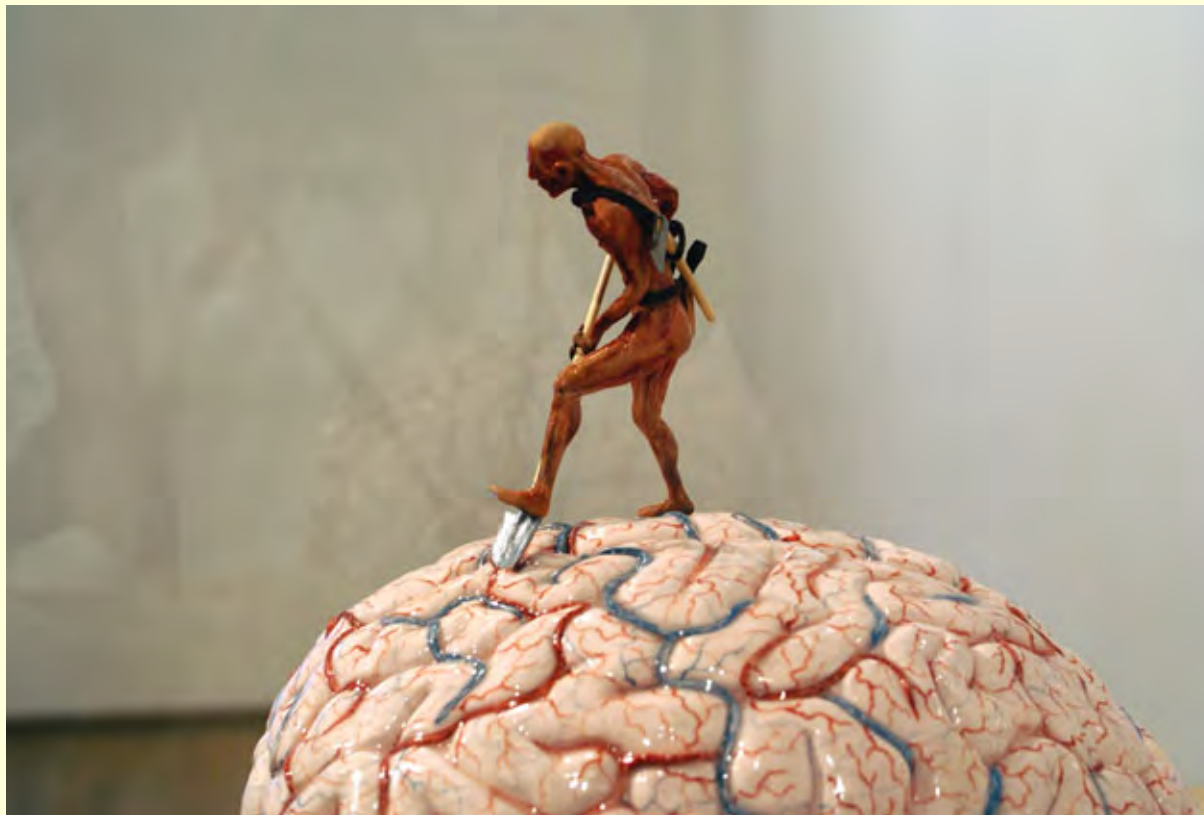


École des profs



15 août 2016



1^{ère} heure :
NOTRE HISTOIRE

évolution cosmique,
chimique, et biologique

émergence des systèmes
nerveux

hominisation

2^e heure :
GRAMMAIRE NEURONALE

neurone

cellule gliale

plasticité

mémoires

DÎNER

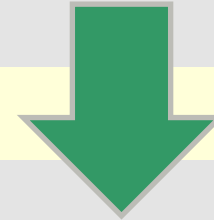
3^e heure :
CERVEAU HUMAIN

connectome

spécialisation cérébrale ?

oscillation et synchronisation

réseaux



4^e heure :
FONCTIONS SUPÉRIEURES

neuromodulation

attention

décision

conscience

Plusieurs pièces manquantes dont :

Cognition incarnée (« embodied cognition »), les interactions constantes du cerveau avec le corps et l'environnement

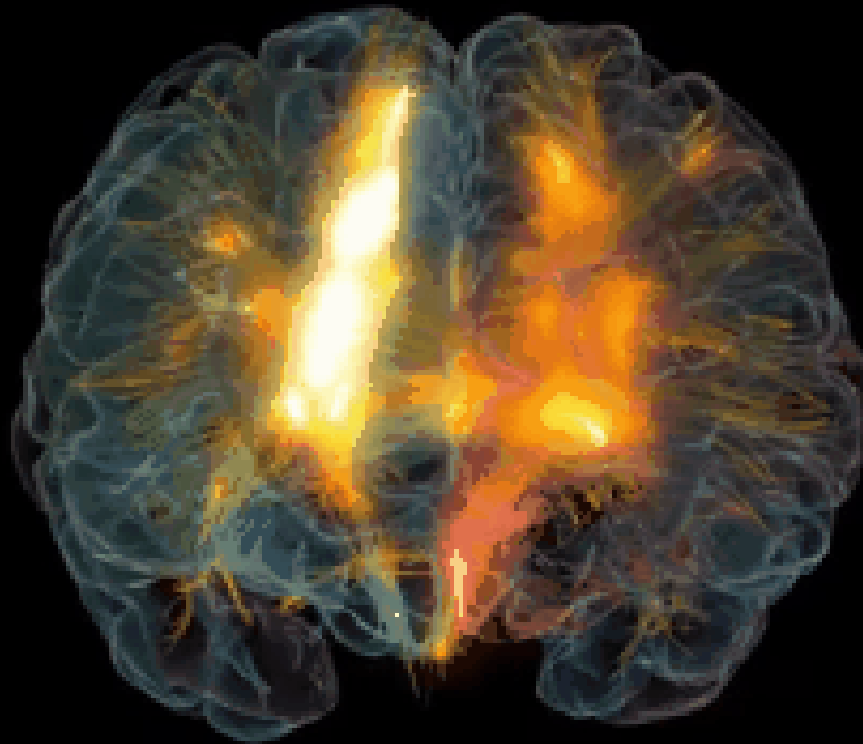


Voilà l'objet dont nous allons parler.

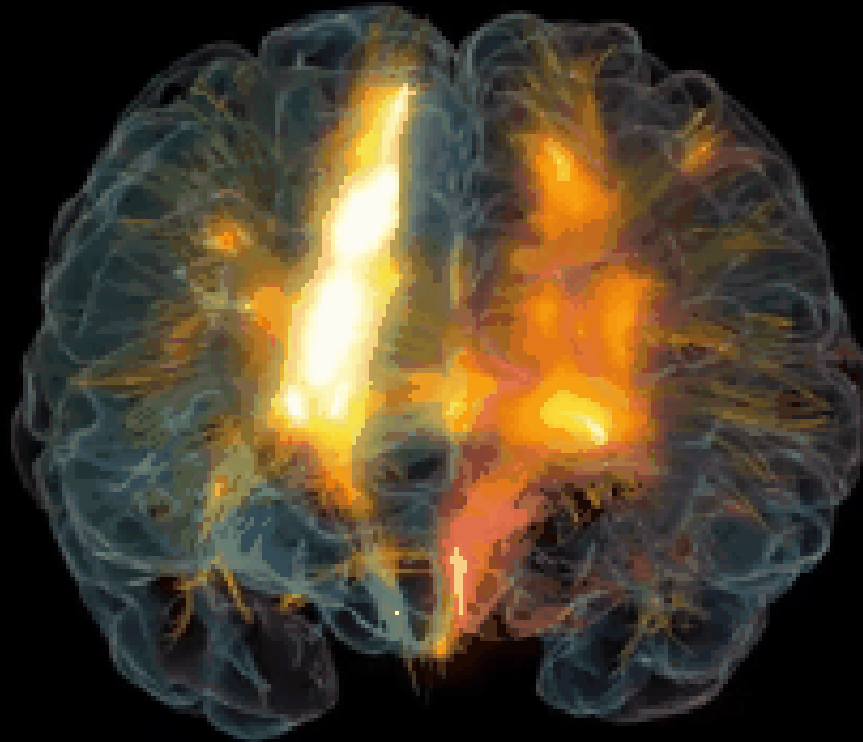
Avec sa forme étrange, mais aussi...

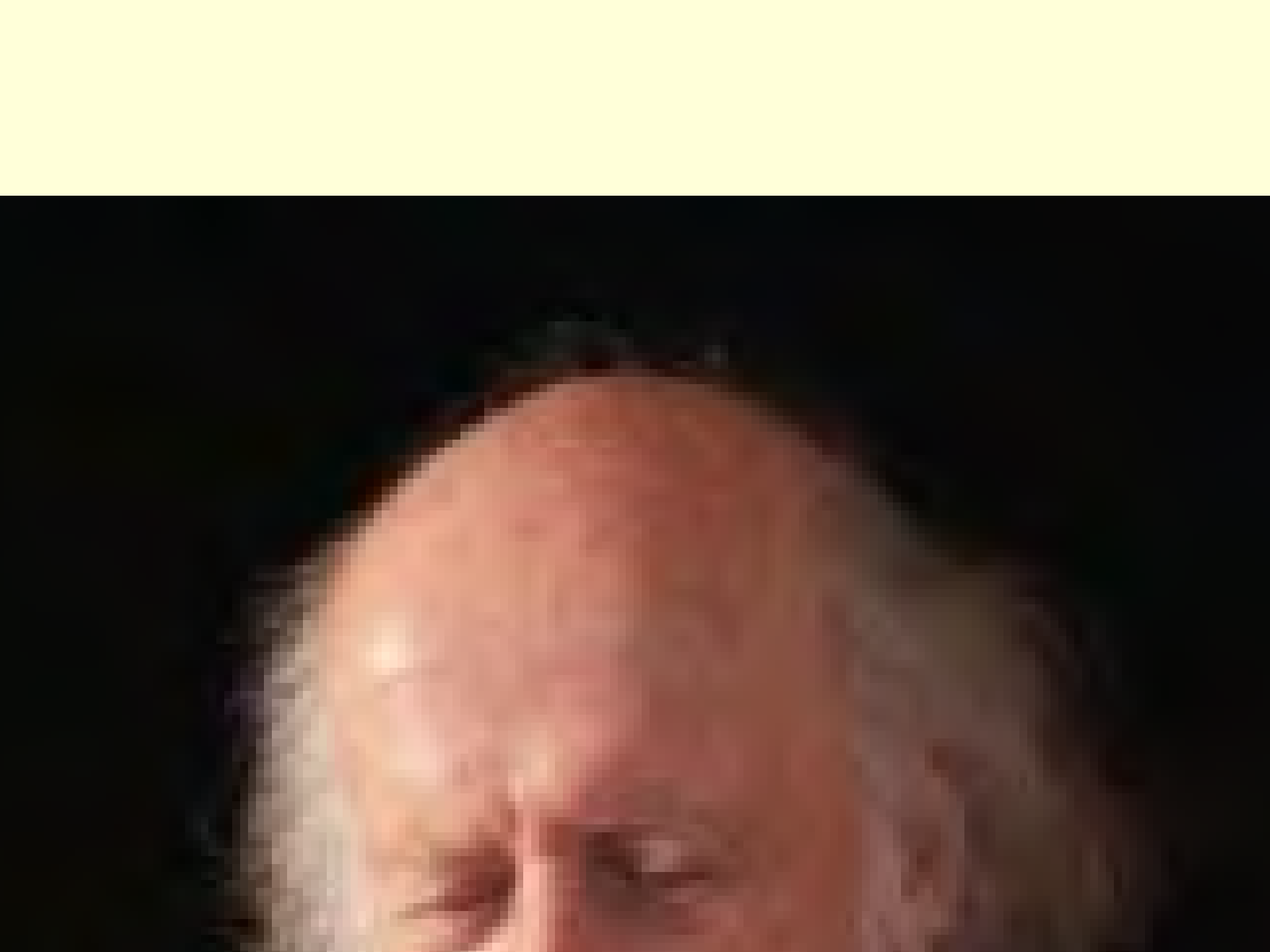


...son activité dynamique incessante,
C'est probablement l'objet le plus complexe de l'univers connu
dont on a tous un exemplaire entre les deux oreilles !



Mais c'est pas juste le cerveau qui est complexe,
c'est toute **la vie avant** lui qui a permis son émergence et toutes
les sociétés humaines après qui se sont constituées grâce à lui !







« Quand vous prenez conscience de votre existence, vous faites l'acte le plus extraordinairement complexe qui n'ait jamais été fait dans l'Univers et cela exige que 100 milliards de milliards de milliards de quarks et d'électrons jouent un rôle précis pour que vous soyez en mesure de **penser** .

Plus de 13,7 milliards d'années d'organisation et de complexification depuis le Big Bang ont été nécessaires pour concrétiser ce simple fait. »

- Hubert Reeves

Croissance
de complexité

(ce qui ne veut pas dire que
l'humain en soit la finalité !)

10^{29}

100 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000

Évolution
cosmique

Évolution
chimique

Évolution
biologique

Qu'est-ce qui rend possible
cette croissance de la complexité ?



Dans un système isolé comme
l'univers, **l'énergie se conserve**
(1^{er} principe de la thermodynamique)

Et...

l'énergie se dissipe (ou se dégrade)
sous forme de chaleur
(entropie croissante)

(2^e principe de la thermodynamique)





Il peut donc y avoir
croissance de
complexité
localement...



