



Peut-on expliquer le vivant avec les lois physiques?

Boudewijn van der Sanden, Biophysicien

boudewijn.vandersanden@univ-grenoble-alpes.fr

- INSERM U1039 Radiopharmaceutique Bioclinique
- PF de microscopie intravitale, France Life Imaging, GIS-IBiSA

Faculté de Médecine de Grenoble
Site Santé / Bâtiment Jean Roger
38700 La Tronche

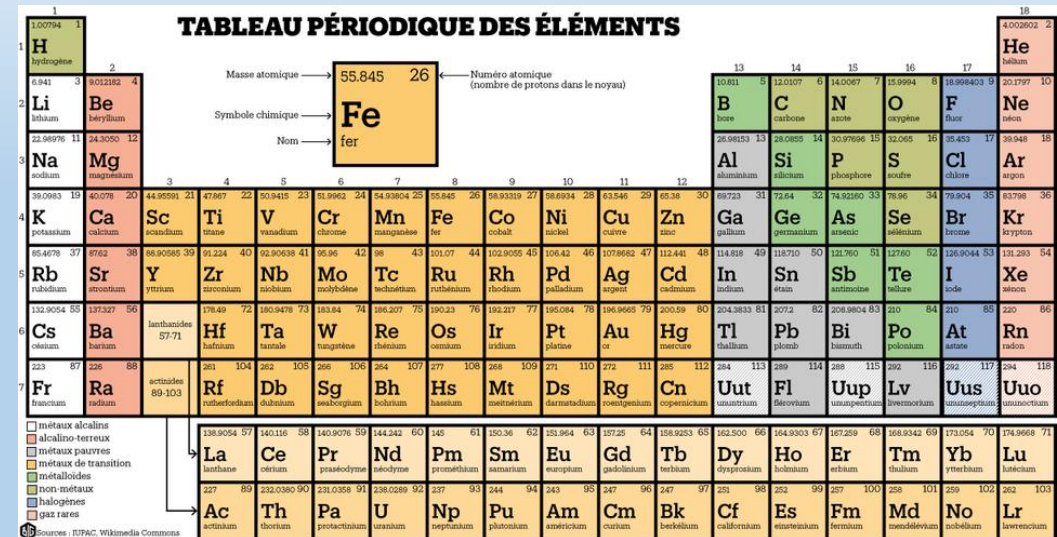
'Philosophie' d'un physicien

Derrière la multiplicité des phénomènes, la diversité des matériaux et la variété des corps, les physiciens sont parvenus à reconnaître une unité de constitution.

Tout objet vivant et non vivant est constitué des mêmes atomes.

On gère !

TABLEAU PÉRIODIQUE DES ÉLÉMENTS



Le tableau périodique des éléments est présenté avec une mise en évidence de l'élément Fer (Fe). Les informations relatives à Fe sont :

- Masse atomique : 55,845
- Numéro atomique (nombre de protons dans le noyau) : 26
- Symbole chimique : Fe
- Nom : fer

Le tableau est coloré par groupes d'éléments :

- Alcalins (bleu clair)
- Alcalino-terreux (orange)
- Métaux pauvres (jaune)
- Métaux de transition (rouge)
- Métalloïdes (vert)
- Non-métaux (bleu foncé)
- Halogènes (orange foncé)
- Gaz rares (bleu très clair)

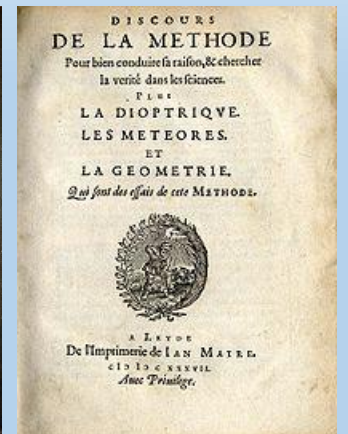
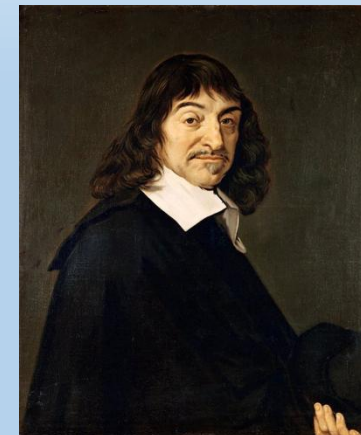
Source : IUPAC, Wikimedia Commons

La physique

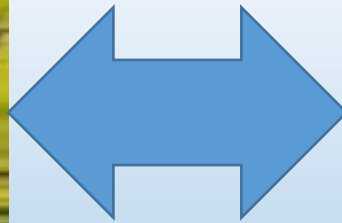
La physique classique est fondée, entre autres, sur le principe de causalité qui affirme qu'un effet est entièrement déterminé par des actions antérieures.

La physique a une tendance à **simplifier** les problèmes

1. Objet: problème à résoudre & hypothèses
2. Diviser le plus possible
3. Recomposer
4. Réviser, confirmer ou réfuter les hypothèses



Objet, Diviser, Recomposer,Réviser?



Biophysique = Physique pour la Biologie?

Biophysicists provide and apply physical techniques and try to understand life processes and structures in terms of underlying physical laws and principles.

The distinction between the “live” (biology) and “dead” (physics) world is disappearing more and more.



prof. dr. H (Herbert) van Amerongen



I  Schrödinger

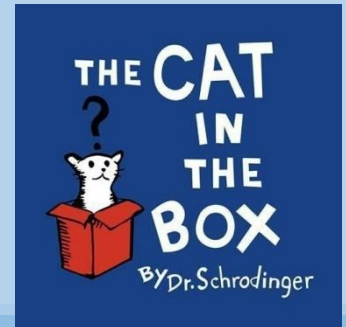


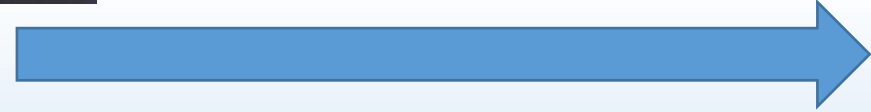
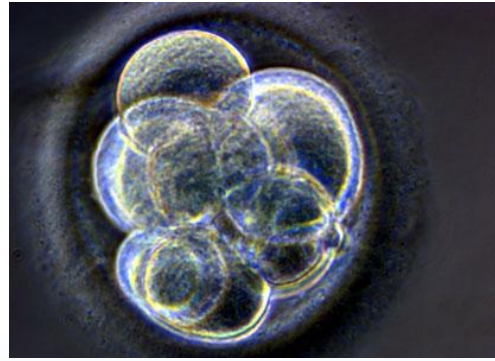
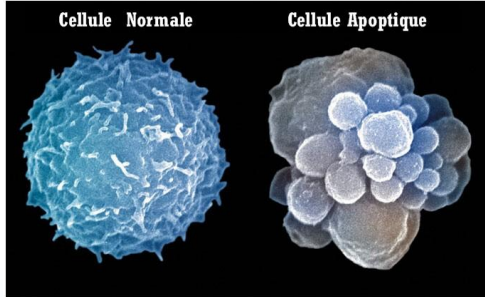
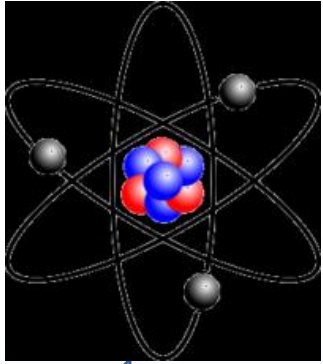
En imaginant l'équation d'évolution de la fonction d'onde associée à l'état d'une particule, il a permis le développement du formalisme théorique de la mécanique quantique.

