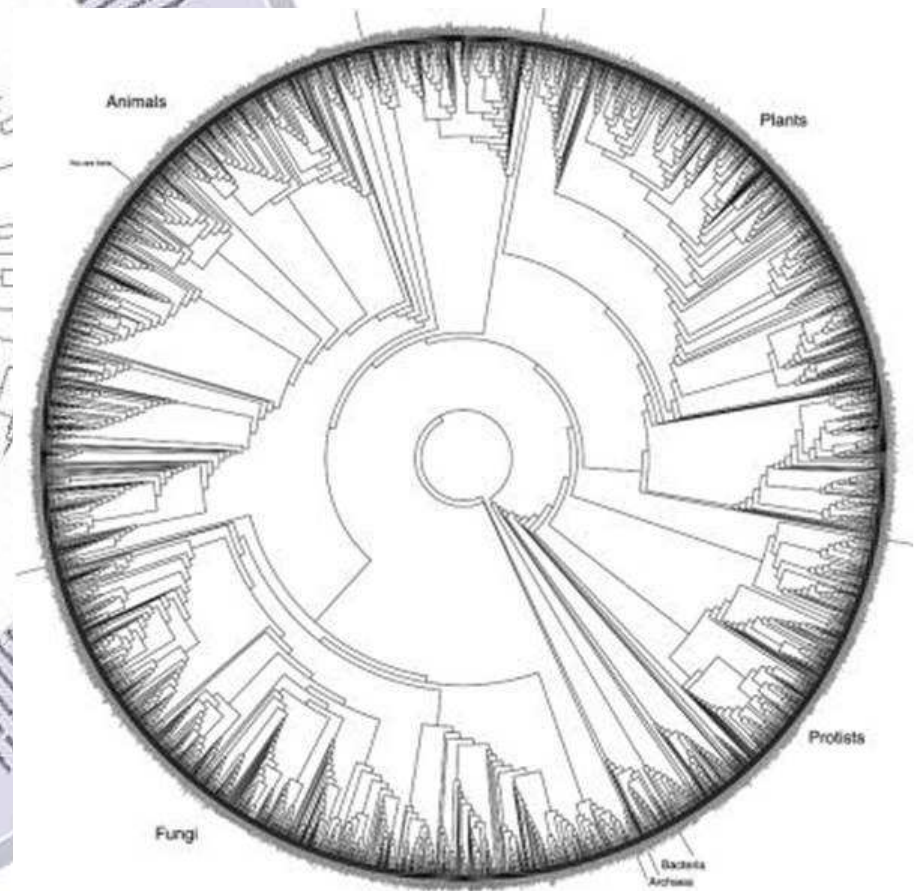
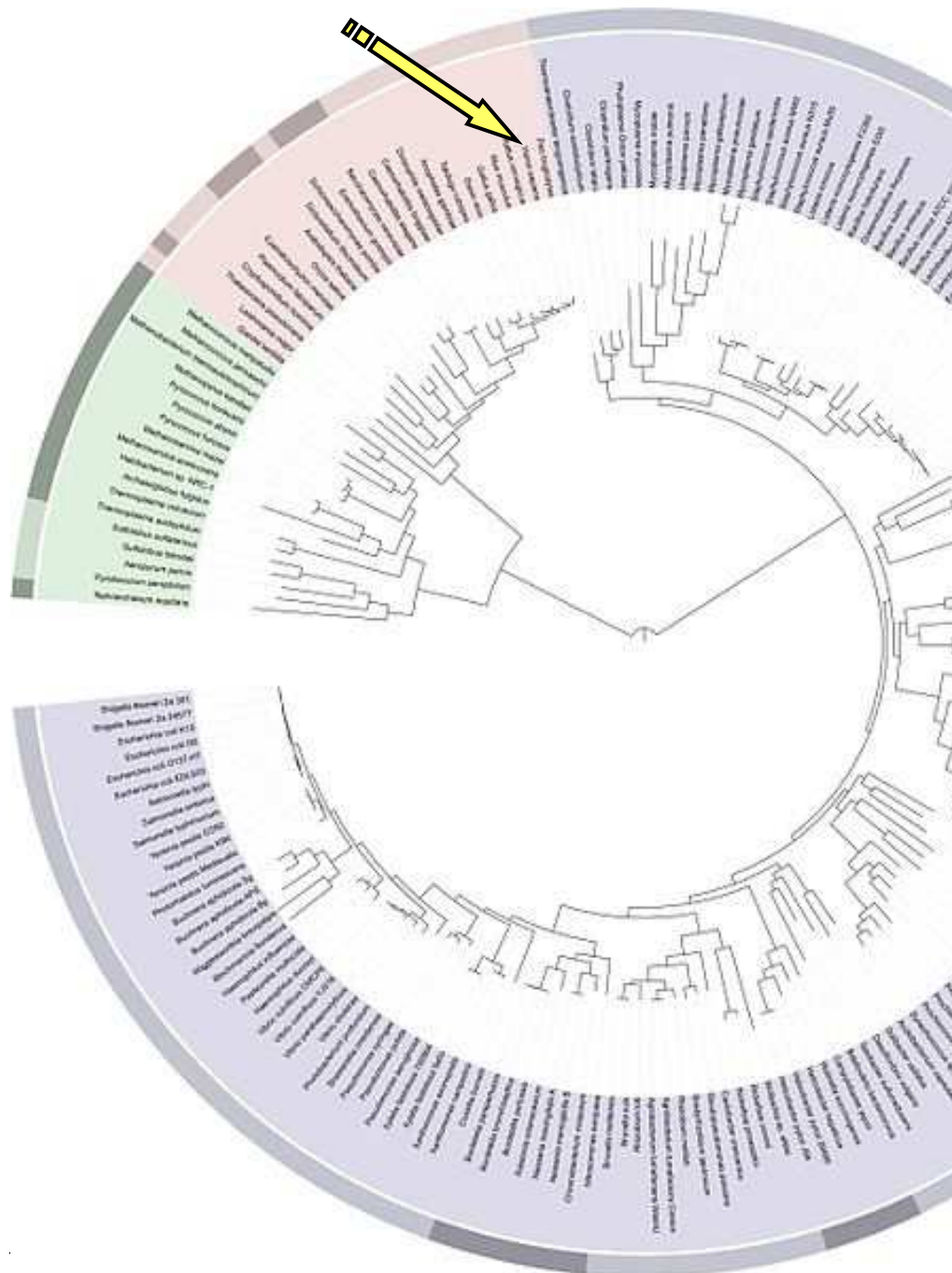