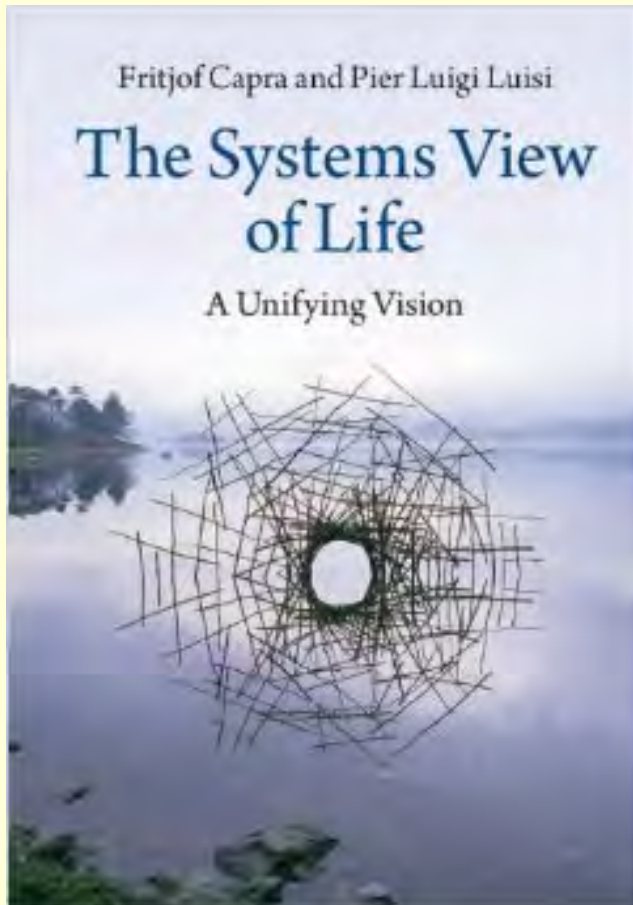
...parce qu'il continue d'y avoir croissance
du désordre à l'échelle de l'univers.

Il y a donc croissance de
complexité (et donc baisse
d'entropie, de désordre) dans
ce qu'on appelle des
systèmes ouverts (du point
de vue thermodynamique),

c'est-à-dire qui doivent
échanger de la matière et
de l'énergie avec le milieu
extérieur pour maintenir
leur structure.

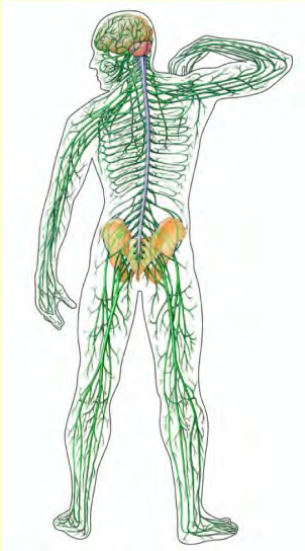
“Such islands of order in a
sea of disorder” are
characteristic of the
“**dissipative structures**”
of living systems.

- The Systems View of Life



Durant l'histoire occidentale de la science et de la philosophie, il y a eu une tension entre 2 perspectives :

- l'étude de la **matière** : de quoi c'est fait ?
- l'étude de la **forme** : quel est le pattern ?



- l'étude de la **matière** : de quoi c'est fait ?

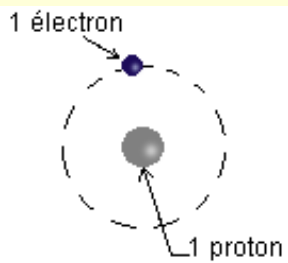




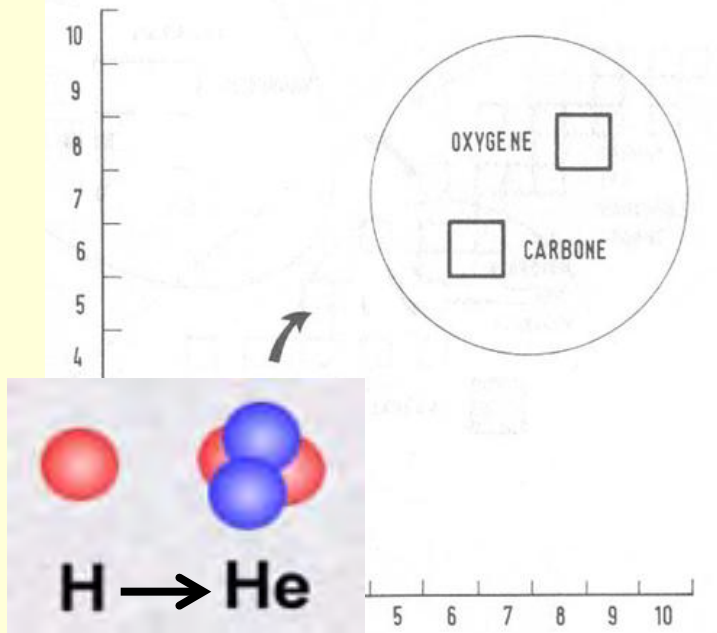
- l'étude de la **matière** : de quoi c'est fait ?

Les êtres vivants et la matière inerte sont faits des mêmes **atomes**.

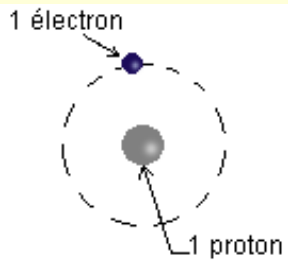
C'est justement leur forme, leur pattern d'organisation qui va les différencier...



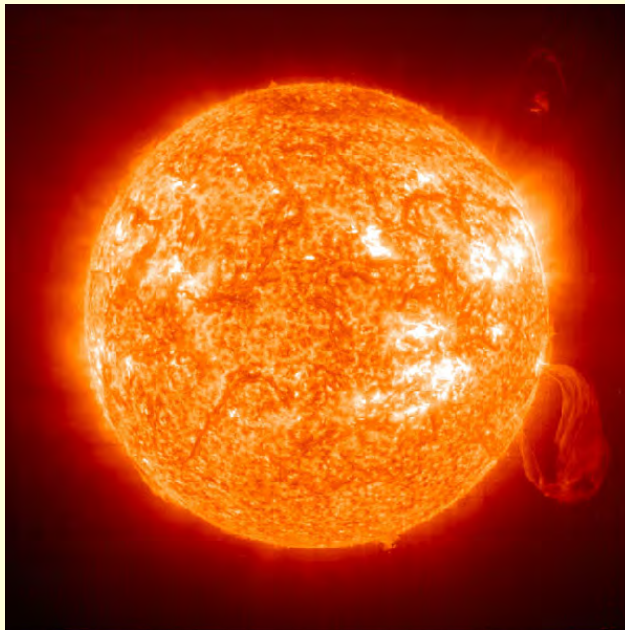
Combustion de l'hélium



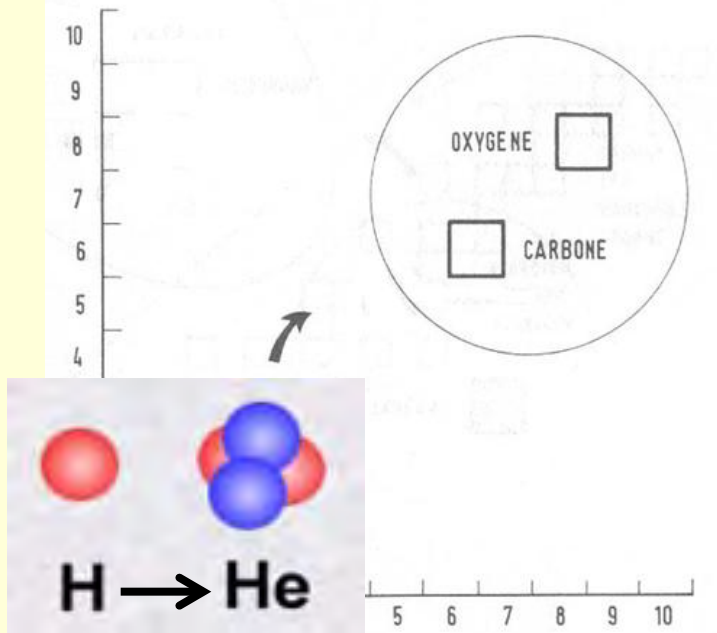
- l'étude de la **matière** : de quoi c'est fait ?



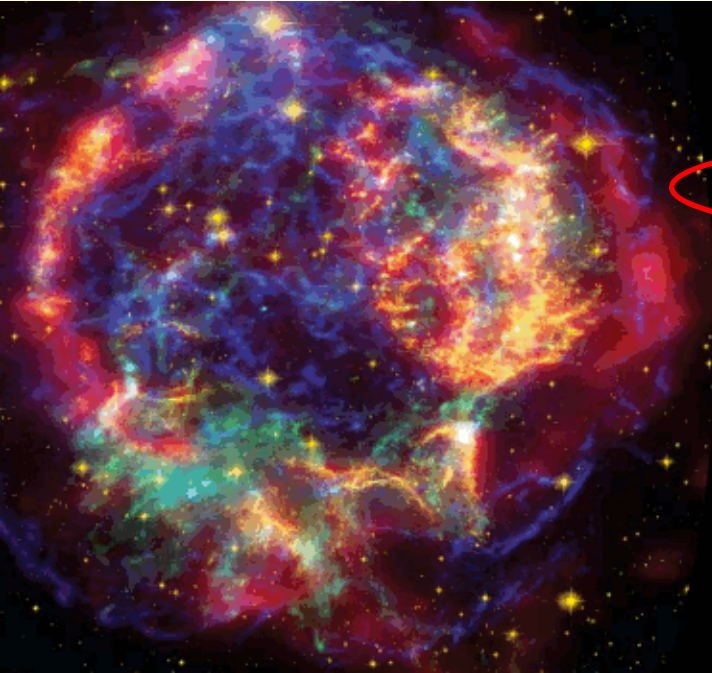
Hydrogène



Combustion de l'hélium



- l'étude de la **matière** : de quoi c'est fait ?



Elles s'éclatent pour vous!

Sans les étoiles mortes, vous ne seriez pas là.

Le calcium de vos os, l'oxygène que vous respirez et le fer dans votre sang ont tous été formés dans des étoiles disparues depuis des milliards d'années.

craq-astro.ca

CoolCosmos.net

Tableau Périodique des Éléments

1 IA New Original																	18 VIIIA	
1 H Hydrogène 1.00794																	2 He Hélium 4.002602	
3 Li Lithium 6.941	4 Be Béryllium 9.012182																	10 Ne Néon 20.1797
11 Na Sodium 22.989770	12 Mg Magnésium 24.3050	3 IIIB	4 IVB	5 VB	6 VIB	7 VIIB	8	9 VIII B	10	11 IB	12 IIB	13 IIIA	14 IVA	15 VA	16 VIA	17 VIIA	18 VIIIA	
19 K Potassium 39.0983	20 Ca Calcium 40.078	21 Sc Scandium 44.955910	22 Ti Titane 47.867	23 V Vanadium 50.9415	24 Cr Chrome 51.9961	25 Mn Manganèse 54.938049	26 Fe Fer 55.8457	27 Co Cobalt 58.933200	28 Ni Nickel 58.6934	29 Cu Cuivre 63.546	30 Zn Zinc 65.409	31 Ga Gallium 69.723	32 Ge Germanium 72.64	33 As Arsenic 74.92160	34 Se Sélénium 78.96	35 Br Brome 79.904	36 Kr Krypton 83.798	
37 Rb Rubidium 87.4678	38 Sr Strontium 87.62	39 Y Yttrium 88.90585	40 Zr Zirconium 91.224	41 Nb Niobium 92.90638	42 Mo Molybdène 95.94	43 Tc Technétium (98)	44 Ru Ruthénium 101.07	45 Rh Rhodium 102.90550	46 Pd Palladium 106.42	47 Ag Argent 107.8682	48 Cd Cadmium 112.411	49 In Indium 114.818	50 Sn Étain 118.710	51 Sb Antimoine 121.760	52 Te Tellure 127.60	53 I Iode 126.90447	54 Xe Xénon 131.293	
55 Cs Césium 132.90545	56 Ba Baryum 137.327	57 to 71		72 Hf Hafnium 178.49	73 Ta Tantale 180.9479	74 W Tungstène 183.84	75 Re Rhénium 186.207	76 Os Osmium 190.23	77 Ir Iridium 192.217	78 Pt Platine 195.078	79 Au Or 196.96655	80 Hg Mercure 200.59	81 Tl Thallium 204.3833	82 Pb Plomb 207.2	83 Bi Bismuth 208.98038	84 Po Polonium (209)	85 At Astate (210)	86 Rn Radon (222)
87 Fr Francium (223)	88 Ra Radium (226)	89 to 103		104 Rf Rutherfordium (261)	105 Db Dubnium (262)	106 Sg Seaborgium (266)	107 Bh Bohrium (264)	108 Hs Hassium (269)	109 Mt Meitnerium (268)	110 Ds Darmstadtium (271)	111 Rg Roentgenium (272)	112 Uub Ununbium (285)	113 Uut Ununtrium (284)	114 Uuq Ununquadium (289)	115 Uup Ununpentium (288)	116 Uuh Ununhexium (292)	117 Uus Ununseptium	118 Uuo Ununoctium

- Métaux alcalins
- Métaux alcalino-terreux
- Métaux de transition
- Lanthanides
- Actinides
- Métaux pauvres
- Non-métaux
- Gaz rares
- C** Solide
- Br** Liquide
- H** Gaz
- Tc** Artificiel

Atomic masses in parentheses are those of the most stable or common isotope.