Prix Nobel de Physique 1933 avec Paul Dirac

Erwin Schrödinger: Qu'est-ce que la vie ? De la physique à la biologie.

Une force spéciale non-physique opérerait sur l'organisme.





$$Entropie = k \log D$$

$$-Entropie = k \log 1/D$$

Physique

La matière morte

K constante de Boltzmann $3,9 \cdot 10^{-23}$ J/ K
D = mesure quantitative **du désordre** atomique

Biologie

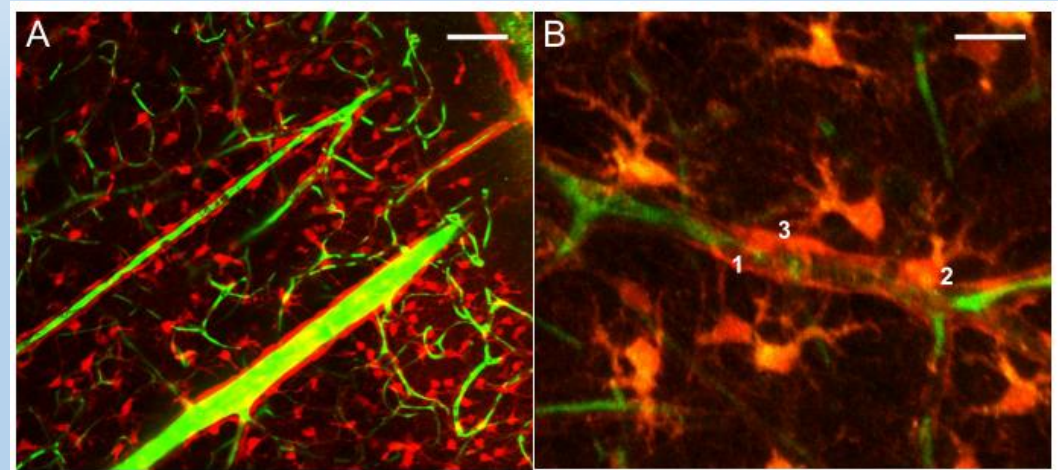
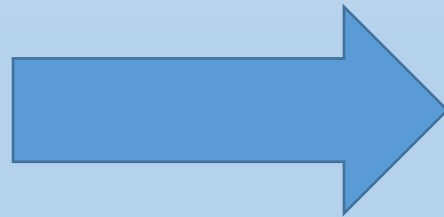
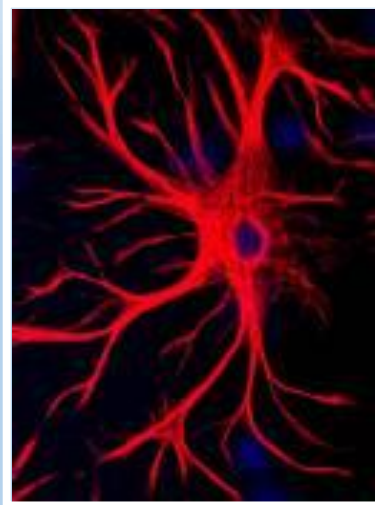
La matière vivante

1/D = mesure quantitative **de l'ordre** atomique



L'émergence

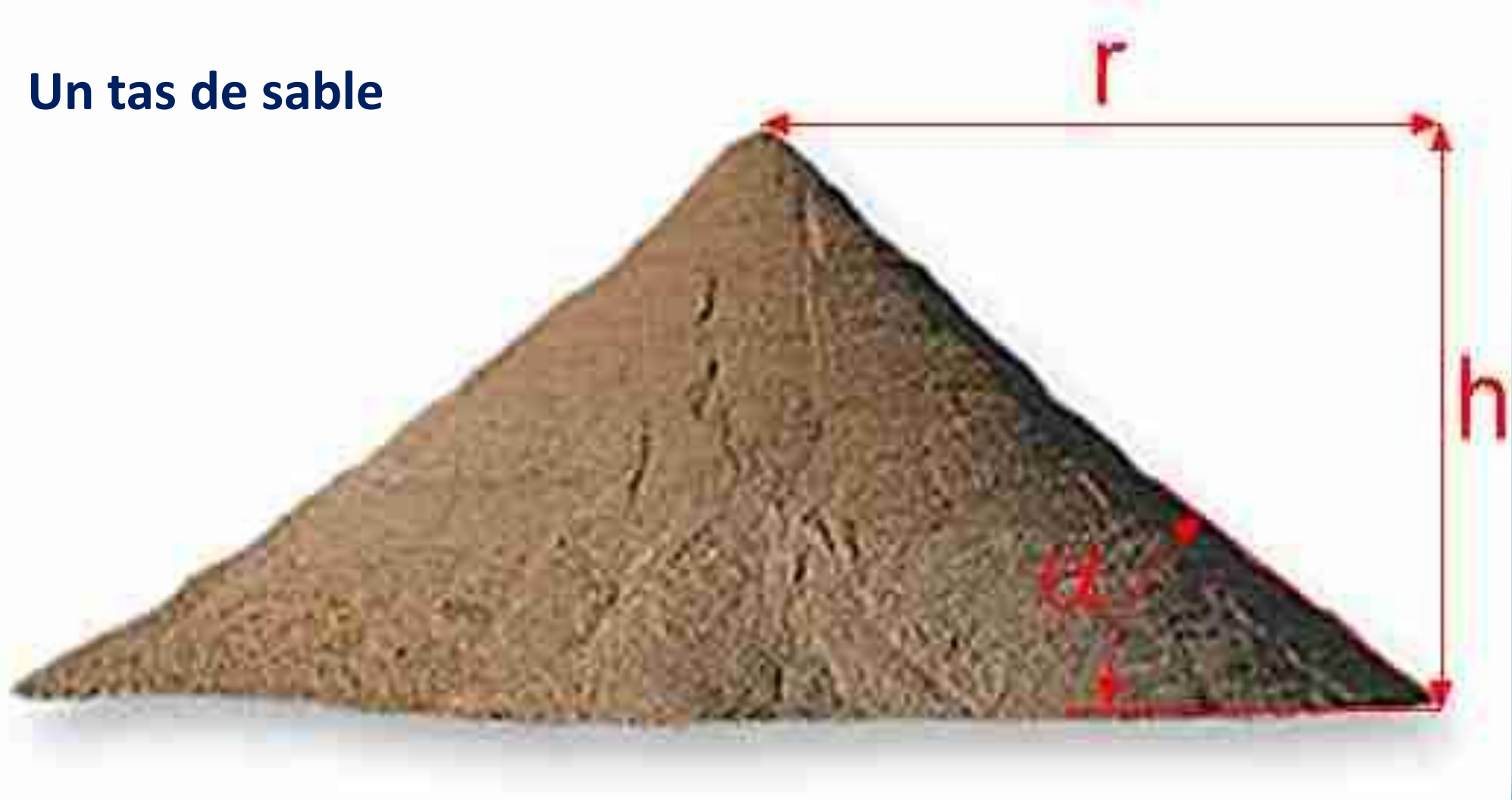
est un concept qui intervient lorsque des systèmes simples interagissent en nombre suffisant pour faire apparaître un certain niveau de complexité qu'il était difficile de prévoir par l'analyse de ces systèmes pris séparément..



Emergence absente

Planche de Galton, du nom de son inventeur Sir Francis Galton (1822-1911), est un dispositif destiné à visualiser la loi des écarts à la moyenne dans le cadre d'une série d'un grand nombre d'expériences aléatoires indépendantes.