Classification classique



Classification phylogénétique





Hiérarchie du vivant chez S.J.Gould /1

↪ **Cf. son « testament »** : *La structure de la théorie de l'évolution*, 2002, 2006 en F [2.000 pages].

↪ **La voie sextuple** (cf. Chapitre 8 : *Les espèces en tant qu'individus dans la théorie hiérarchique de la sélection*)

- Individu gène
- Individu cellule
- Individu organisme
- Individu dème [*1]
- Individu espèce
- Individu clade

Naissance → Mort

Spéciation → Extinction

Collection

Fait partie de

Individu

Est fait de

Éléments

↪ **Pour chaque « individu »**

- Voir le Tableau 8.1,
 ↪ *Le grand parallèle*, p1004

↪ **Équilibre ponctué et macroévolution**

cf. Chapitre 9 : *L'équilibre ponctué et la confirmation de la théorie macroévolutionniste*

- En informatique, cf. la distinction adaptation/évolution ; Exp. :
 - ☞ Notion de *Logical design* (Von Neumann)
 - ✓ Au bout d'un certain nombre de modifications, transformations et reconfigurations internes le système épuise progressivement ses capacités d'évolution/adaptation à son environnement ☞ mort « entropique »
 - ☞ Depuis les années 50s les ordinateurs n'ont jamais cessés d'évoluer, mais leur architecture logique est **restée la même** !!!

↳ **Exaptation et macroévolution**

cf. Chapitre 11 : ***Contrainte et adaptation dans l'ontogenèse et la phylogenèse ...***

- En informatique, il s'agit de la réutilisation de tout ou partie d'un système au bénéfice d'un autre
 - ✓ Le stade ultime de cette évolution que l'on observe depuis les années 90 et le développement d'Internet et du Web, est la notion d'interopérabilité et de coopération entre systèmes autonomes de façon à former des communauté d'intérêt appelées dans le jargon de l'ingénierie système ➞ **Systemes de systemes**.