Design Copyright © 1997 Michael Dayah (michael@dayah.com) http://www.dayah.com/periodic/

57 La Lanthane 138.9055	58 Ce Cérium 140.116	59 Pr Praséodyme 140.90765	60 Nd Néodyme 144.24	61 Pm Prométhium (145)	62 Sm Samarium 150.36	63 Eu Europium 151.964	64 Gd Gadolinium 157.25	65 Tb Terbium 158.92534	66 Dy Dysprosium 162.500	67 Ho Holmium 164.93032	68 Er Erbium 167.259	69 Tm Thulium 168.93421	70 Yb Ytterbium 173.04	71 Lu Lutéций 174.967
89 Ac Actinium (227)	90 Th Thorium 232.0381	91 Pa Protactinium 231.03588	92 U Uranium 238.02891	93 Np Neptunium (237)	94 Pu Plutonium (244)	95 Am Américium (243)	96 Cm Curium (247)	97 Bk Berkélium (247)	98 Cf Californium (251)	99 Es Einsteinium (252)	100 Fm Fermium (257)	101 Md Mendelevium (258)	102 No Nobélium (259)	103 Lr Lawrencium (262)

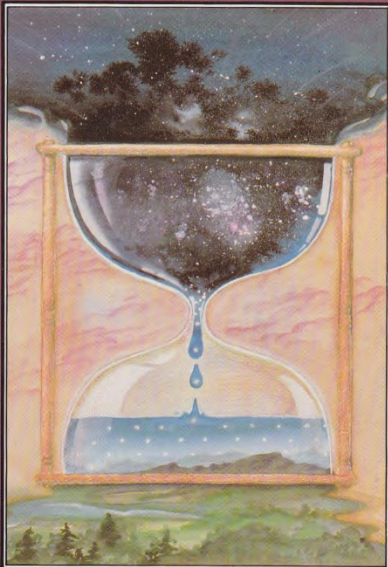
Note: The subgroup numbers 1-18 were adopted in 1984 by the International Union of Pure and Applied Chemistry. The names of elements 112-118 are the Latin equivalents of those numbers.

Quand on essaie de comprendre sa place dans l'univers,

Hubert Reeves

PATIENCE DANS L'AZUR

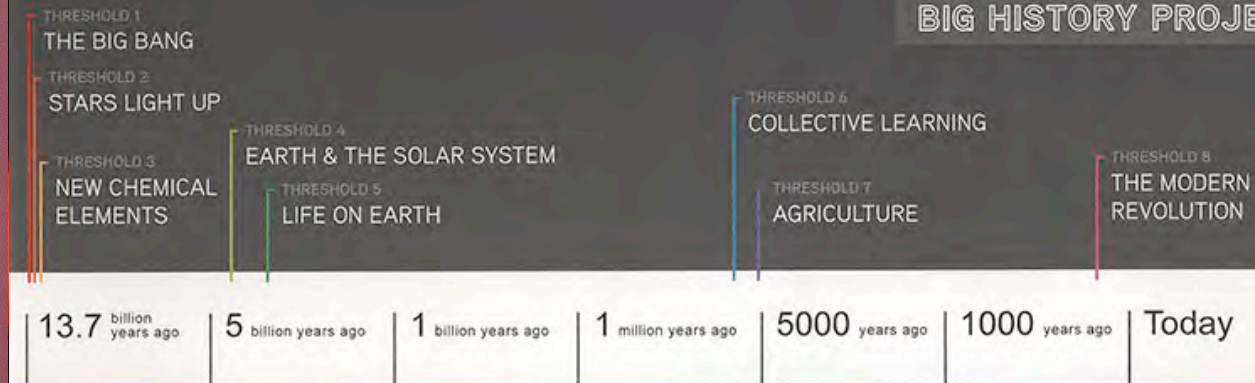
L'ÉVOLUTION COSMIQUE



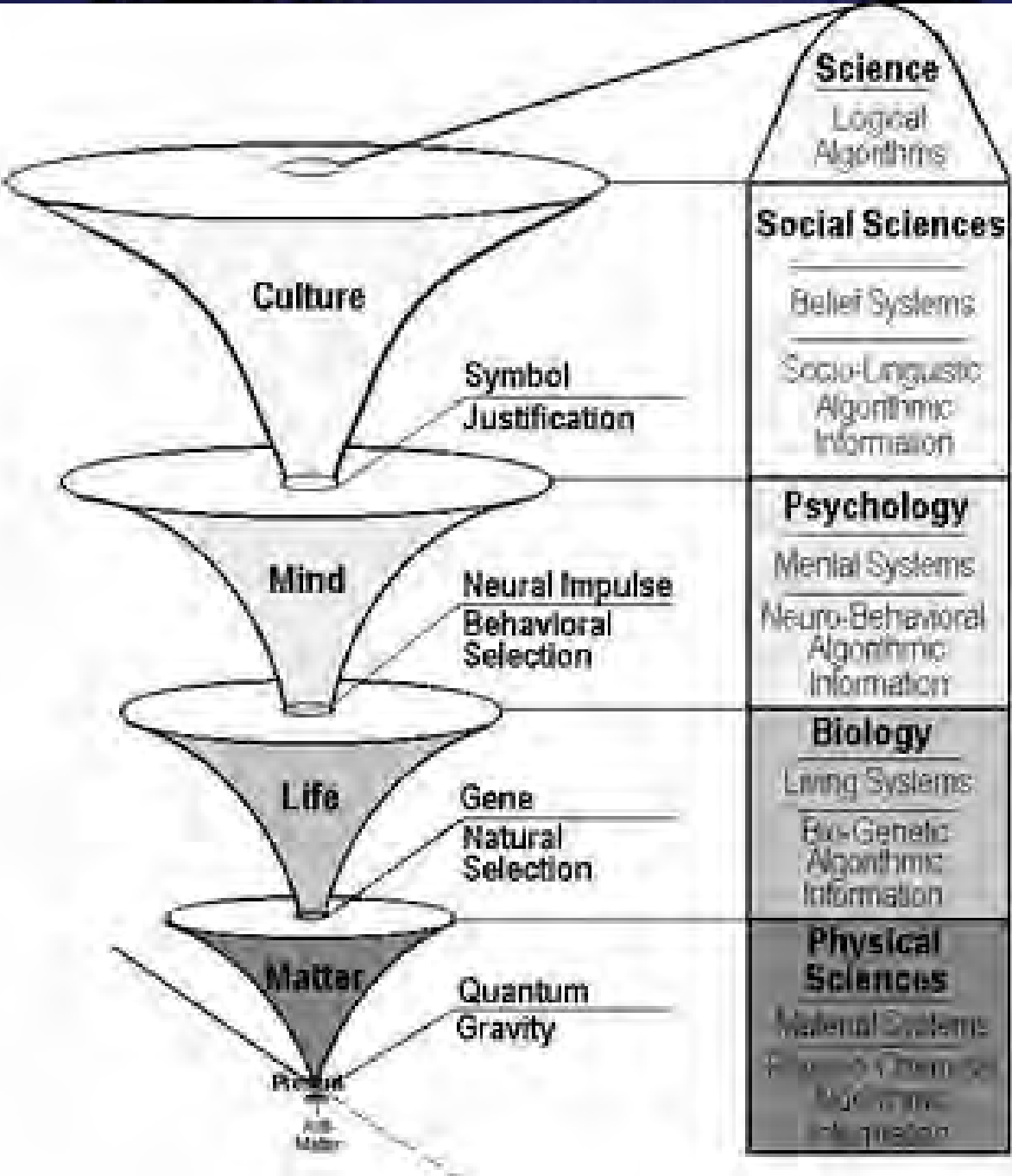
QUÉBEC SCIENCE
ÉDITEUR

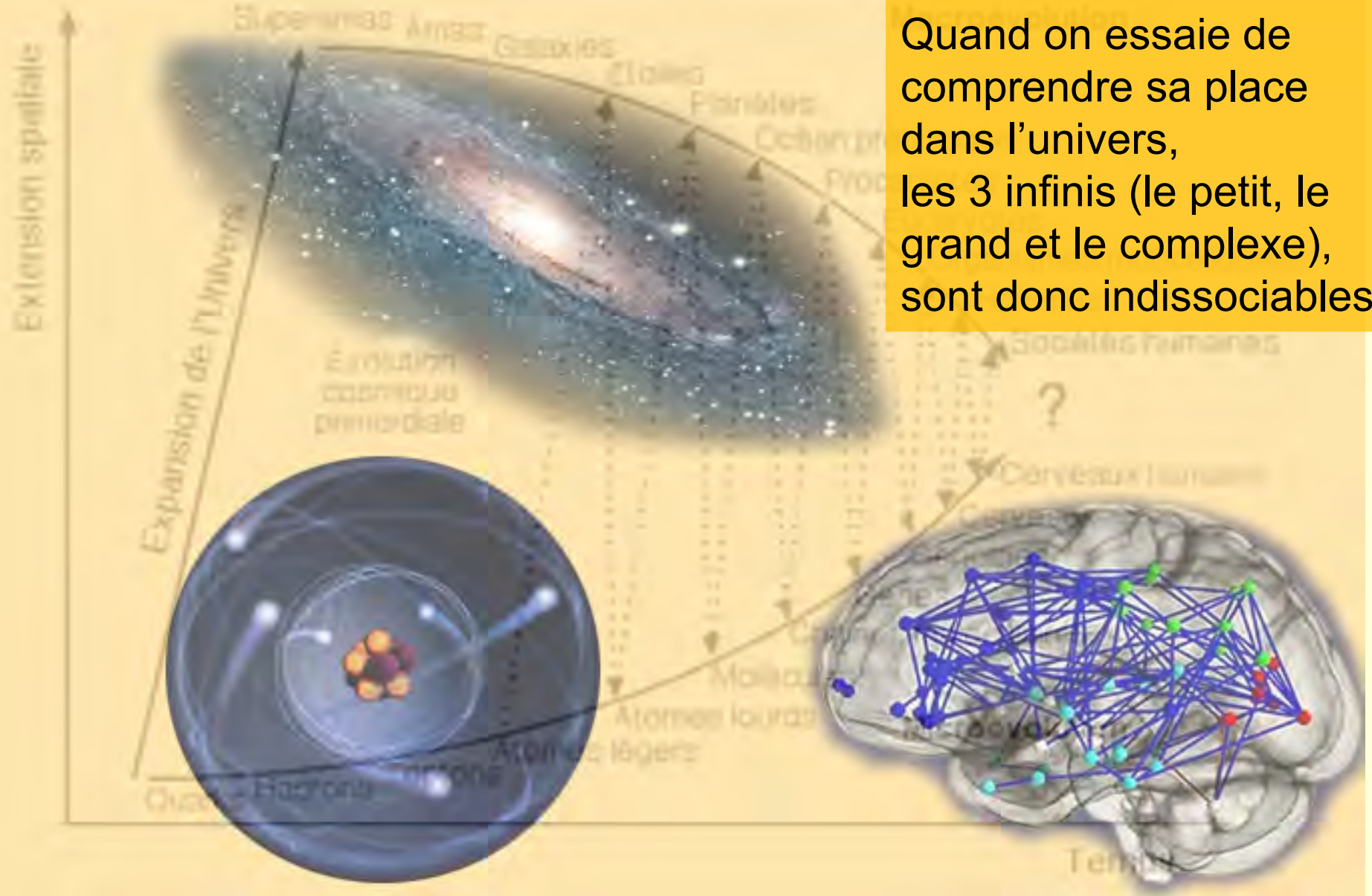
(1981)

BIG HISTORY PROJECT



Quand on essaie de comprendre sa place dans l'univers,

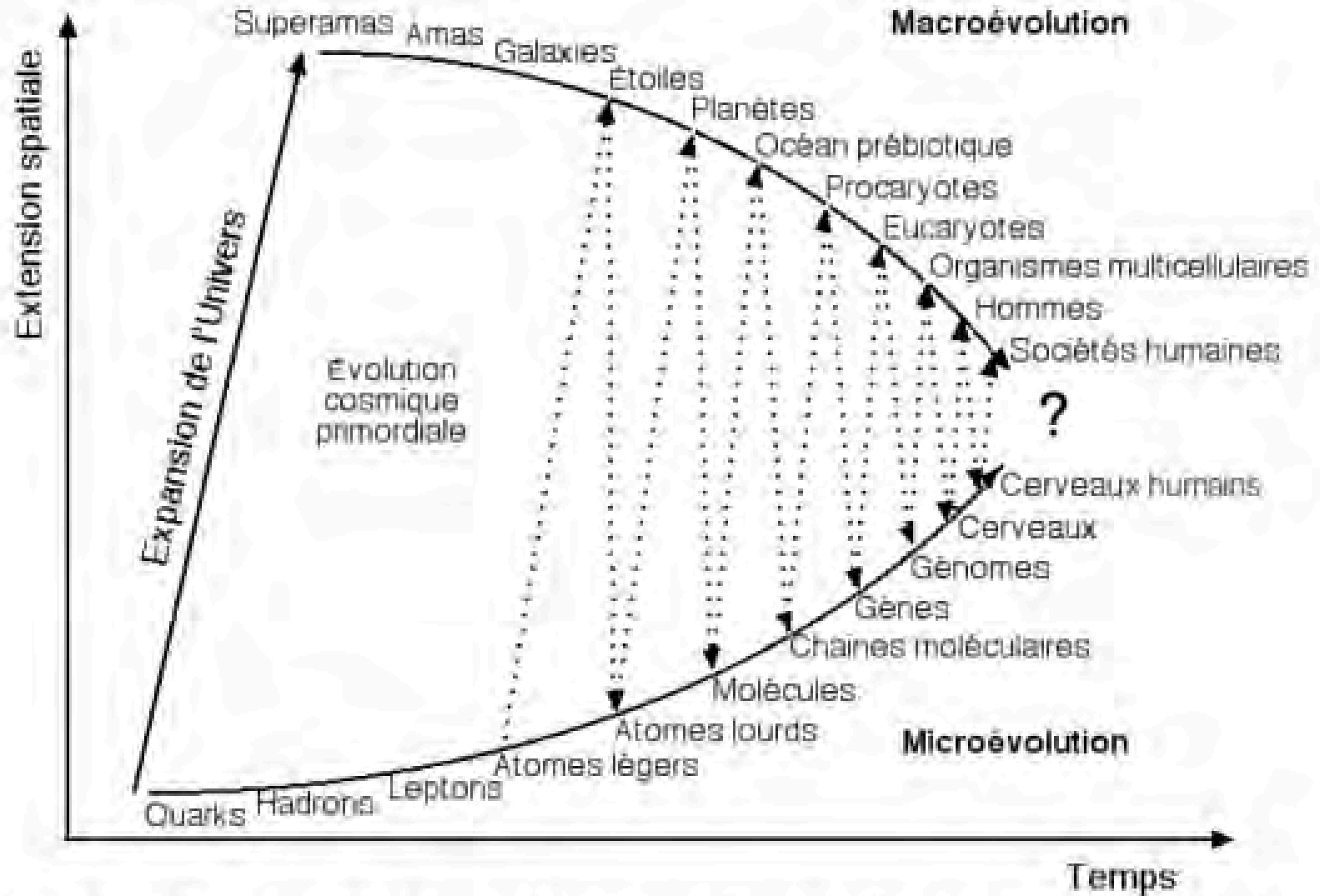




Quand on essaie de comprendre sa place dans l'univers, les 3 infinis (le petit, le grand et le complexe), sont donc indissociables.