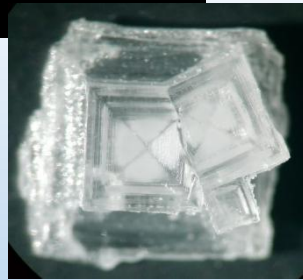
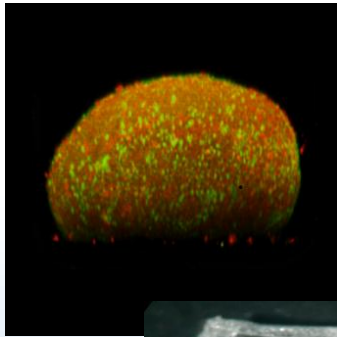
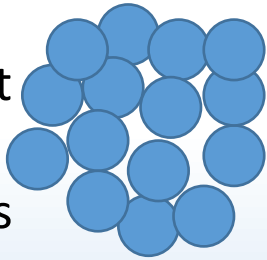
Un tas de sable



Emergence faible et forte

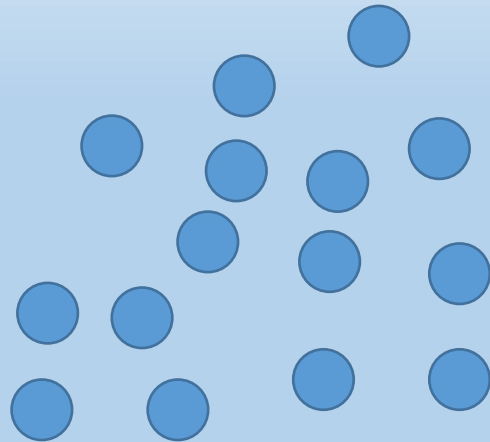
Emergence faible

la dynamique causale du tout est entièrement déterminée par la dynamique causale des parties



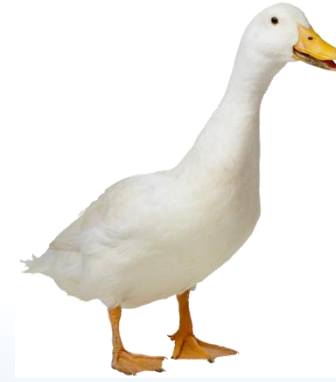
Physique /
Chimie

Cellules

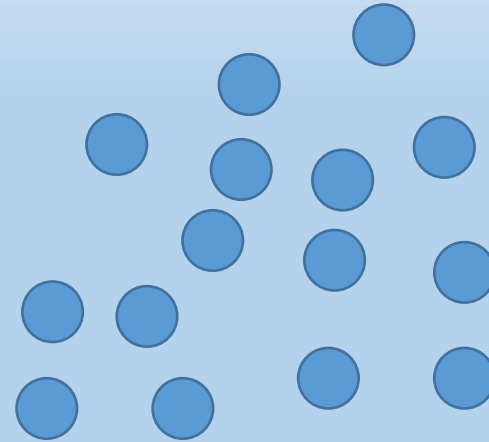


Emergence forte

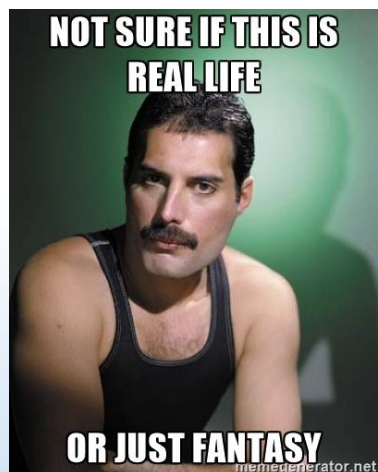
la mise en avant d'une influence fondamentale et irréductible du tout sur les parties, c'est-à-dire par l'apparition d'un haut niveau de complexité influençant causalement les processus de même niveau, ou de niveau inférieur.



Biologie



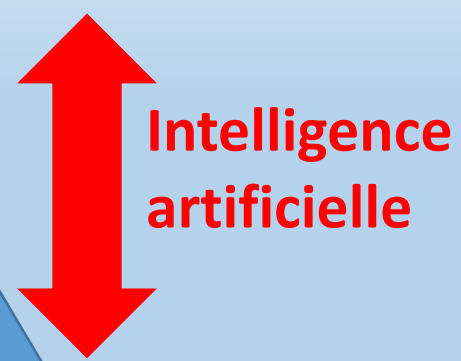
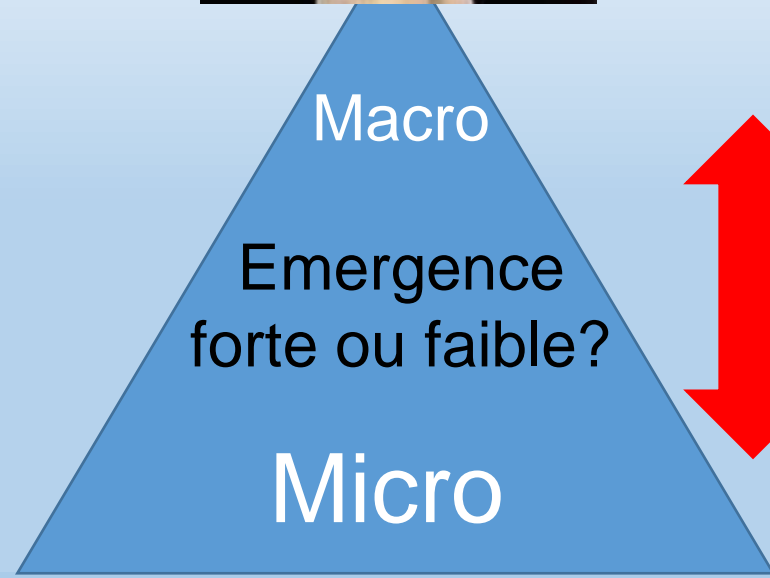
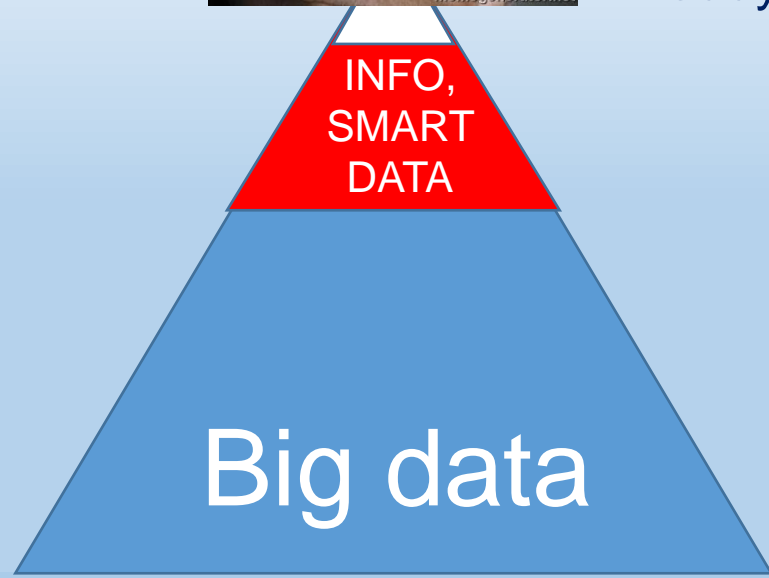
Comment lier le monde microscopique au monde macroscopique