Retour à F.Roddier ... Et bilan provisoire

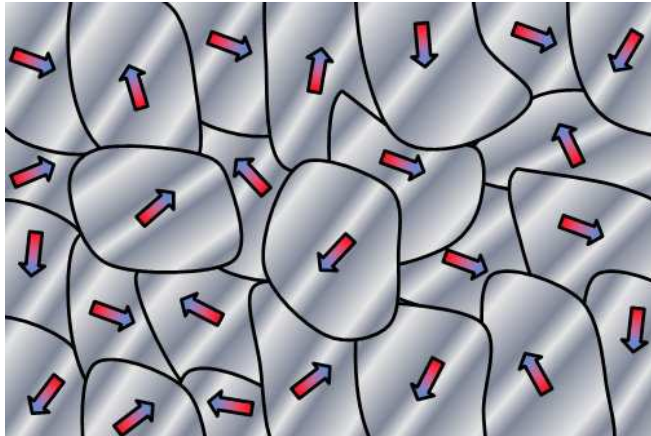
Évolution culturelle [Partie IV, du livre de F.Roddier]

↪ **Comporte 5 chapitres (≈ 60 pages) :**

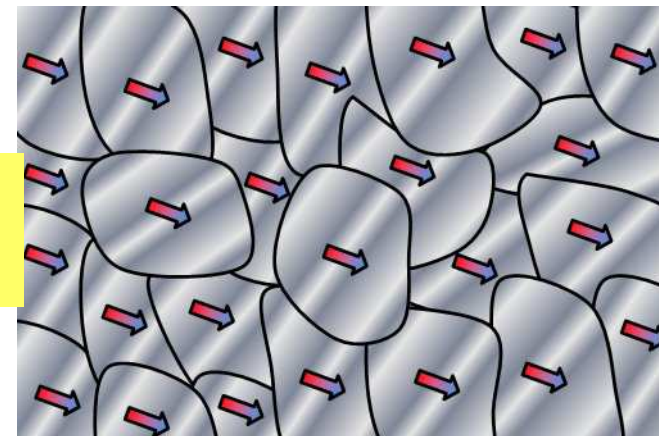
- Les lois de l'évolution culturelle
 - ✓ La coopération, l'écriture et la monnaie, la transmission culturelle, l'auto-organisation des sociétés humaines
- Thermodynamique et sciences sociales
 - ✓ Économie et relations sociales, les crises économiques et financières, sociologie
- L'évolution culturelle en occident
 - ✓ Antiquité, Rome, la chrétienté, les barbares, du Moyen-âge à maintenant
- Le siècle des menaces
 - ✓ Limites de la connaissance, la fin de la croissance, vers l'effondrement
- L'avenir de l'humanité
 - ✓ L'effondrement, la restructuration, l'humanité future (exemple des Koguis)

Métaphore du modèle d'Ising « culturel »

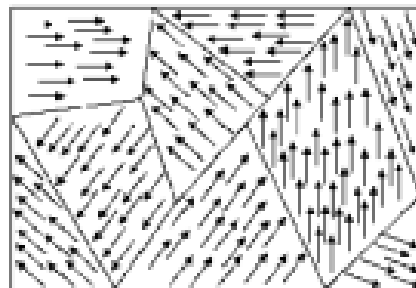
Substance ferromagnétique



Substance aimantée



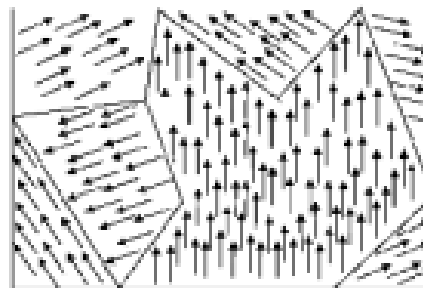
Transition
brusque d'un
état à l'autre



$T > T_c$

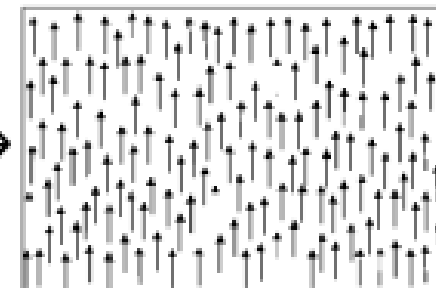
Le magnétisme disparaît

HT



Transition de phase à T_c
[Température de Curie]