Les trois infinis : le petit, le grand et le complexe

<http://www.upopmontreal.com/hiver-2015/les-trois-infinis-le-petit-le-grand-et-le-complexe/>

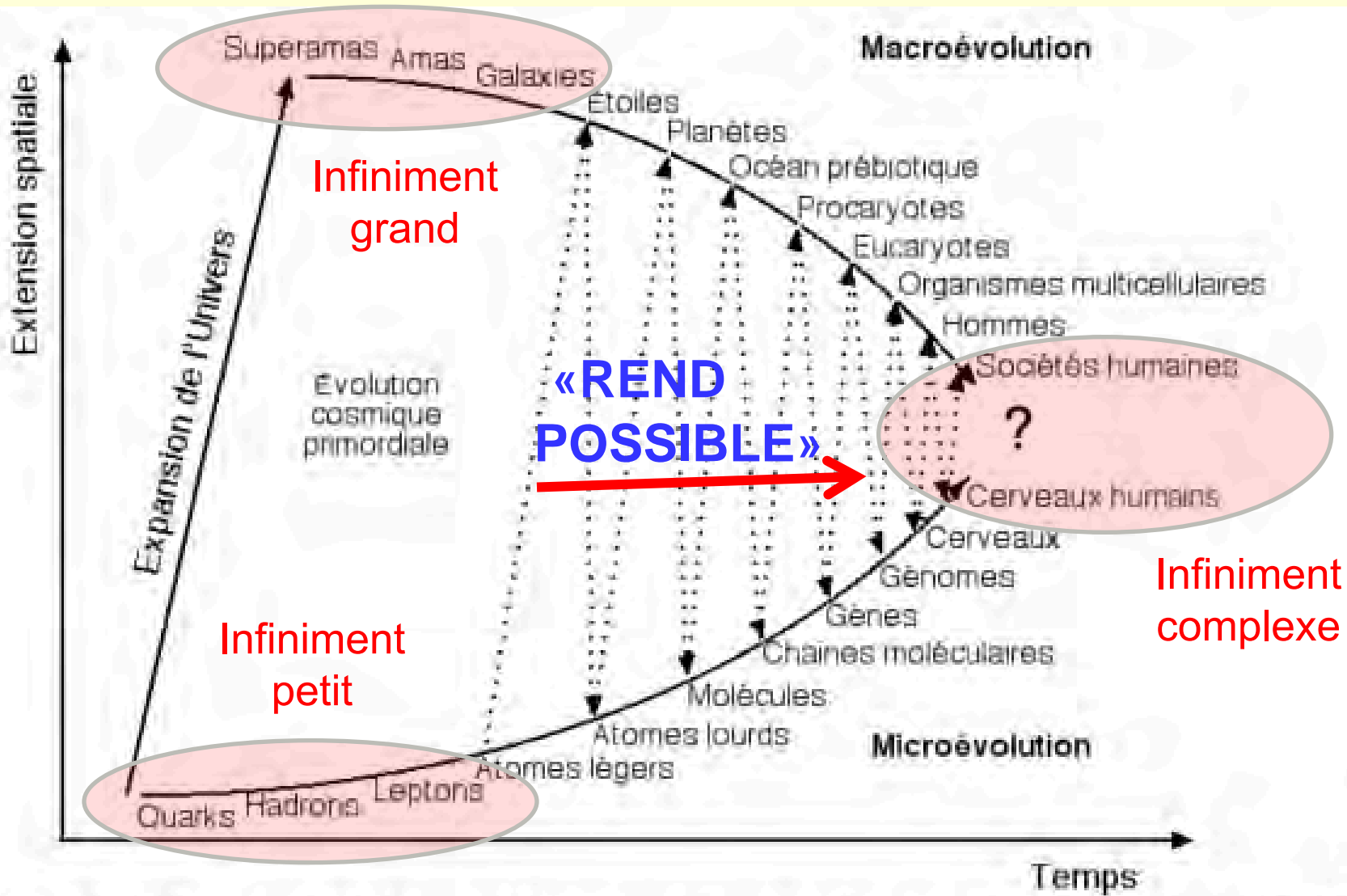


D'après Erich Jantsch, *The self-organizing universe*, Pergamon, 1980.

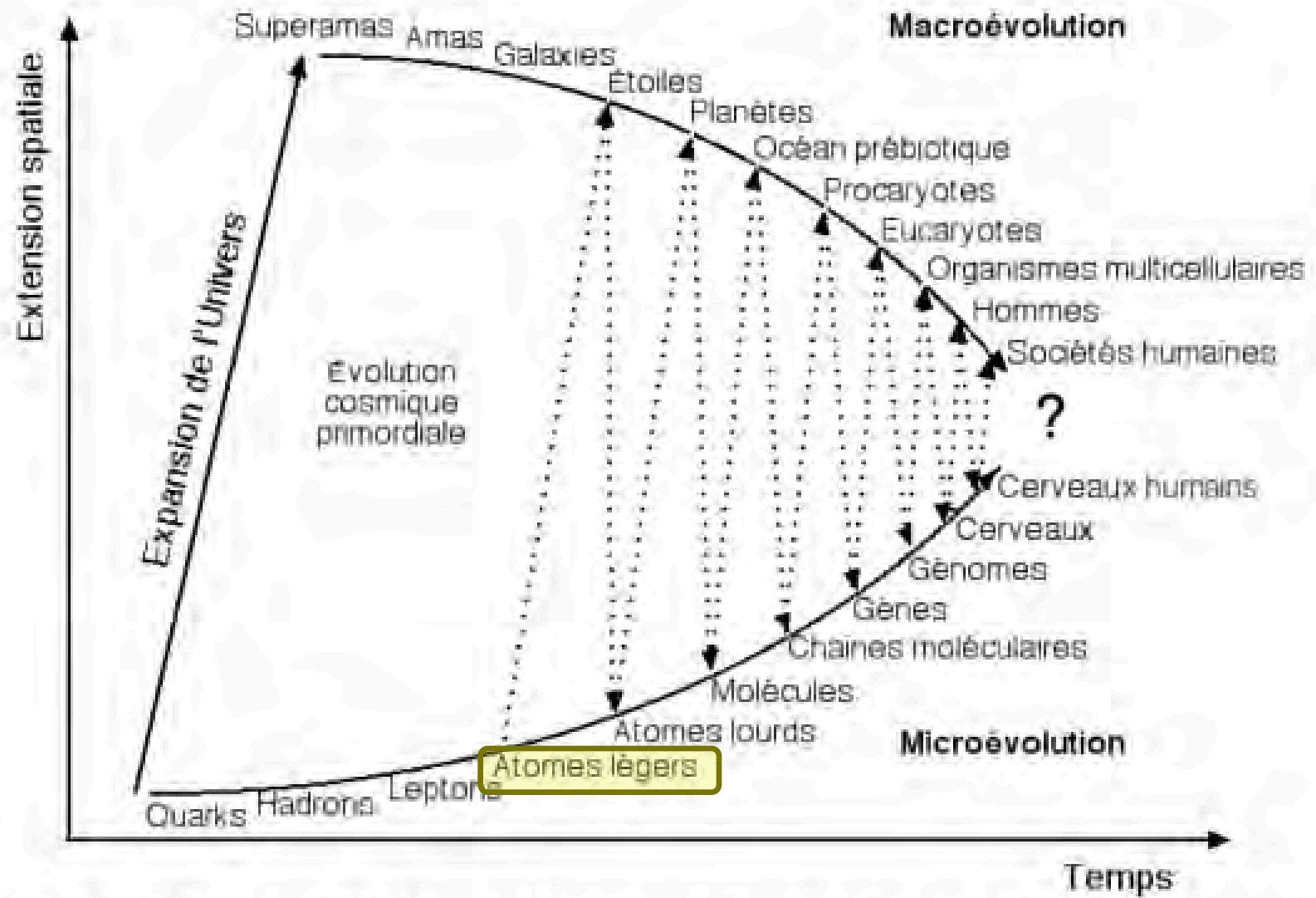
Université du troisième âge des Laurentides et de Boucherville (21 janvier - 15 mars 2016)

Cours 1: A- Multidisciplinarité des sciences cognitives; B- D'où venons-nous ?

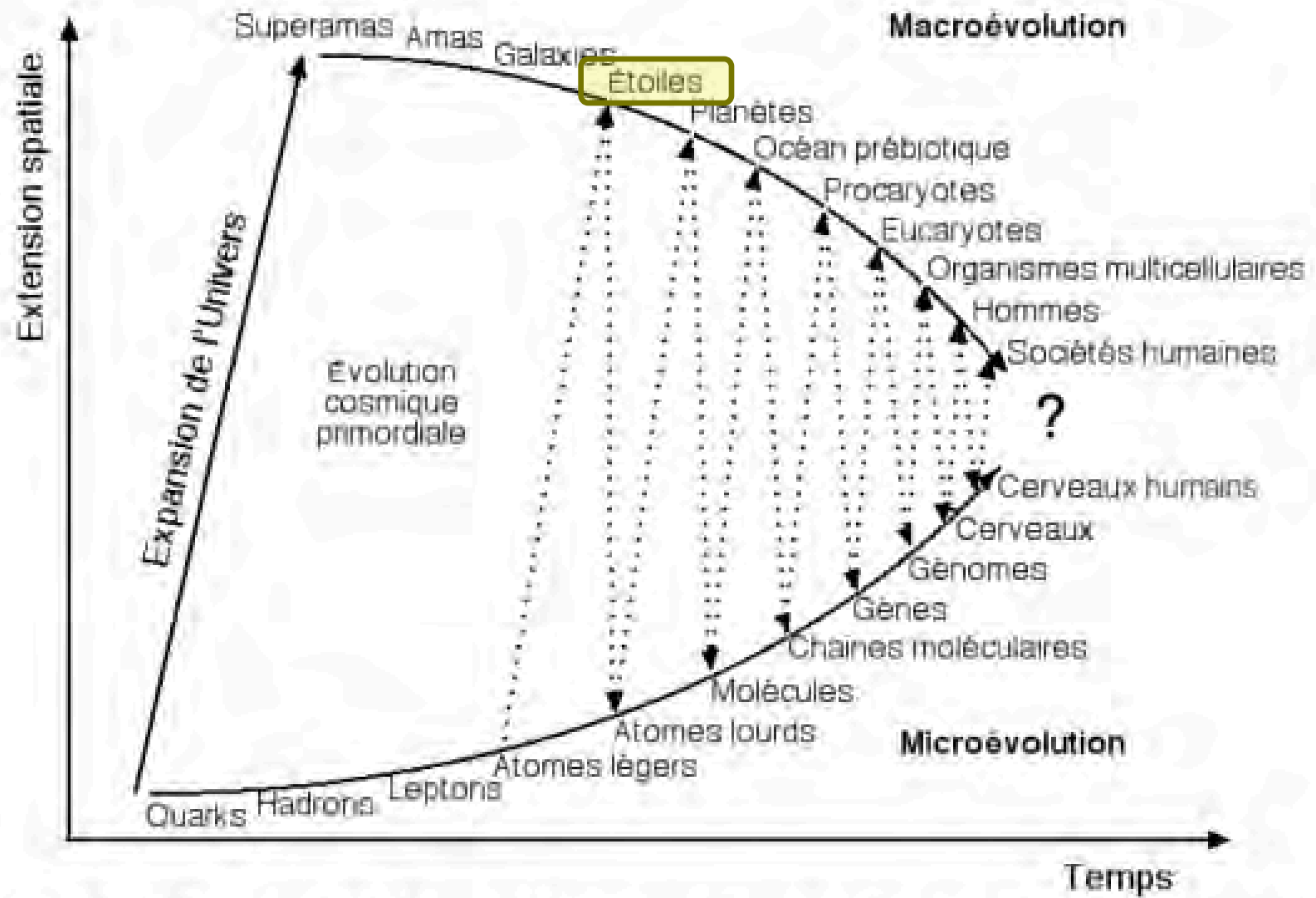
http://lecerveau.mcgill.ca/flash/pop/pop_pres/UTA%20Lau-Bou%20-%20cours%201%20-%20A-%20Multidisciplinarit%E9%20des%20sciences%20cognitives%20-%20B-%20%C9volution%20-%20aut%202015%20-%20pour%20pdf.pdf