Freddy Mercury



Edgar Morin

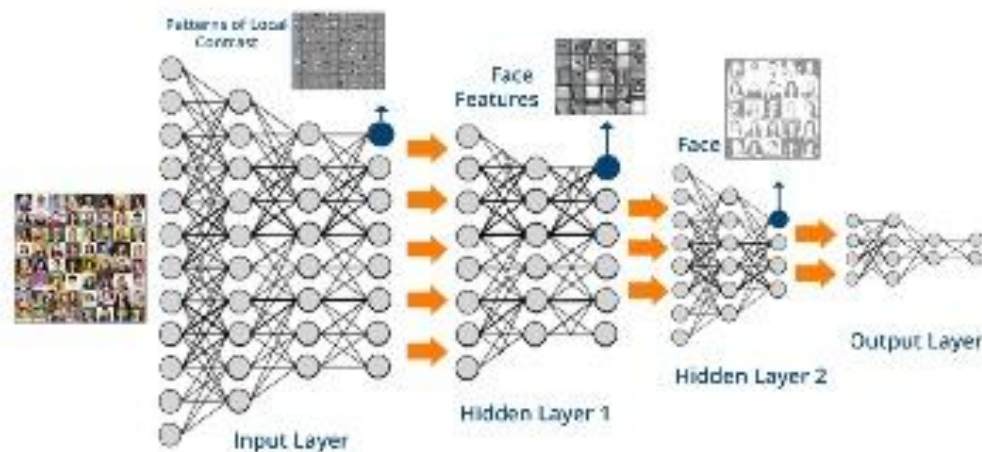


Deep Learning ?

Une méthode de *machine learning* qui permet un **apprentissage non supervisé** en s'appuyant sur l'analyse de données hétérogènes



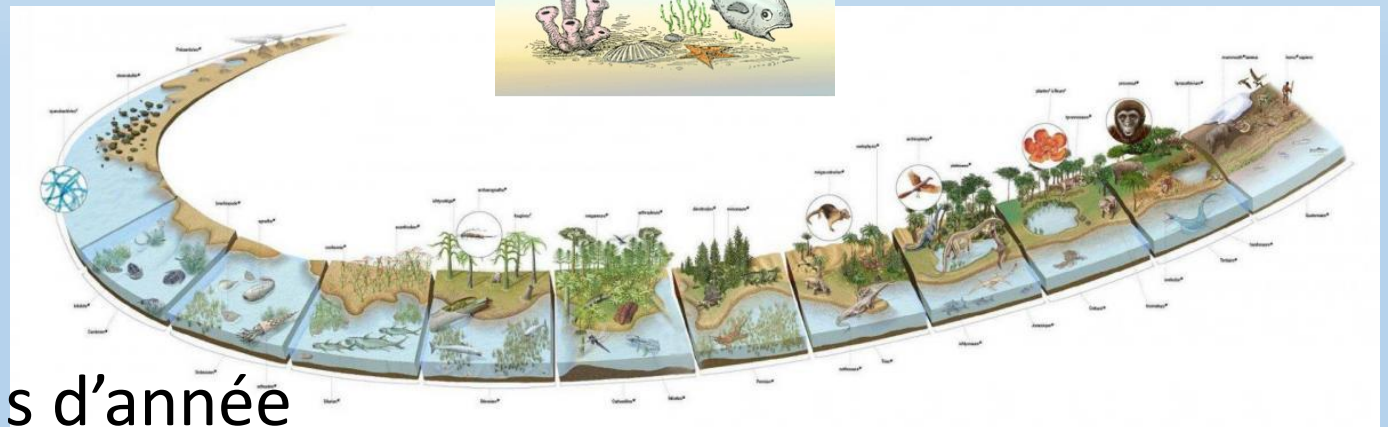
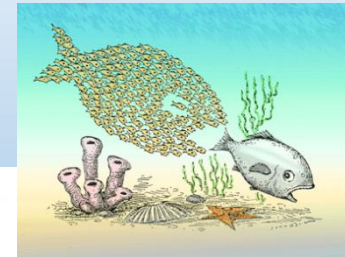
Une méthode particulièrement bien adaptée au traitement de larges jeux de données (big data) pour identifier des modèles (« *patterns* ») permettant d'extrapoler des observations-clés (« *insights* »)



La vie: Emergence à tous les niveaux

Protéines, organes (interactions cellules), individu, entre individus

L'émergence a, en tant que telle, vertu d'événement et d'irréductibilité; c'est **une qualité nouvelle intrinsèque qui ne se laisse pas décomposer**, et que l'on ne peut déduire des éléments antérieurs, **car ce n'est pas + et + et + et +**



La vie sur terre depuis 3,5 milliards d'année



Edgar Morin: Introduction à la pensée complexe

Prendre conscience de la pathologie contemporaine de la pensée.

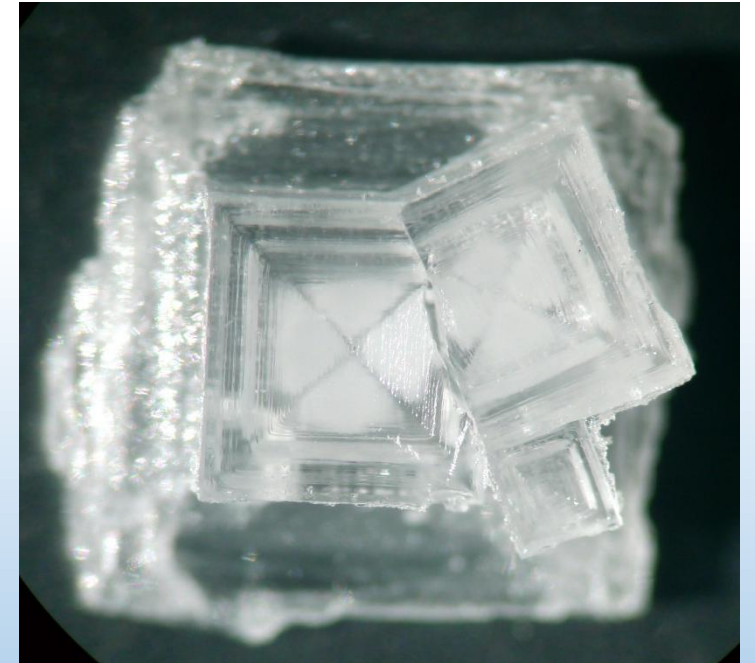
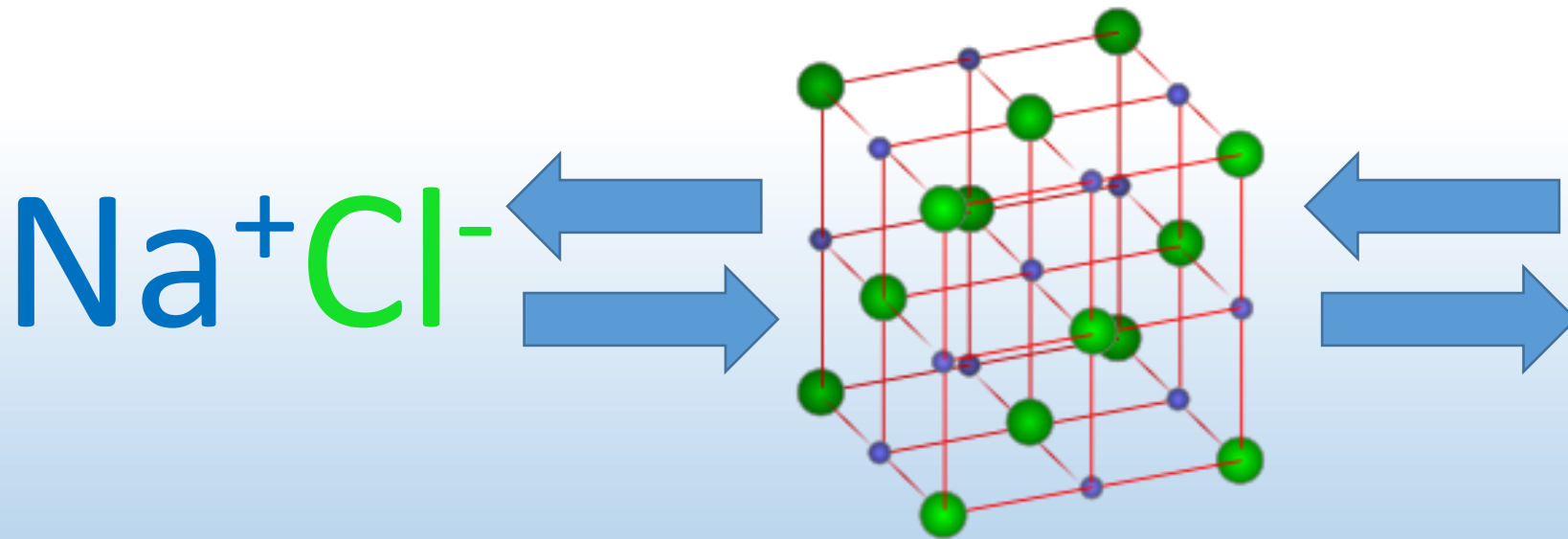
Nous avons une **hyper-simplification qui rend aveugle à la complexité du réel**. Seule la pensée complexe nous permettrait de civiliser notre connaissance.