HT



$T < T_c$

Évolution des supports et de la structure de l'information génétique

<i>Structure dissipative</i>	<i>Support de l'information</i>	<i>Code</i>
Espèces animales	Gènes	Code génétique
Homo sapiens	Cerveau	Langage
historiques	Livres	Écriture
Sociétés modernes	Supports informatiques	Codes informatiques

De toute évidence ➡ un point à creuser

De génétique l'évolution est devenue culturelle.

Vitesse de l'adaptation

↪ **L'adaptation par les gènes est lente** ➡ **nécessite de nombreuses générations**

↪ **L'adaptation culturelle est beaucoup plus rapide**
➡ **×100** ➡ **Métaphore de la « Reine rouge » ... jusqu'où ?**

- Cf. [selon exemple FR] la « transition » néolithique et l'invention de l'agriculture, il y a environ 10.000 ans [4-500 générations]
- Les sociétés agricoles dissipent beaucoup plus d'énergie que les sociétés de chasseurs/cueilleurs

✓ En ce sens elles sont conformes au 3ème principe → MEP

Les sociétés agricoles utilisent beaucoup mieux l'espace [du point de vue thermodynamique] que leurs ancêtres chasseurs/cueilleurs

↪ **Nous formons **UNE seule espèce biologique**, mais plusieurs « espèces » culturelles**

- La culture a remplacé les gènes ➡ §11.4 et les **3 anomalies** : 1) le « genre » homo → UNE espèce ; 2) propension à s'exterminer ; et 3) capacité à s'organiser grâce à l'**information culturelle**

Apport de l'informatique en matière de langages artificiels et humains

- ⇒ Dans tout langage, naturel ou artificiel, on distingue 1) la **pragmatique** (aspect organique du langage), 2) la **syntaxe** (les règles structurales → la grammaire), et 3) la **sémantique** (les relations avec le réels)
- ⇒ Pour des raisons évidentes de coopération efficace entre les membres d'une communauté linguistique, le graal des langages est la construction de langages « context free »
 - ✓ Le plus élaboré de tous : le langage mathématique
- ⇒ Von Neumann introduit une distinction fondamentale entre le langage interne au système et le langage externe qui sert aux interactions avec d'autres systèmes
- ⇒ Le langage informatique est compréhensible par les ordinateurs [exécutable+réversible/déterministe]
 - ✓ Aspect « performatif » → capacité à donner des ordres et à les contrôler.

De la mémoire biologique ... /1

✚ On ne sait pas comment le cerveau stocke / mémorise l'expérience acquise

✓ Probablement parallélisme massif + redondances pour une ultra haute fiabilité

✚ Dans l'ordinateur le substrat fondamental, depuis les années 50-60 est le cristal de silicium

- 1 bit d'information utile ☞ stable , c'est 2 à 5 transistors, voire plus, soit environ 50 millions d'atomes de silicium, dans les technologies actuelles [20 nano mètres]
 - ✓ 1 transistor ☞ Environ 5 à 10 millions d'atomes
- La mémoire d'une machine comme la Tera-100 de Bull, c'est plusieurs centaines de téraoctets ☞ qq. m² de silicium

... à la mémoire informatique /2

- Le stockage de l'information est **indissociable des modes de traitements de cette information**
 - ✓ Deux aspects : 1) **Organique/physique** [mémorisation d'un état stable, ou rendu stable par un dispositif ad hoc ➡ réécriture périodique] ; et 2) **Logique/sémantique** [ce qui nécessite un code]
 - ✓ Information « factuelle » ➡ les données [et le contexte pertinent de ces données], et information « procédurale » ➡ une suite d'opérations/ordres avec possibilité de choix
- La notion d'adresse est fondamentale → c'est un « nom » qui permet de retrouver un « contenu » associé à ce nom – Un « contenu » peut avoir plusieurs « noms »
 - ✓ Cf. la distinction fondamentale introduite par G.Frege entre « **sens** » et « **dénotation** »
- La mémoire de l'ordinateur est une structure hiérarchique
 - ✓ Au sens Organique/physique, en fonction des performances requises
 - ✓ Au sens Logique/sémantique, en fonction de différents critères de classification pour créer des « voisinages » de sens [cf. cours de Linguistique générale de F. de Saussure, entre autre ...]
- Boucle fondamentale : Acquisition [capteur, durée T1] → Compréhension [unité de traitement, durée T2] → Action [effecteur, durée T3]
 - ✓ Temps de circulation des informations ➡ Compatible avec le contexte dans lequel le système agit, sinon **danger** ☠ ☠ ☠