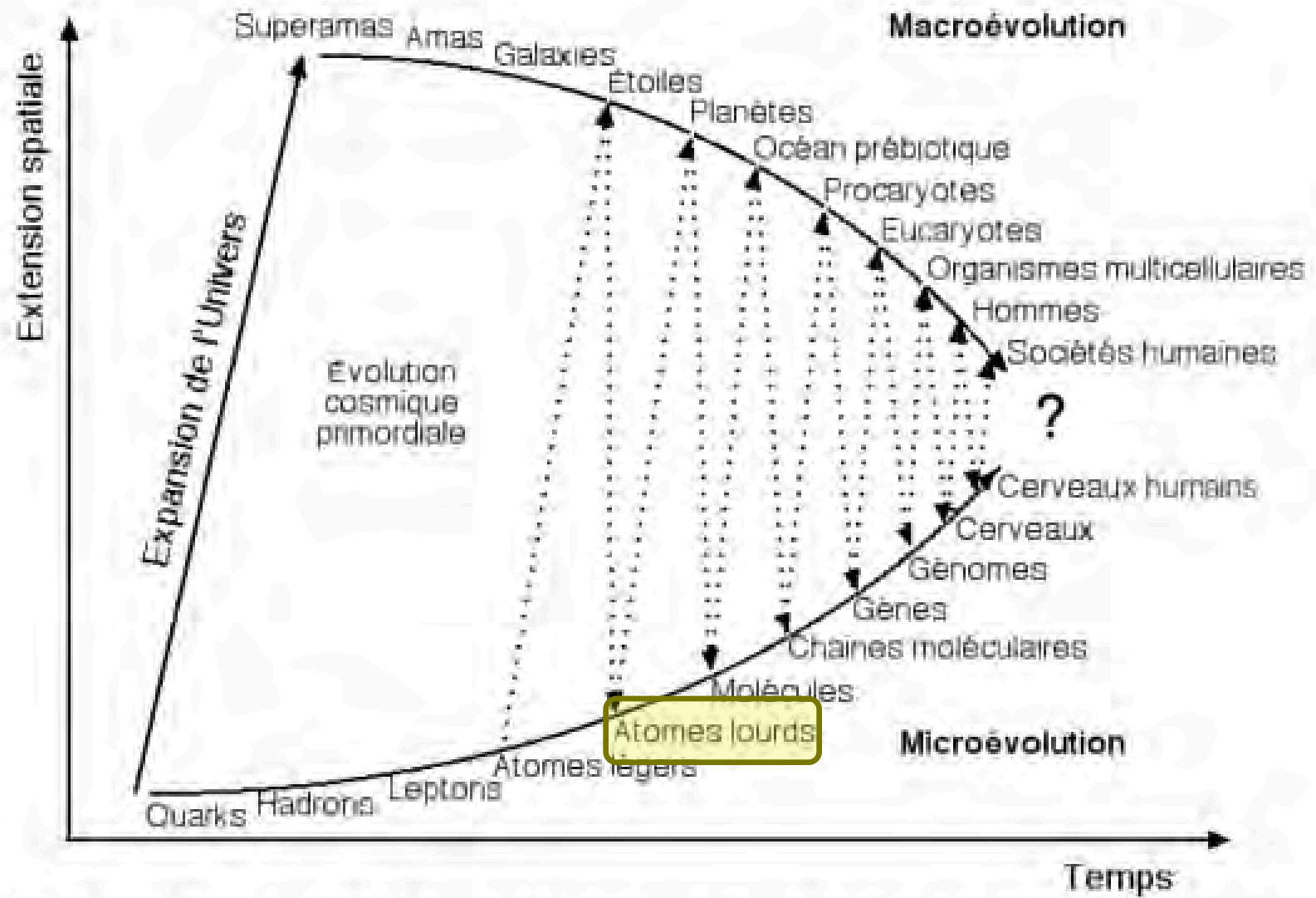
D'après Erich Jantsch, *The self-organizing universe*, Pergamon, 1980.



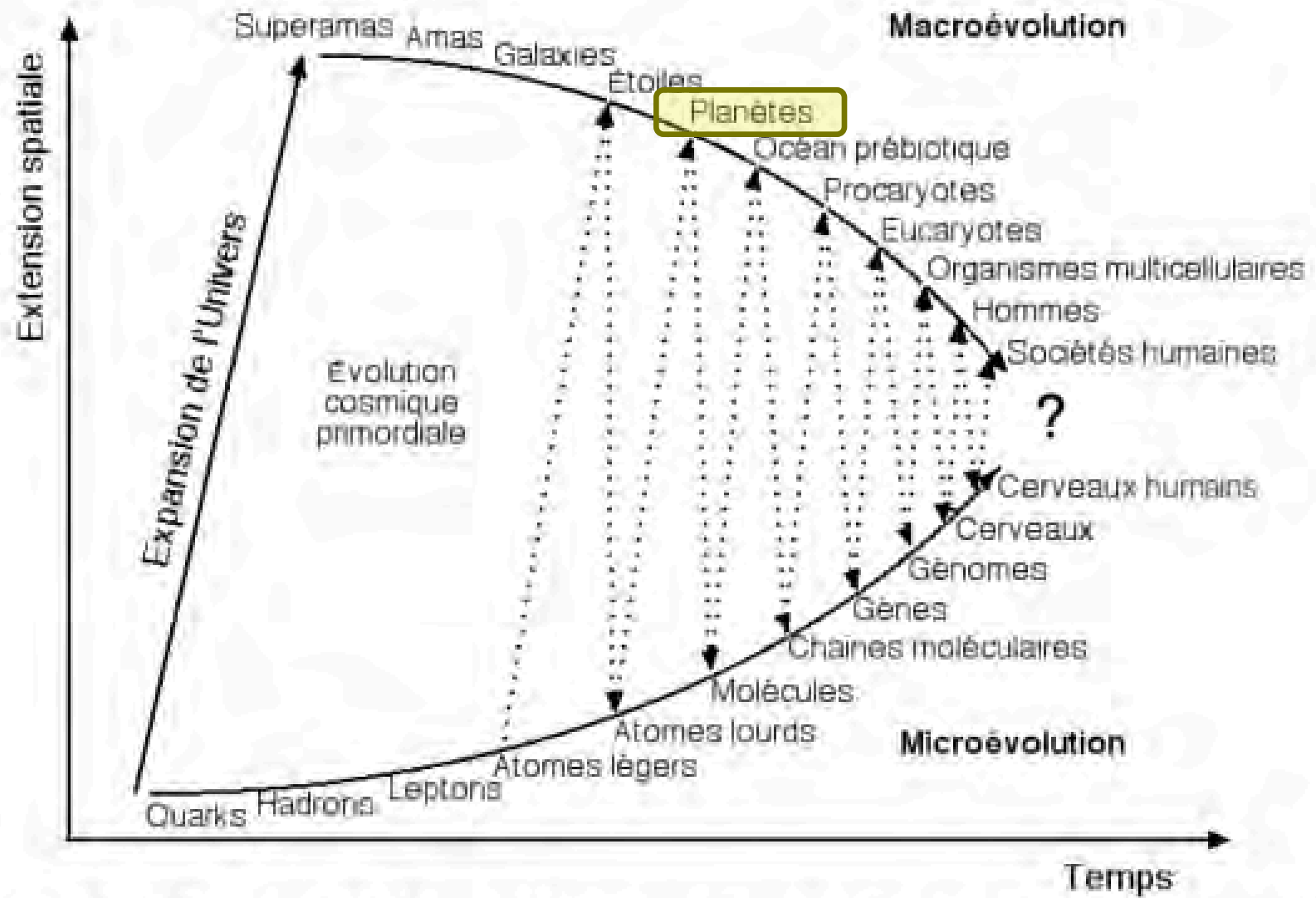
D'après Erich Jantsch, *The self-organizing universe*, Pergamon, 1980.



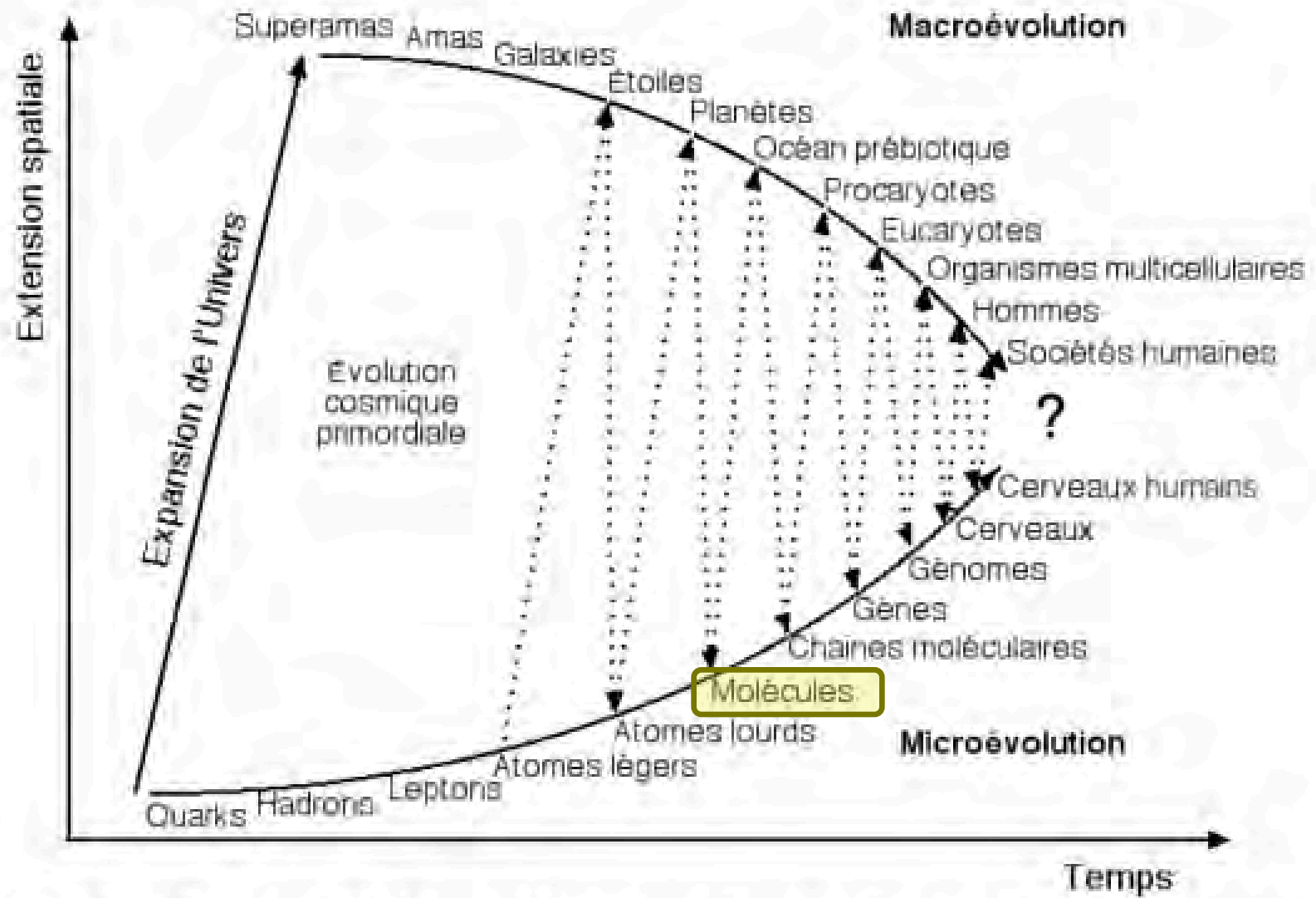
D'après Erich Jantsch, *The self-organizing universe*, Pergamon, 1980.



D'après Erich Jantsch, *The self-organizing universe*, Pergamon, 1980.



D'après Erich Jantsch, *The self-organizing universe*, Pergamon, 1980.

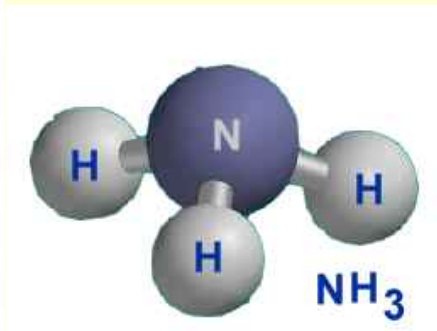
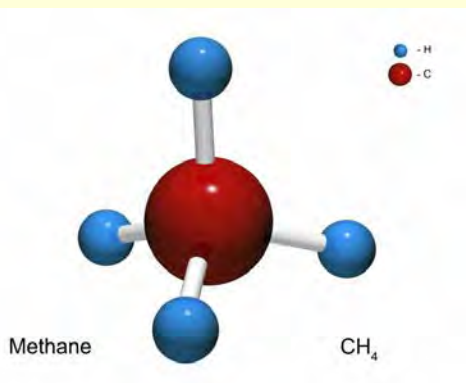