La **pensée complexe est tout d'abord une pensée qui relie**.

Cela veut dire que par opposition au mode de penser traditionnel, qui découpe les champs de connaissances en disciplines et les compartimente, la pensée complexe est un mode de reliance.

Elle est donc **contre l'isolement des objets** de connaissance; elle les restitue dans leur contexte et, si possible, dans la globalité dont ils font partie.

Les Cristaux, la forme finale est prévisible?

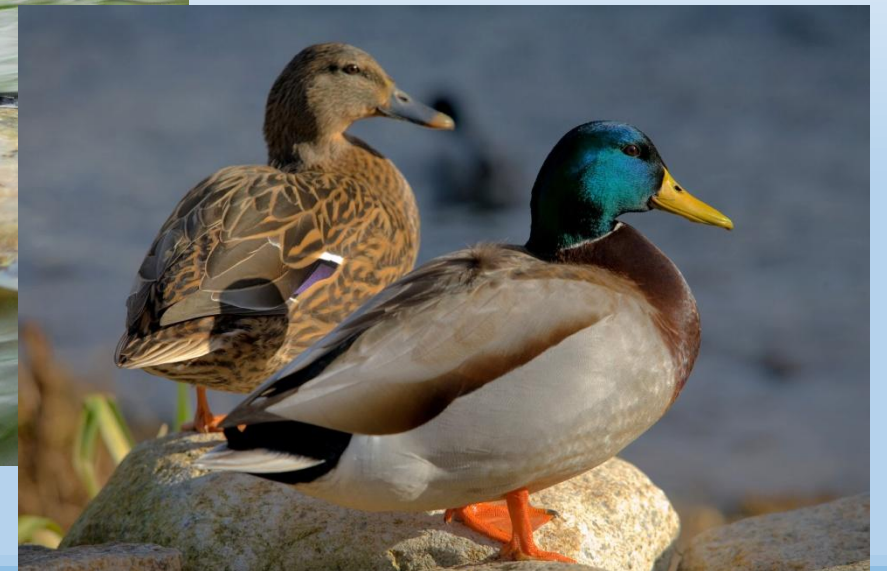
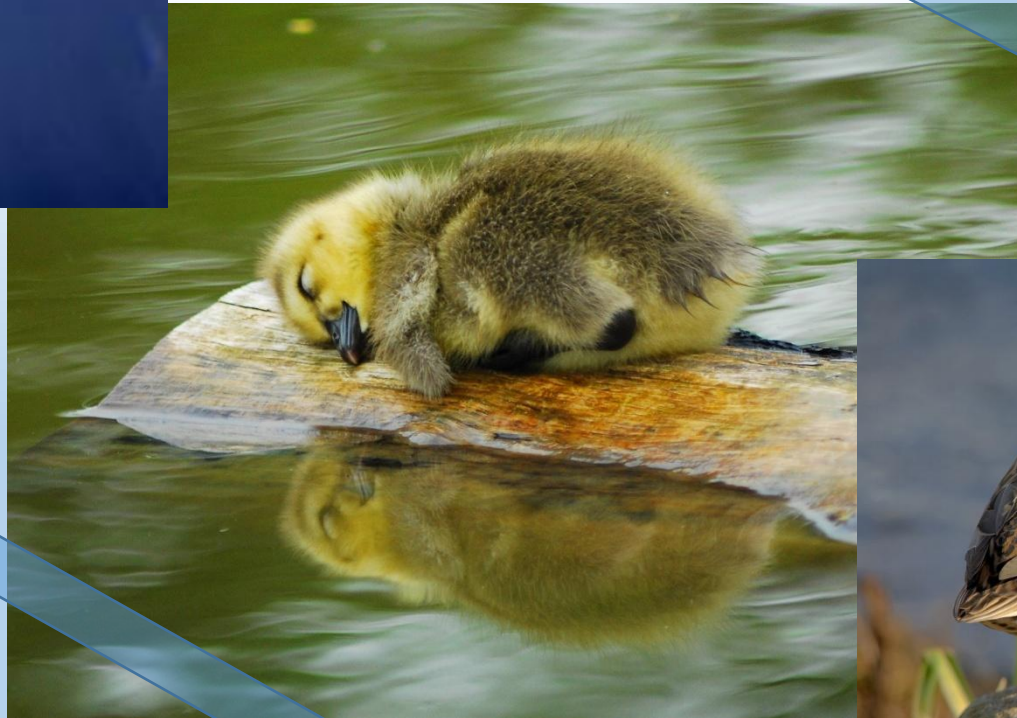
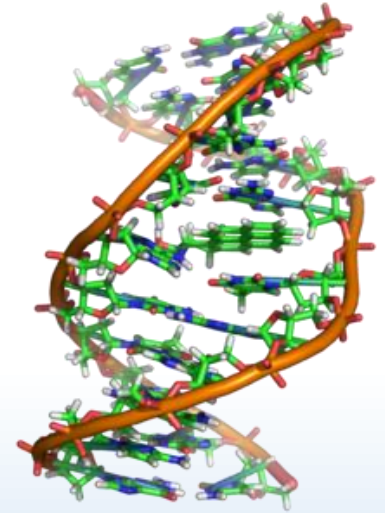


Emergence faible

Pour une transformation réversible : L'entropie (S) créée = $\Delta S_{\text{sys}} + \Delta S_{\text{ext}} = 0$

Le vivant, la forme est prédictible à partir d'une cellule?