Le siècle des menaces & L'avenir de l'humanité [Chap. 15 & 16]

↪ **Fin de la croissance – Limites ... ?!**

- En 2030-50 → 9-10 Md d'habitants sur la planète – La mondialisation dérégulée rend les zones économiques interdépendantes [*et plus particulièrement la « vieille Europe »*]

☹ **L'effondrement de nos sociétés paraît inéluctable**

↪ **Vers une symbiose parfaite entre les membres de la collectivité humaine pour « durer 1.000 siècles »**

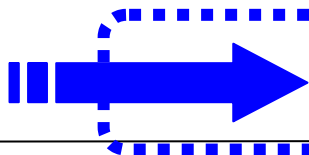
- **Jamais nos connaissances n'ont été aussi étendues** ... Nous devons retrouver des cycles réversibles [Carnot] et renoncer explicitement aux actions qui produisent mécaniquement de l'entropie[*] que l'on ne sait pas compenser... donc du **désordre irréversible**.

☺ **Développer** « un **cerveau culturel global** » qui va réguler le triple cerveau génétique dont l'évolution nous a doté ...

Interprétation en termes de méta modèles ➡ C'est une structure active [*]

↪ Niveaux d'organisations visibles

- Organisation de la matière (les fermions) via les interactions fondamentales + le principe de moindre action [*Maupertuis*], la symétrie
 - ✓ Le méta modèle est : **Le modèle standard des particules**
- Organisation du vivant avec comme « brique » élémentaire la cellule vivante
 - ✓ L'ingénierie du vivant revient à étudier le « méta modèle » du vivant selon un « cycle de vie » presque classique : but, conception, opération, retrait.
- Organisation des organismes multicellulaires ➡ Individuation
 - ✓ Pour ces deux points, voir la **voie sextuple** de S.J.Gould, ci-dessous.
- Organisation des sociétés d'individus animales et humaines
 - ✓ Méta modèle sociaux, depuis les structures élémentaires de la parenté (cf. Lévi-Strauss) jusqu'à nos sociétés hypercomplexes dont les systèmes d'information commencent à nous fournir une représentation pertinente, non caricaturale et sur simplificatrice, de la problématique sociale.
- Organisation de la société mondiale
 - ✓ Identification des éléments communs aux différents métamodèles en présence et compatibilité de ces métamodèles ➡ cf. la théorie des méta-jeux
 - ✓ Impossible ici de ne pas penser au livre de Teilhard de Chardin, *Le phénomène humain*, aux problématiques d'inculturation chères aux jésuites ➡ *Amérique du Sud, Chine,* et à leur implication dans l'éducation, l'étude



Les limites de l'argumentation de F.Roddier

↪ **Aucun phénomène, y compris le phénomène humain, n'échappe aux lois de la nature**

[Dans la mesure de notre connaissance de ces lois]