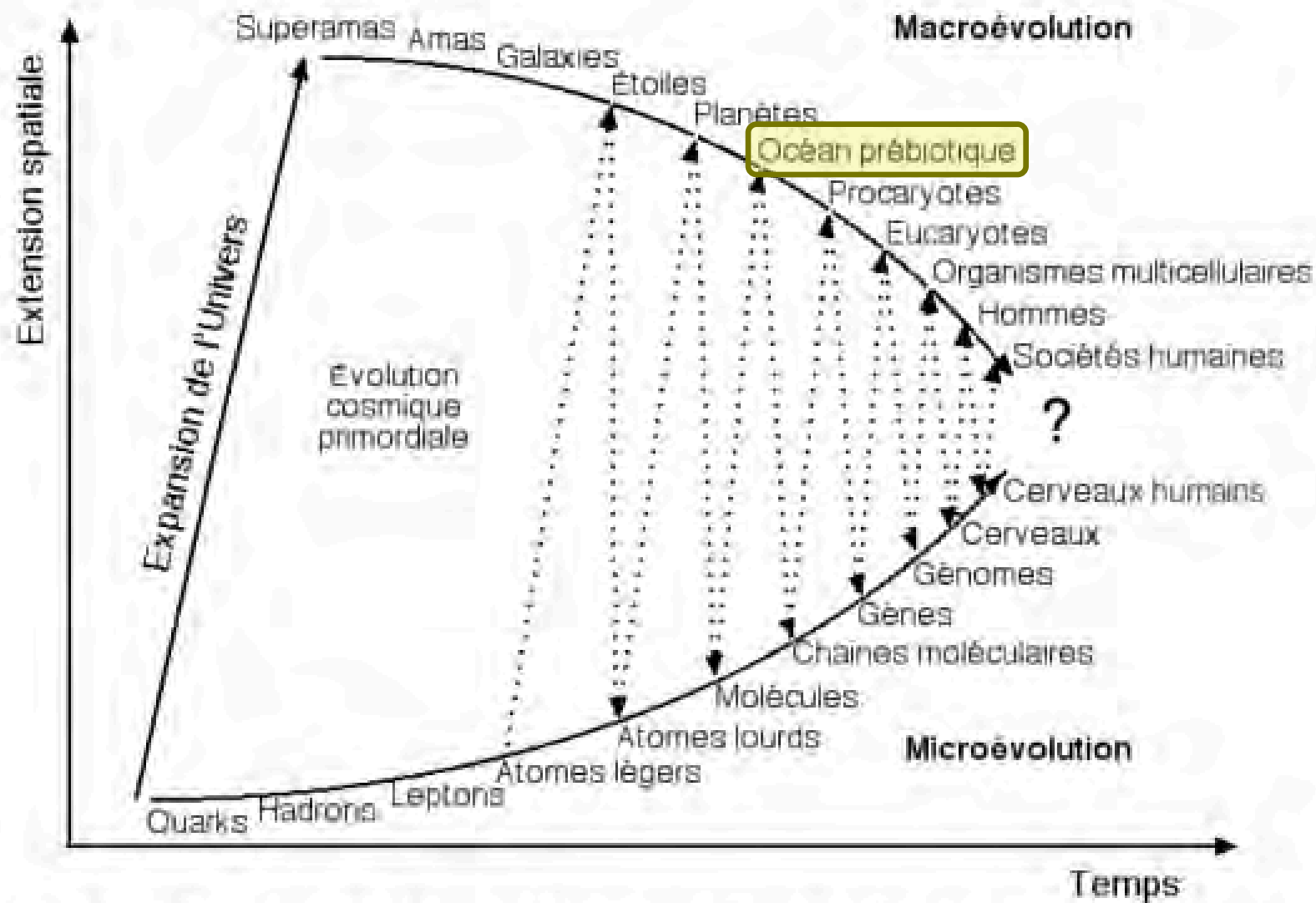
D'après Erich Jantsch, *The self-organizing universe*, Pergamon, 1980.

Molécule :

Les molécules constituent des **agrégats atomiques** liés par des liaisons dites « covalentes » d'au moins deux atomes, différents ou non.

L'assemblage d'atomes constituant une molécule peut se transformer en une ou plusieurs autres molécules ; c'est ce qu'on appelle une **réaction chimique**.

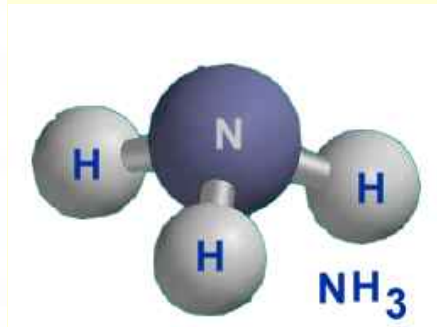
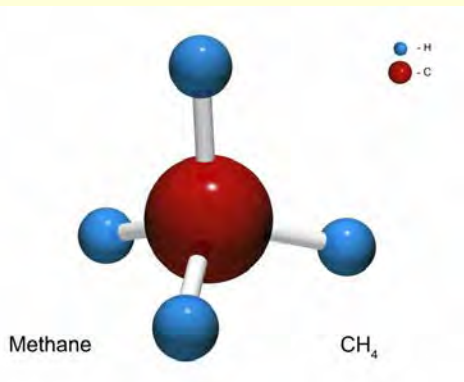
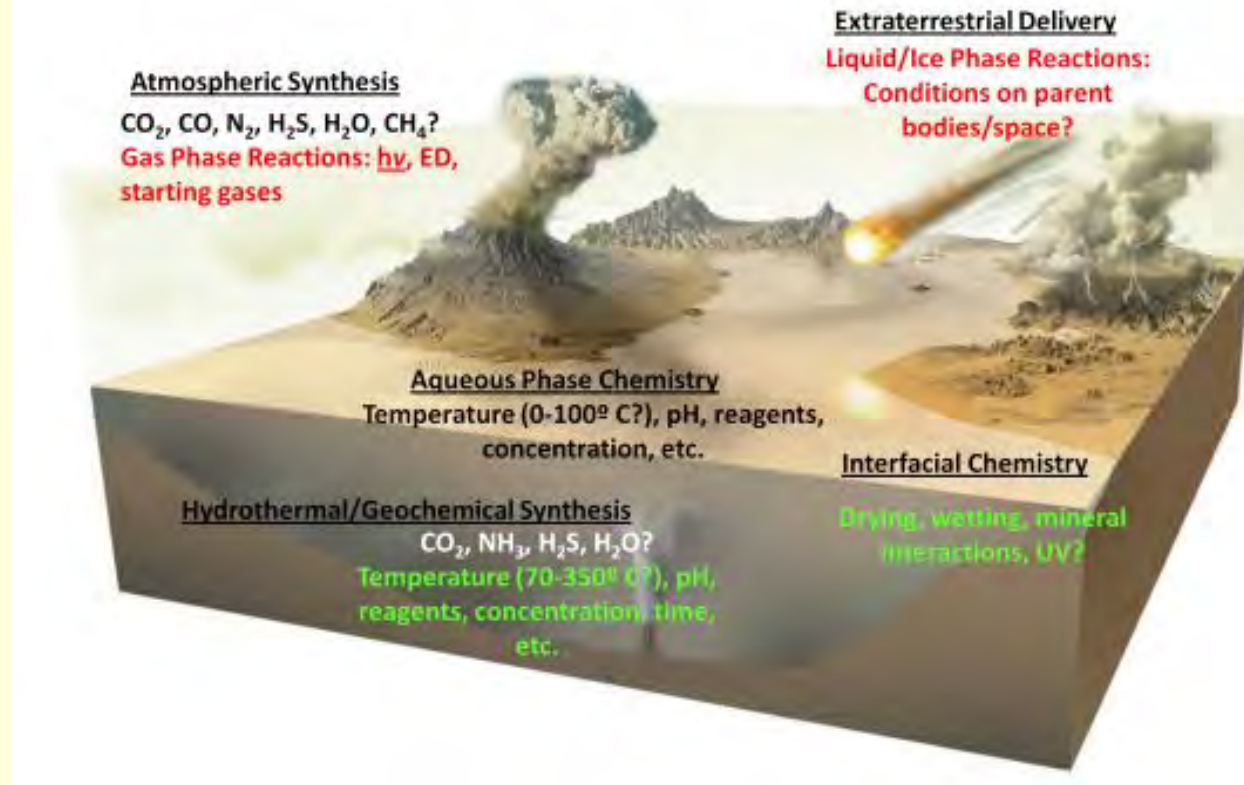




D'après Erich Jantsch, *The self-organizing universe*, Pergamon, 1980.

L'atmosphère primitive de notre planète aurait été constituée d'un mélange « inhospitalier » des **molécules simples** suivantes:

méthane (CH_4), ammoniac (NH_3), de vapeur d'eau (H_2O), de dioxyde de carbone (CO_2) et de sulfure d'hydrogène (H_2S).

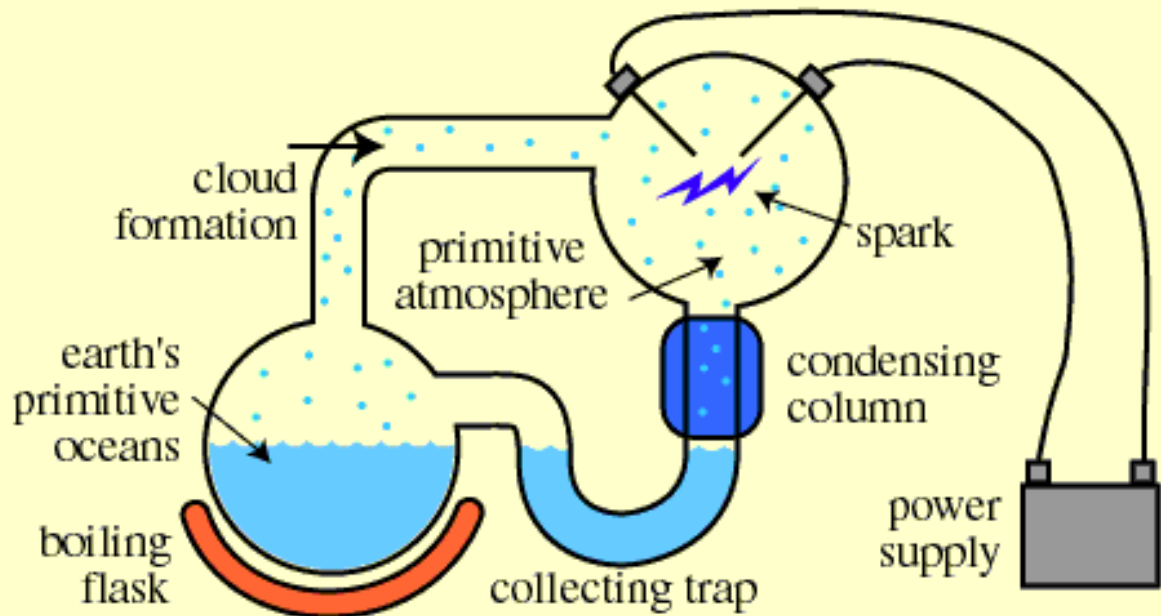


Ces molécules simples ont pu se complexifier jusqu'à un certain point dans les « **mares chaudes** » dont parlait déjà Darwin et qu'on a ensuite appelé « **soupe primitive** ».

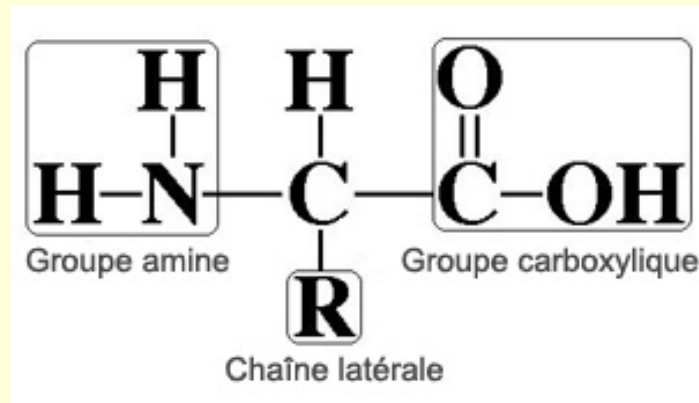


atmosphère et "soupe" primitive

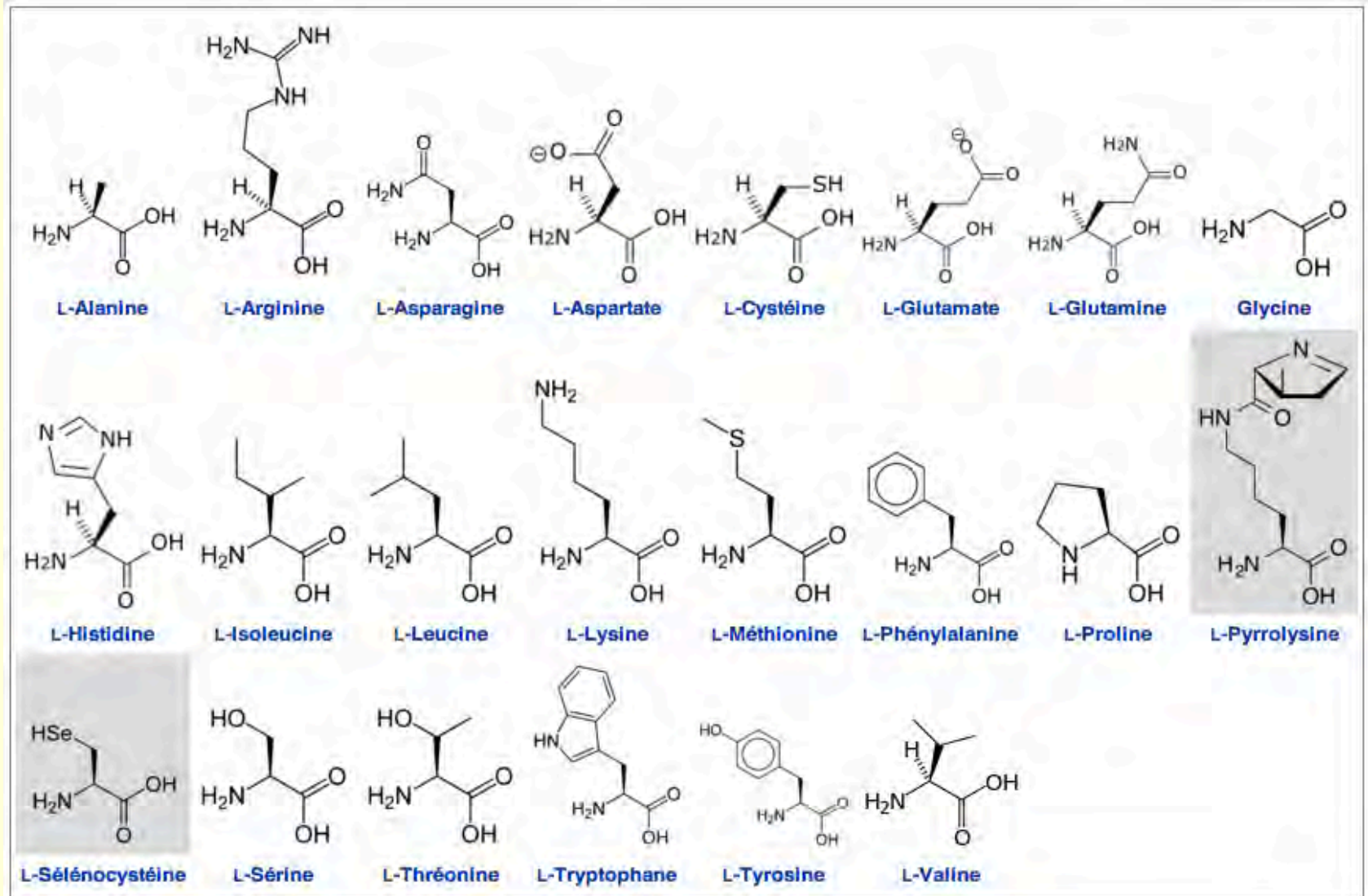
1953, Miller et Urey :
confirment cette hypothèse par une célèbre expérience in vitro où des molécules organiques apparaissent
(**acides aminés**, etc.)