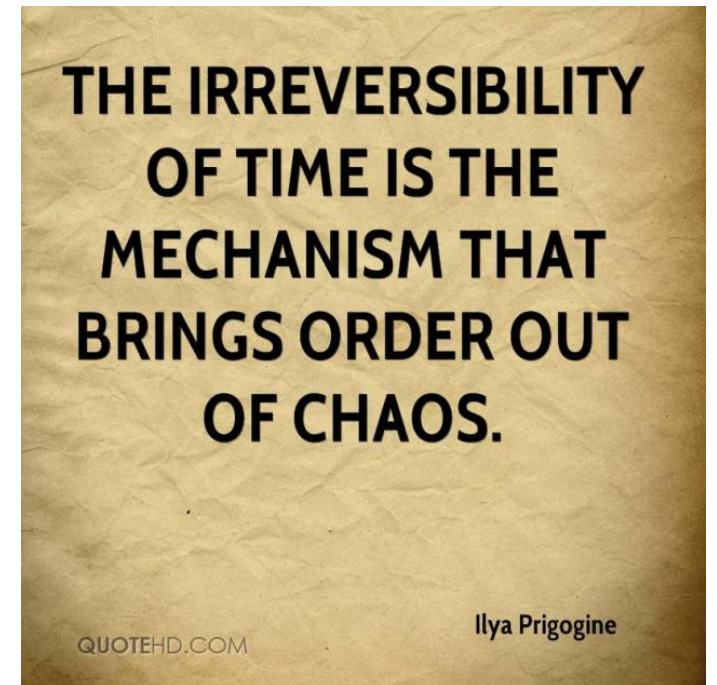
Emergence forte



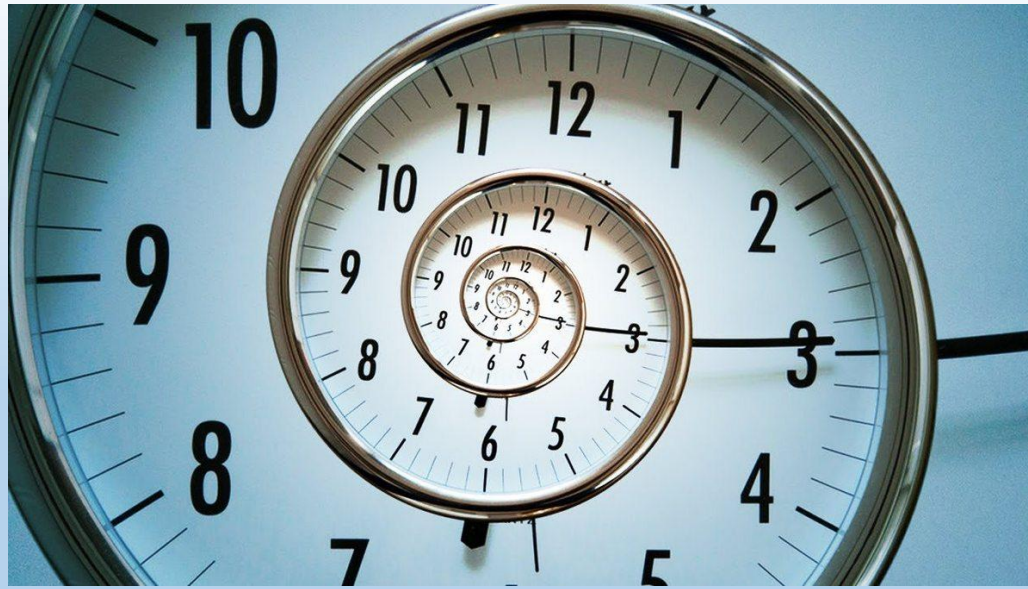
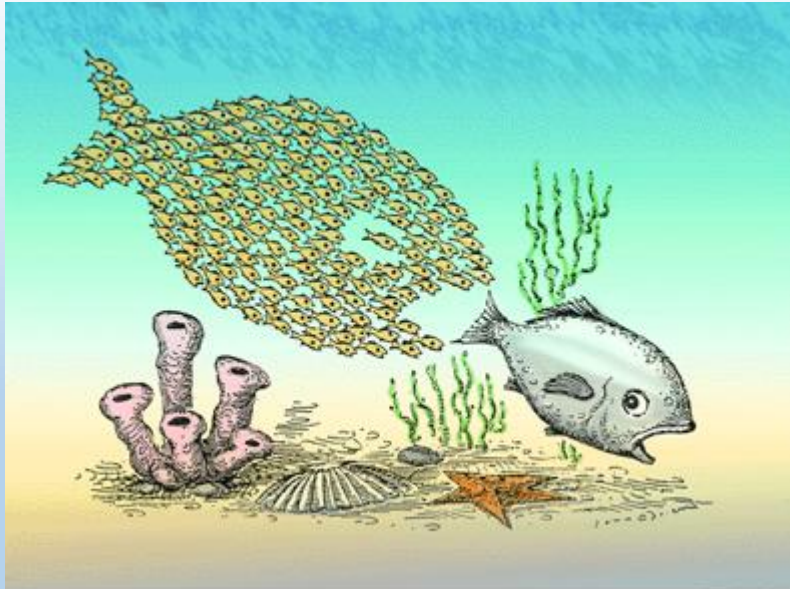
Et réversible?

This incompatibility of the reversible foundations of science with the irreversible behavior that is actually observed in biological systems remains one of the great mysteries of science. What is the origin of the arrow of time? It is a fundamental property of nature.

Ilya Prigogine



La vie est le résultat d'une émergence qui est irréversible ?