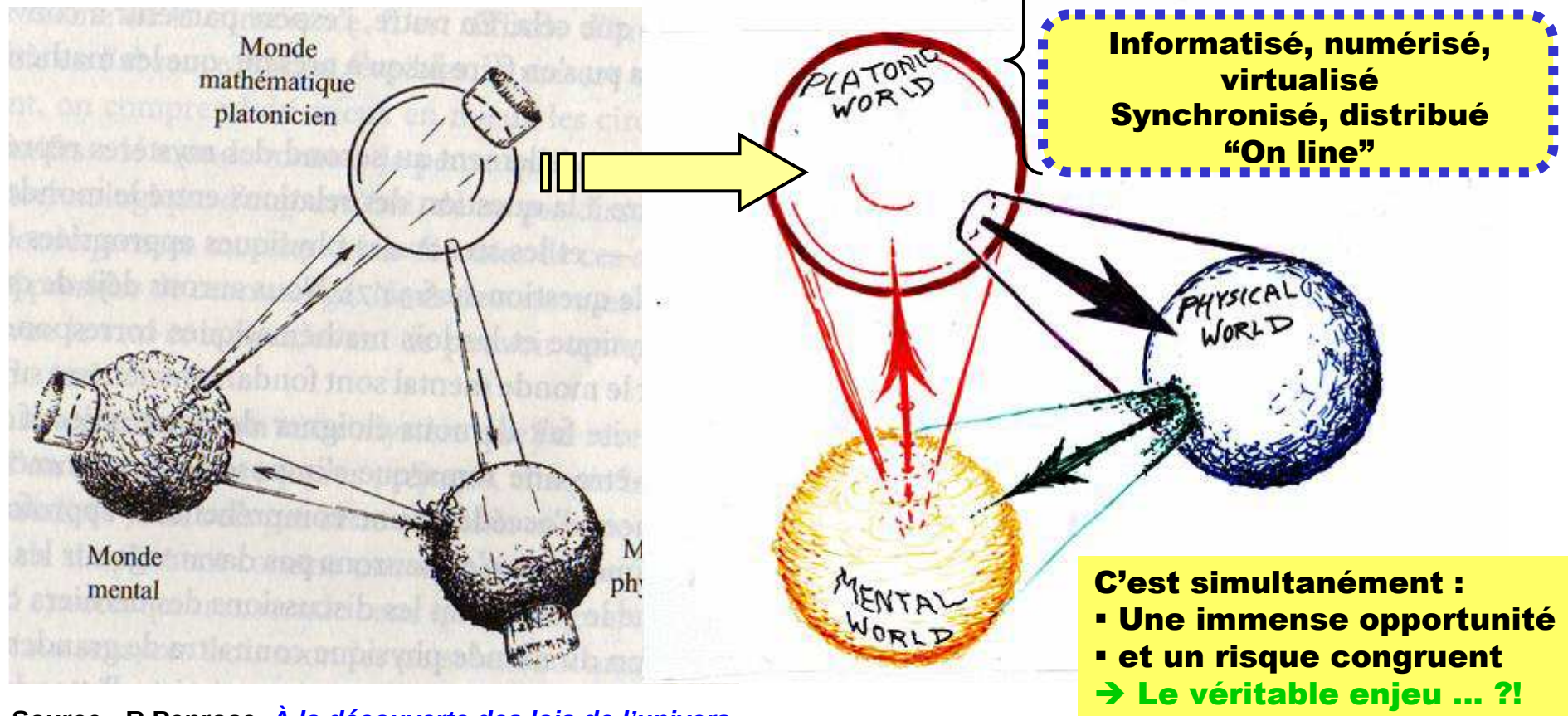
☞ Voir la théorie des **Trois Mondes** de K.Popper

Mais de là à expliquer la Chute de l'Empire romain, où les phénomènes religieux, ou l'économie ... par des considérations purement thermodynamiques On peut [doit] s'interroger, voire douter !?

☞ Voir un autre livre de K.Popper, **Misère de l'historicisme**

Les 3 mondes de K. Popper

👉 Revisités par R. Penrose



Source : R. Penrose, *À la découverte des lois de l'univers*, pages 17, 19, 990.

Pour conclure :

**Un livre riche ... extrêmement stimulant
et au final optimiste !**

☞ **Nous sommes responsables de nos actes, et
personne, aucune puissance extérieure, ne
prendra les décisions qui s'imposent à notre
place : « Dieu est mort, nous l'avons tué » !!!**

Il faut donc assumer ...

« Comme l'ombre est attaché au corps, / le Karma nous suit, / les
actions présentes créent les actions futures, / Et chacun recueille
le fruit de ses œuvres ».

Vie de Milarepa, Lama Kazi Dawa-Samdub, Ed. W.Evans-Wentz, Librairie Maisonneuve, 1955, *Ed.
anglaise 1928.*

Le Karma, ☞ **c'est la dette !!!** ... Entre autre ... mais aussi ... la pollution, les guerres, ... **l'entropie**