Note : on parle de **molécules organiques** lorsqu'elles sont formées des atomes suivants : C-H-O-N.



En présence du puissant rayonnement solaire (rayons UV...), ce mélange de gaz aurait donc pu donner naissance à plusieurs **molécules un peu plus complexe** telles que les **acides aminés** (qui formeront plus tard les protéines).

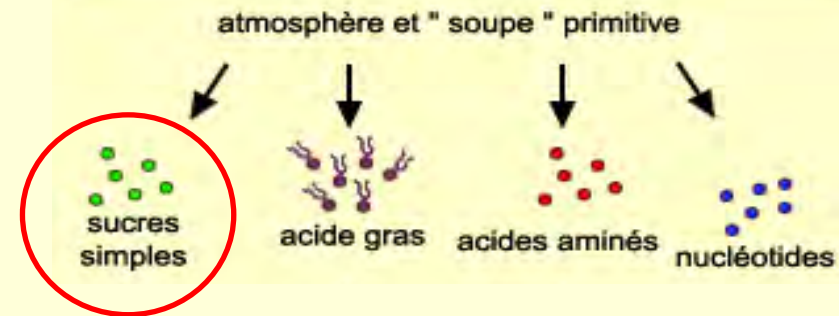


Un constituant de la vie détecté dans une comète

16 avril 2016 | Pauline Gravel

<http://www.ledevoir.com/societe/science-et-technologie/468358/un-constituant-de-la-vie-detecte-dans-une-comete>

[...] L'analyse des glaces interstellaires produites en laboratoire a révélé la présence de **différents sucres**, dont le **ribose**, qui est l'un des trois constituants clés de l'**ARN**, l'acide ribonucléique, qui est « *considéré comme le matériel génétique des premiers organismes vivants* ». [...]

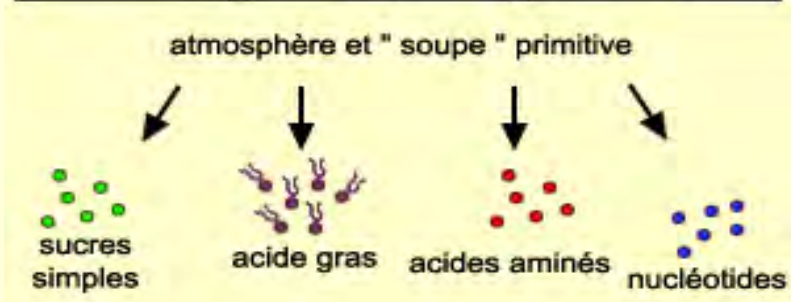


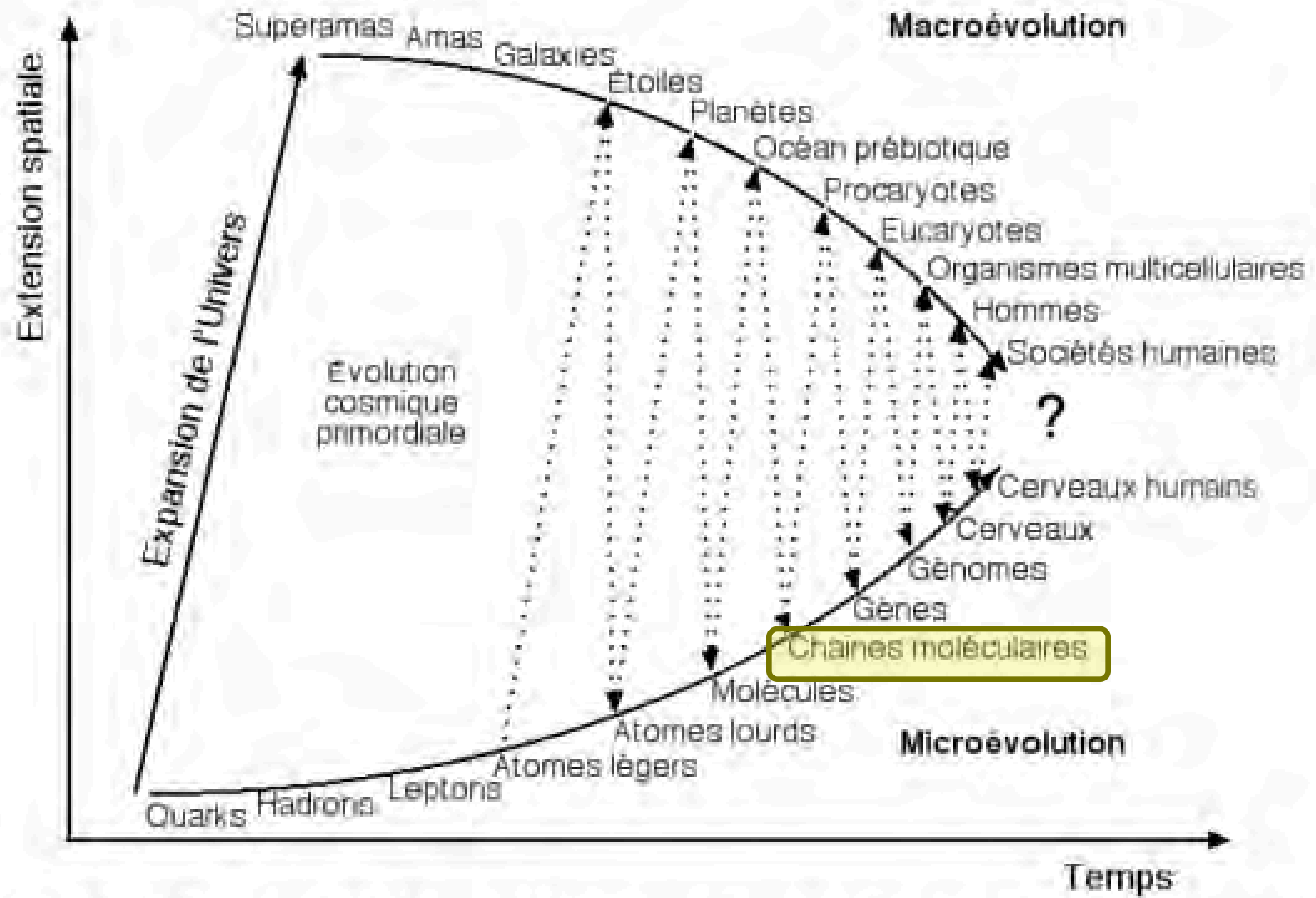
On peut donc dire que le passage de molécules simples vers des molécules organiques comme les acides aminés ou les sucres s'accompagne d'une **croissance de la complexité**.

On parle aussi "**d'auto-organisation**" pour désigner un tel processus.

Et de tels processus chimique d'auto-organisation sont "**sous contrôle thermodynamique**",

c'est-à-dire qu'ils se produisent "spontanément" sans l'intervention de forces extérieures si les bonnes conditions de départ sont réunies.

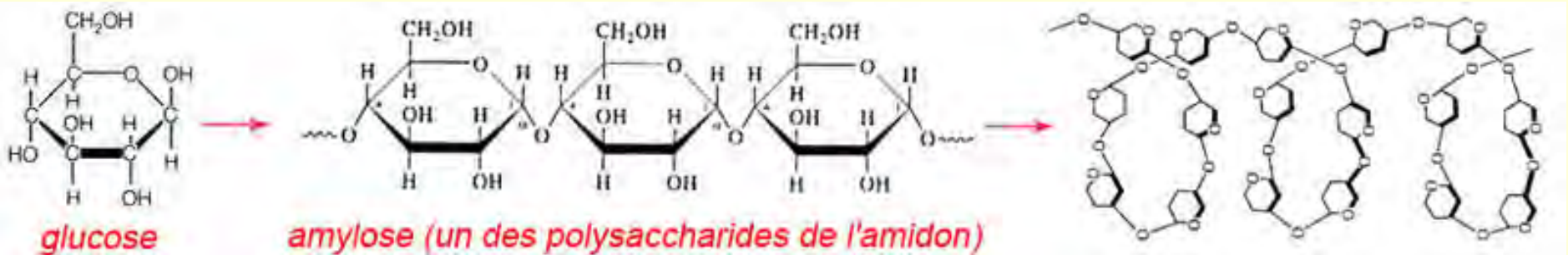




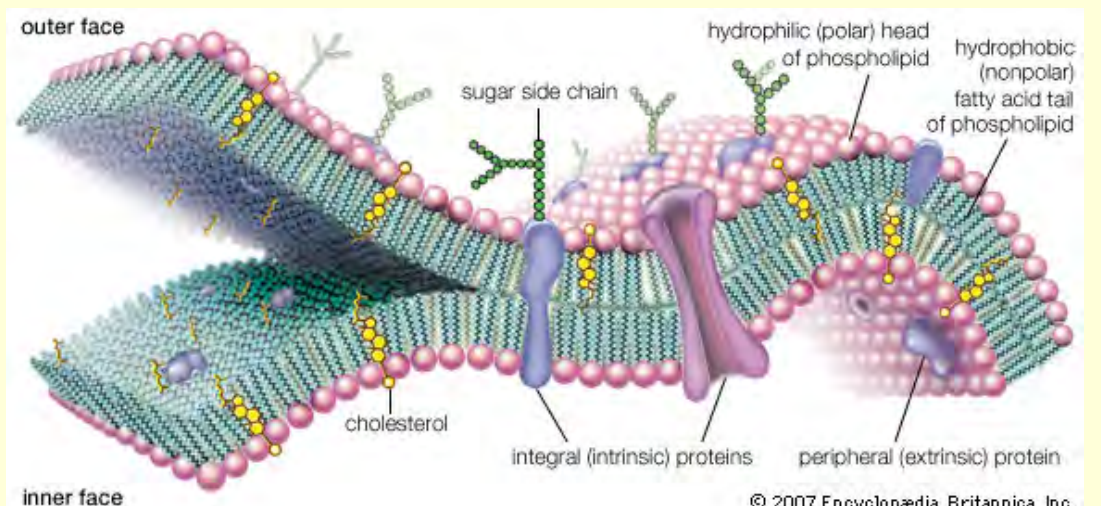
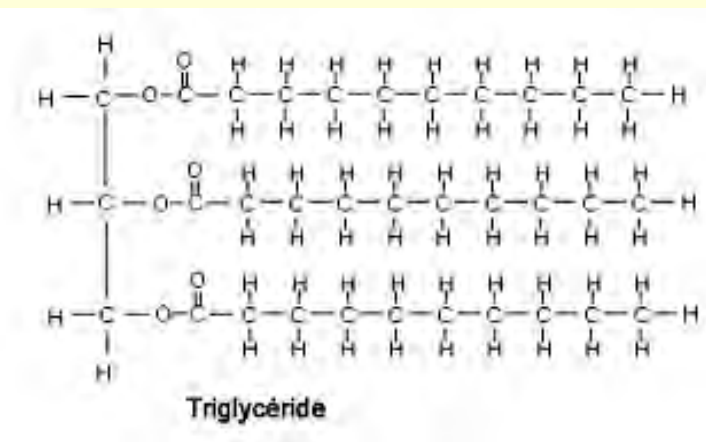
D'après Erich Jantsch, *The self-organizing universe*, Pergamon, 1980.