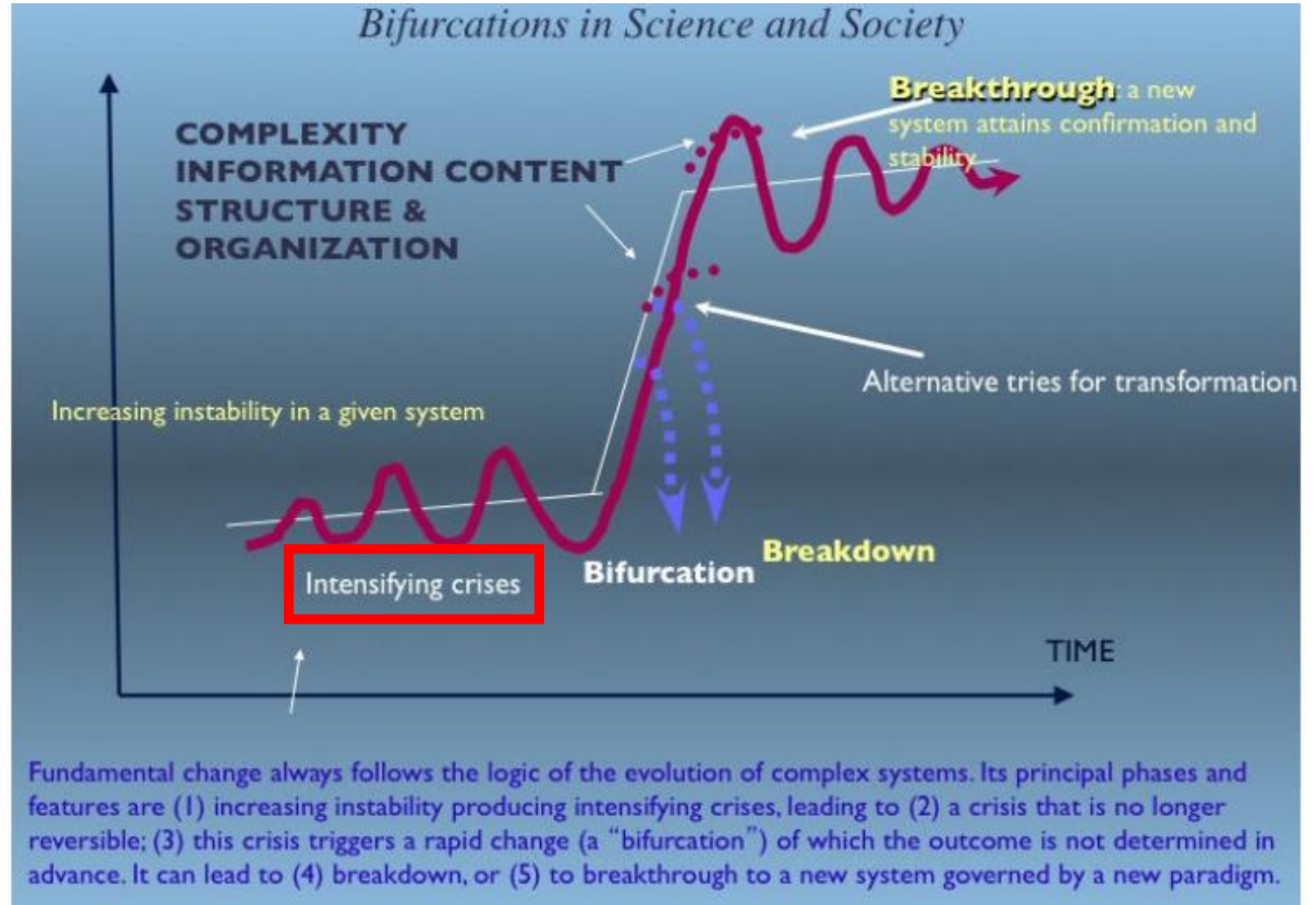


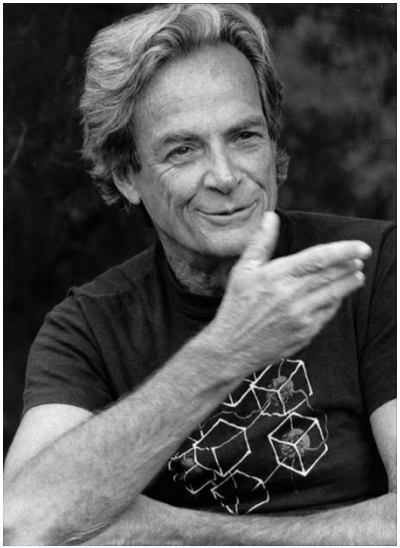


Ilya Prigogine, He greatly enhanced our understanding of irreversible processes in systems that are far from equilibrium, particularly in biological systems

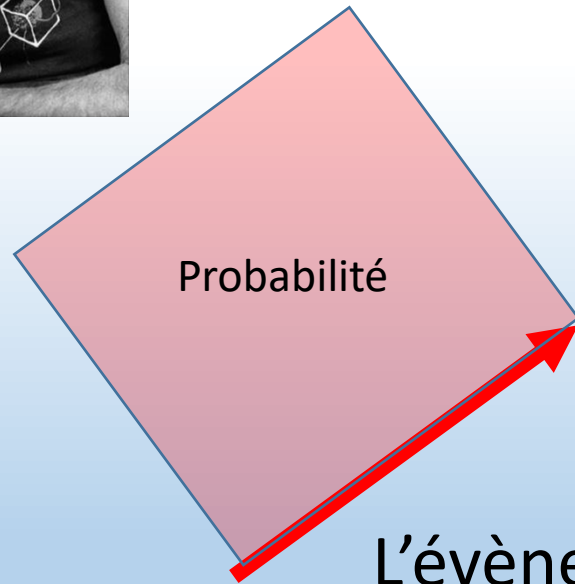


Temporal self-organization in the form of oscillatory behavior, which is ubiquitous in biological systems.

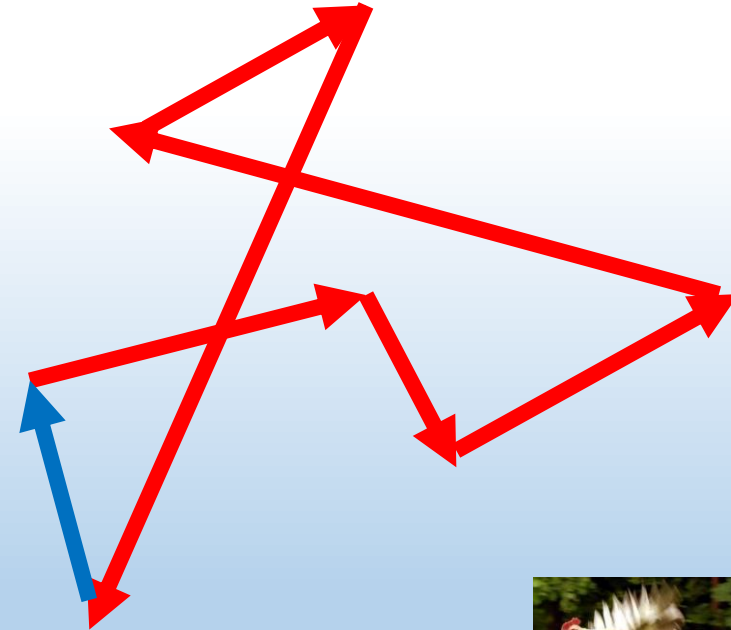




Probabilité qu'un évènement arrive : calcul de la flèche résultante.



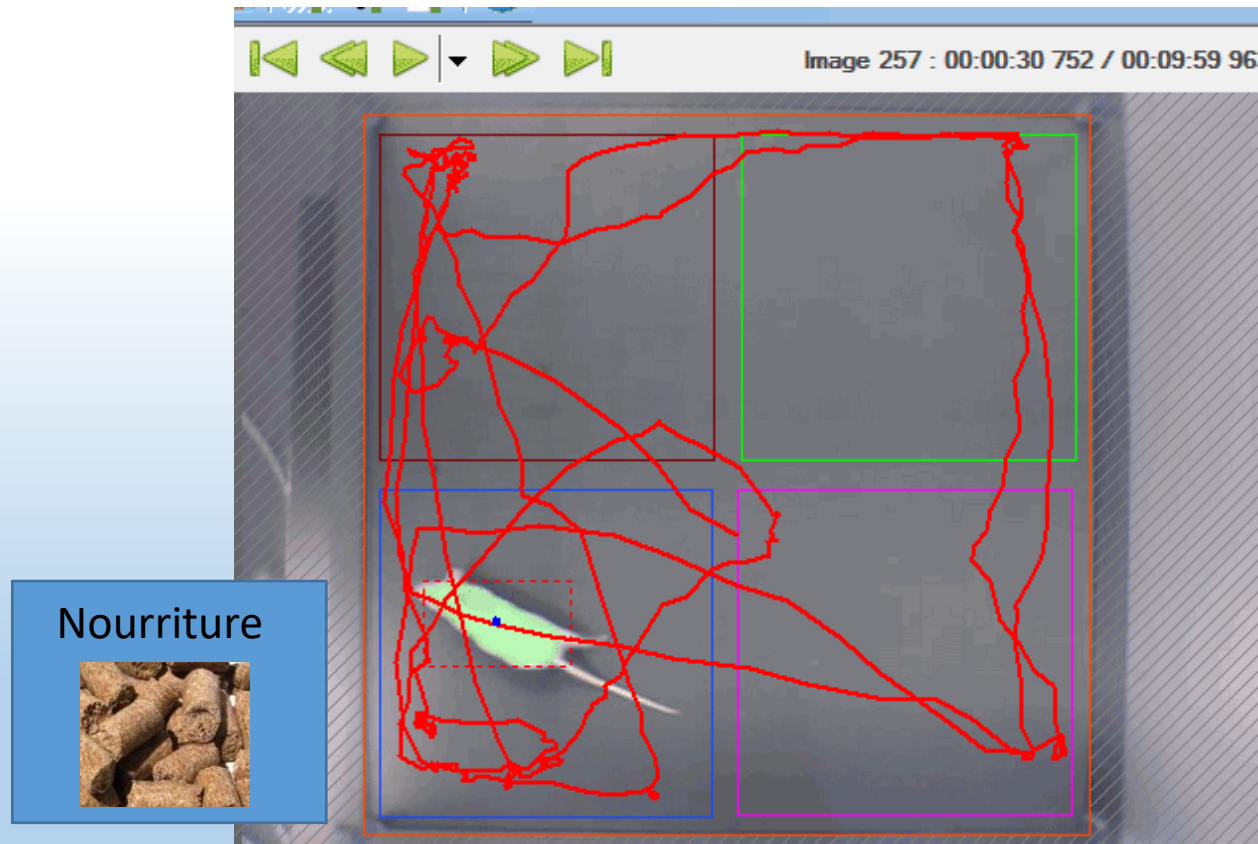
L'évènement dirigé dans son univers Ω



notre Ω est le génétique et l'épigénétique

Lumière et matière, une étrange histoire
(électrodynamique quantique)

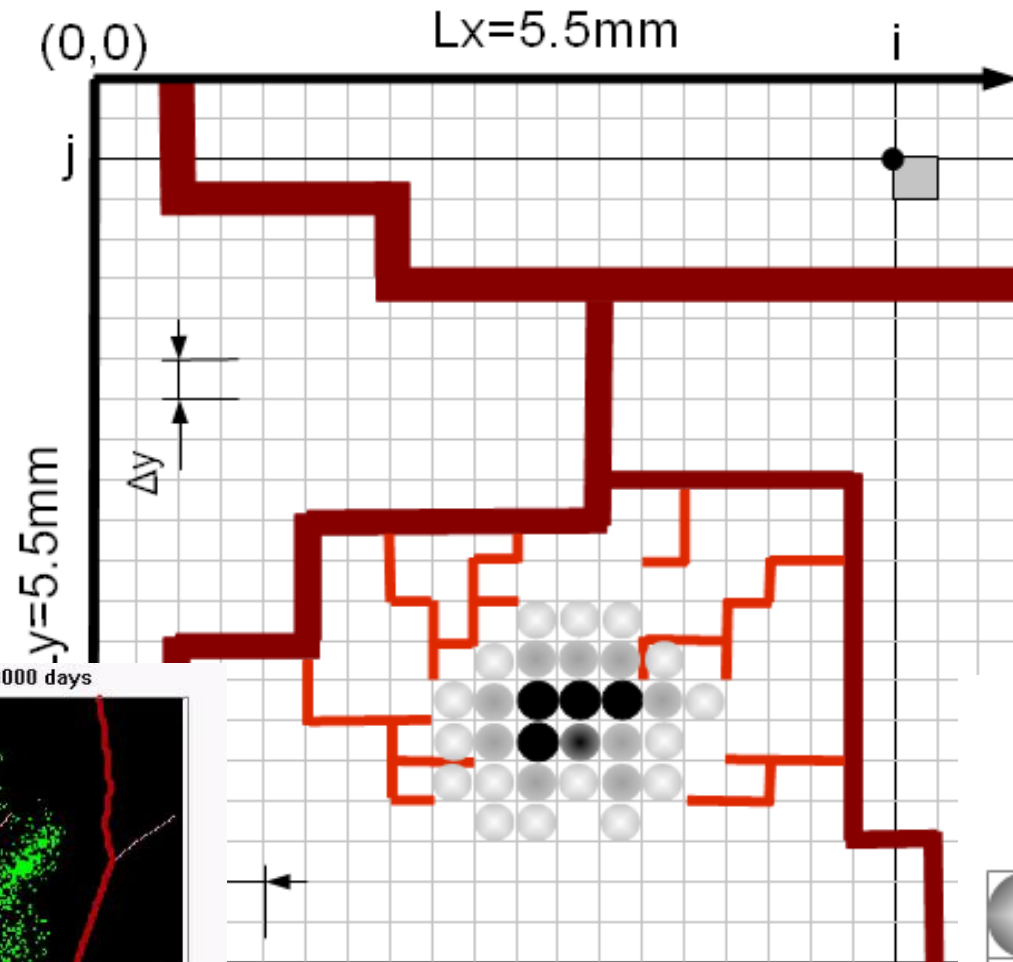
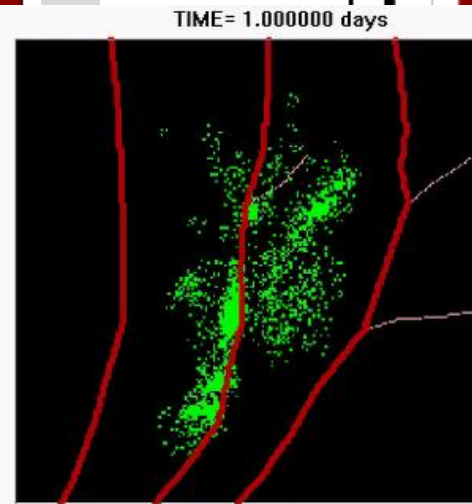
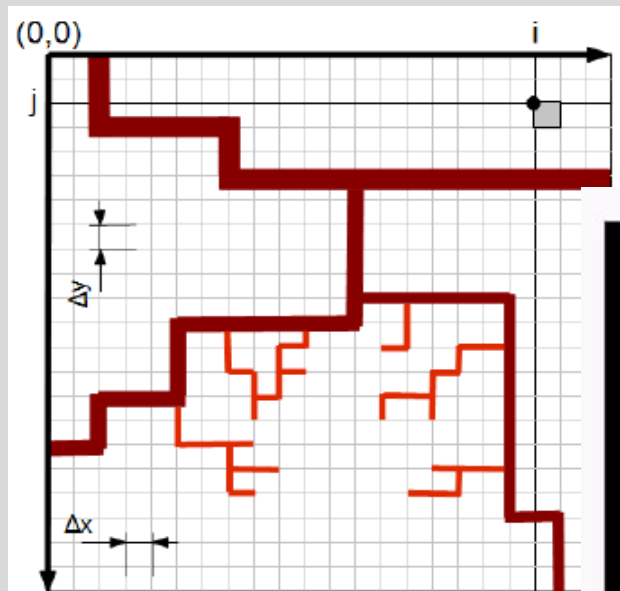
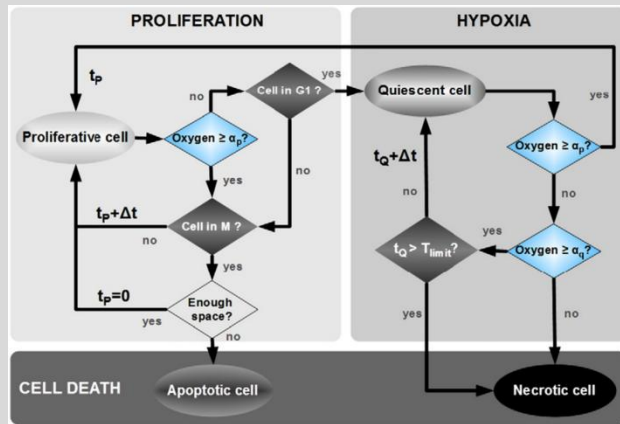
Probabilité qu'un évènement arrive : analyse vidéo du comportement animal



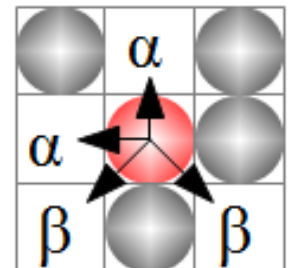
Statistico - déterminisme versus libre arbitre

CATS Computer-Assisted Therapeutic Strategy

Angélique Stéphanou et al, TIMC-IMAG



Case (1)



Résumé

- Dans le vivant, l'entropie est négative.
- Les systèmes biologiques sont loin de l'équilibre énergétique et irréversible > introduit 'arrow of time'.
- L'émergence est forte et pas prédictible à partir d'éléments simples.
- L'émergence biologique est le résultat de probabilités dirigées dans leur univers avec un vecteur résultant $\neq 0$.

Peut-on expliquer le vivant avec les lois physiques?

NON !

Mais les méthodes et les outils de la physique et les mathématiques vous aideront à mieux comprendre la logique 'naturelle'.