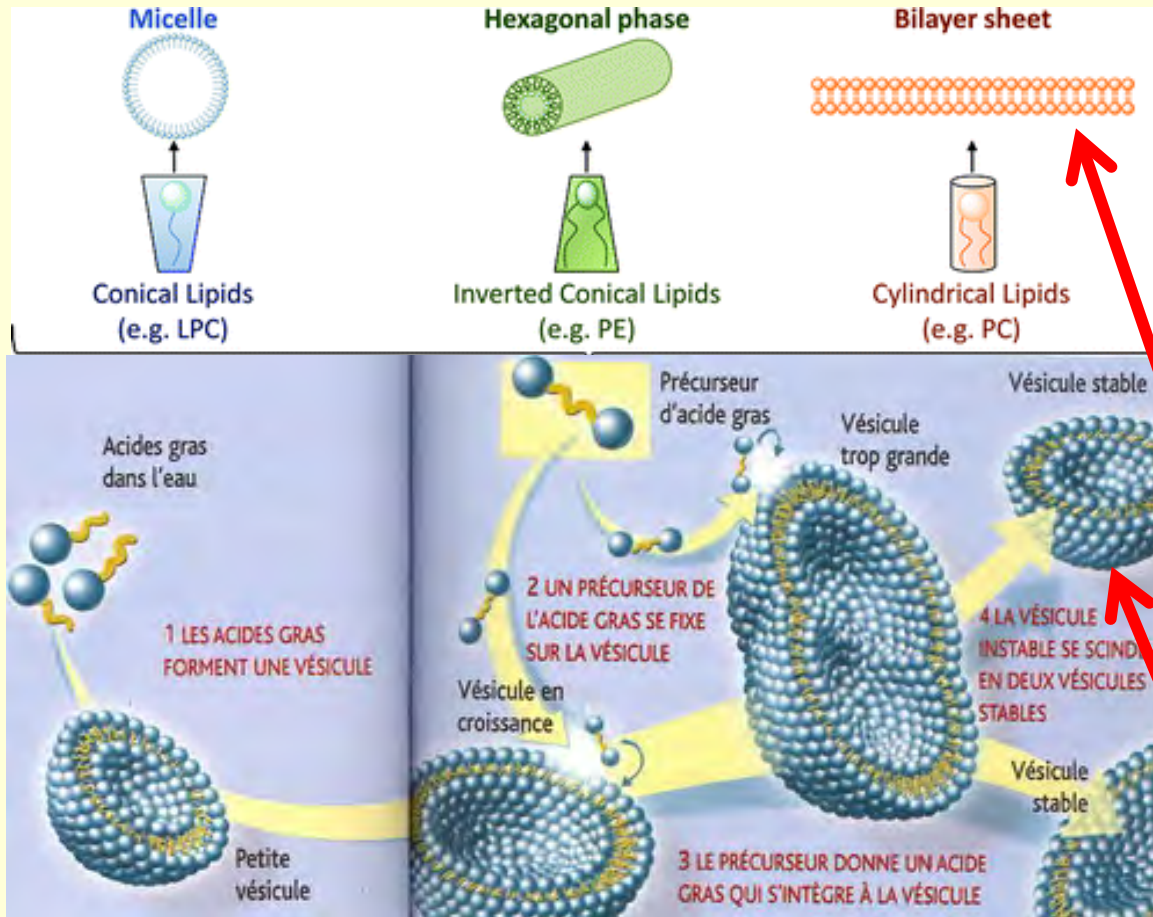
Quoi qu'ait pu être ses mécanismes, cette évolution chimique va donner lieu à des chaînes moléculaires de :

- Glucides



- Lipides





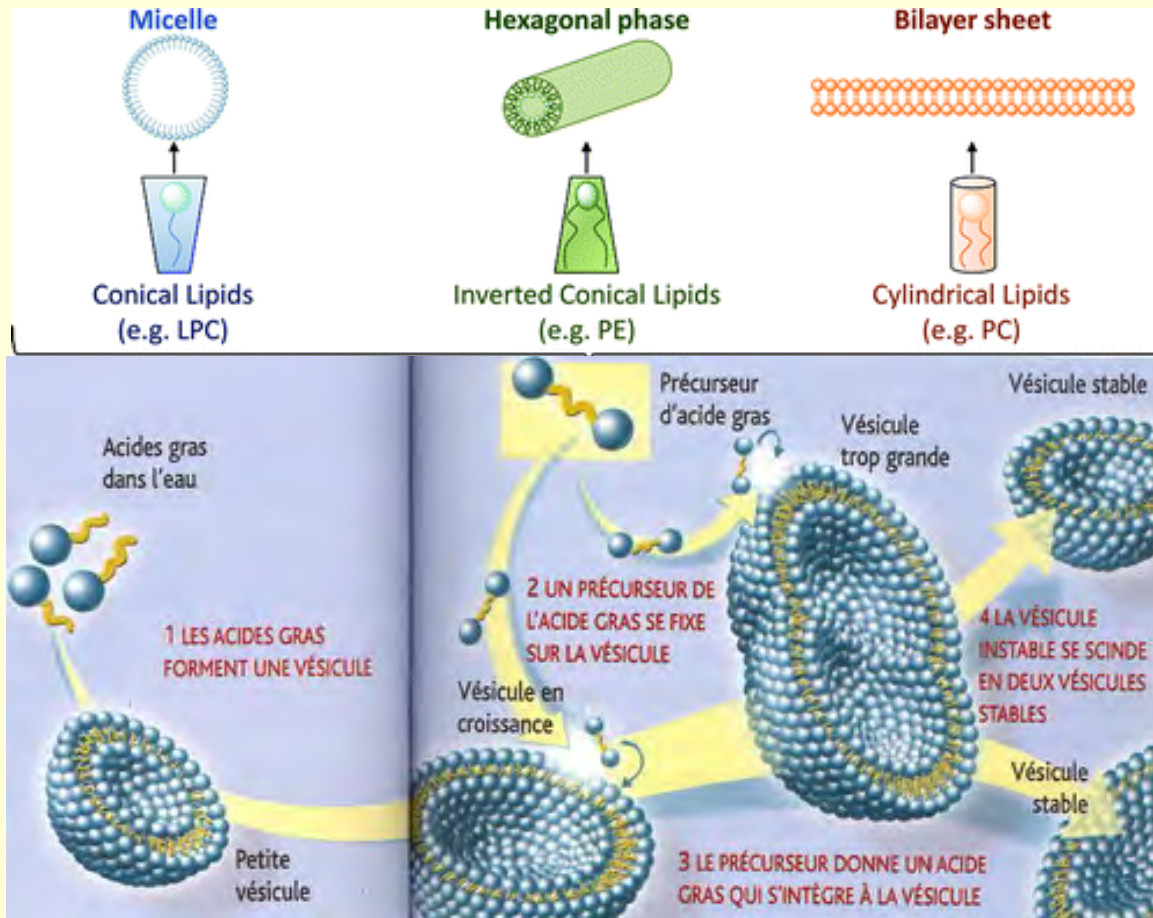
Ces chaînes de lipides vont donner lieu à des phénomènes **d'auto-organisation** mais cette fois-ci au niveau **supra-moléculaires** :

par exemple, des **couches bi-lipidiques**

qui vont former à leur tour des **vésicules** qui deviendront les futures membranes cellulaires.

“there is an overall increase of entropy (or disorder) due to the “liberation” of water molecules, which makes the process **thermodynamically favorable.**”

- The Systems View of Life

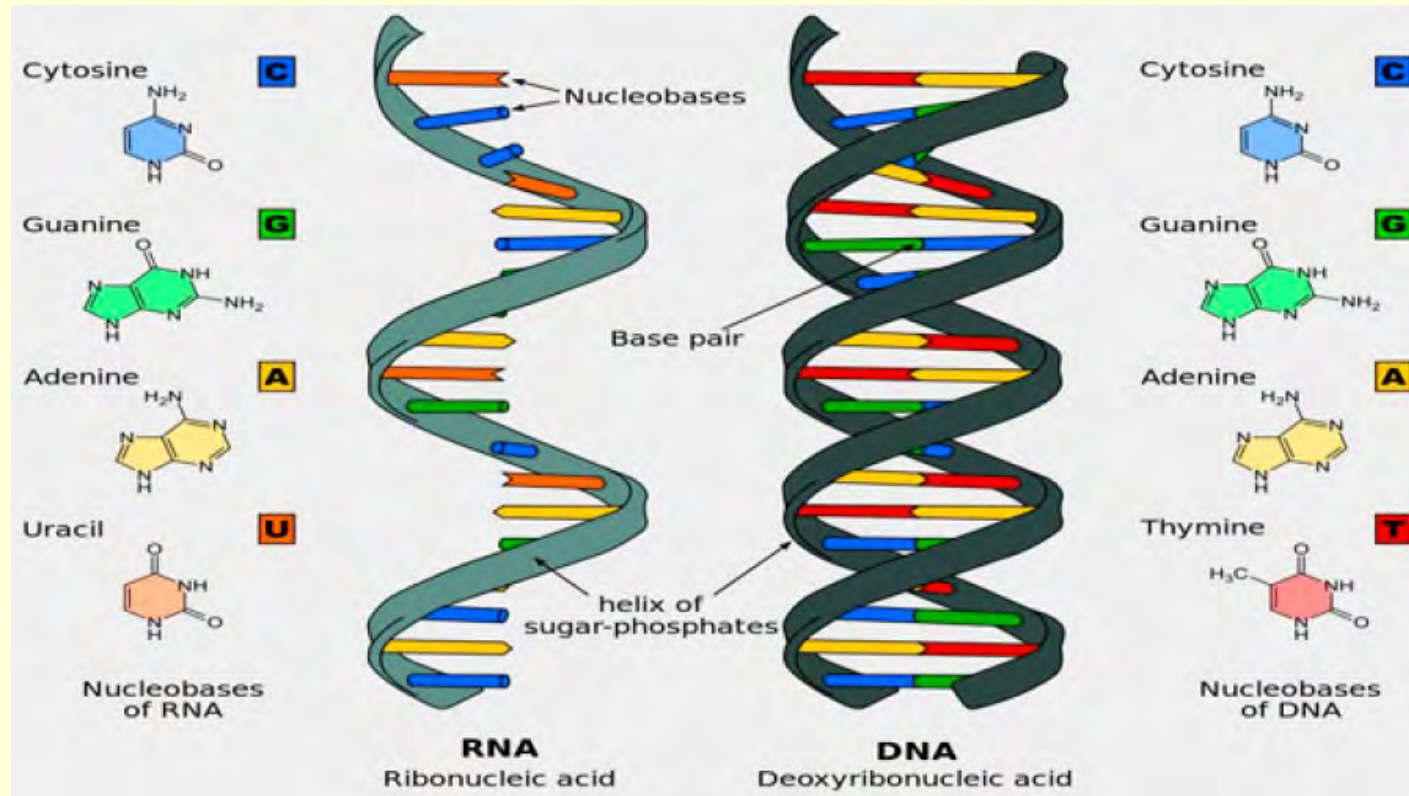


« Pas de membrane, pas de cellules.
Pas de cellules, pas de neurones.
Pas de neurones, pas de cerveaux.
Pas de cerveaux, pas d'humains ! »

Car encore aujourd'hui,
chaque cellule de
votre cerveau possède
une membrane.

...cette évolution chimique va donner lieu à des chaînes moléculaires de :

- Glucides
- Lipides
- **Bases nucléiques**

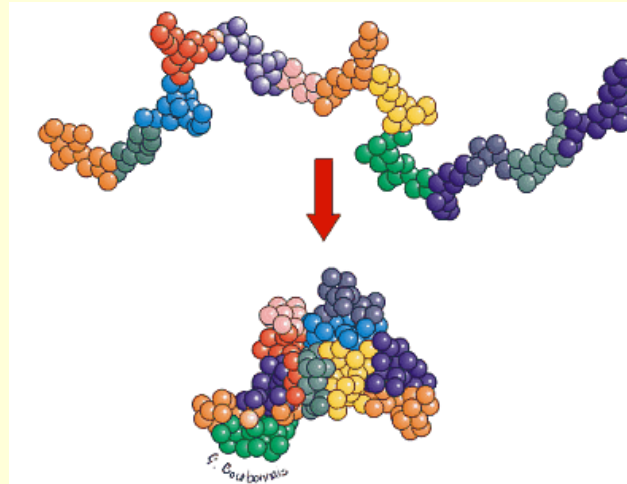
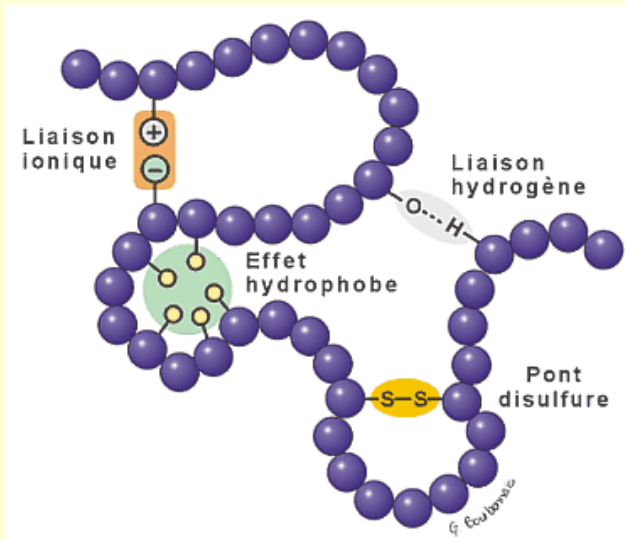
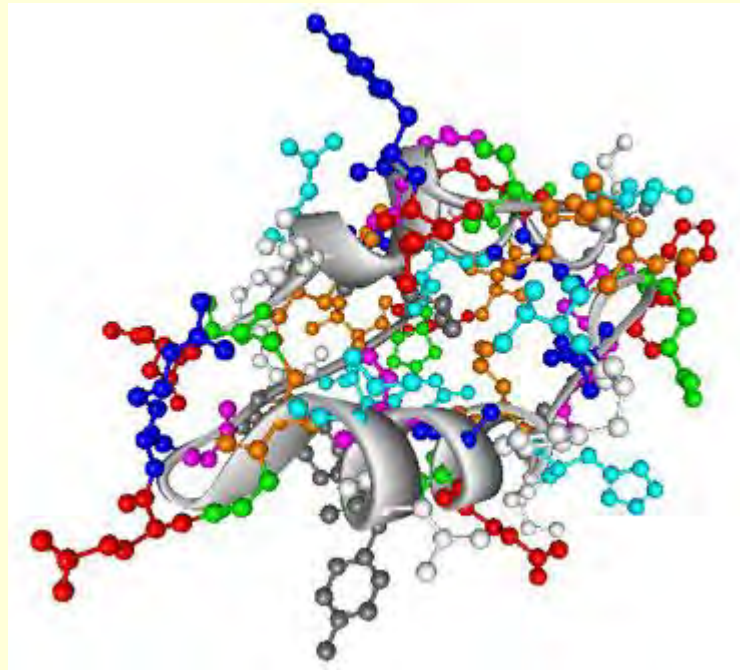


Même principe d'organisation que pour les lipides:

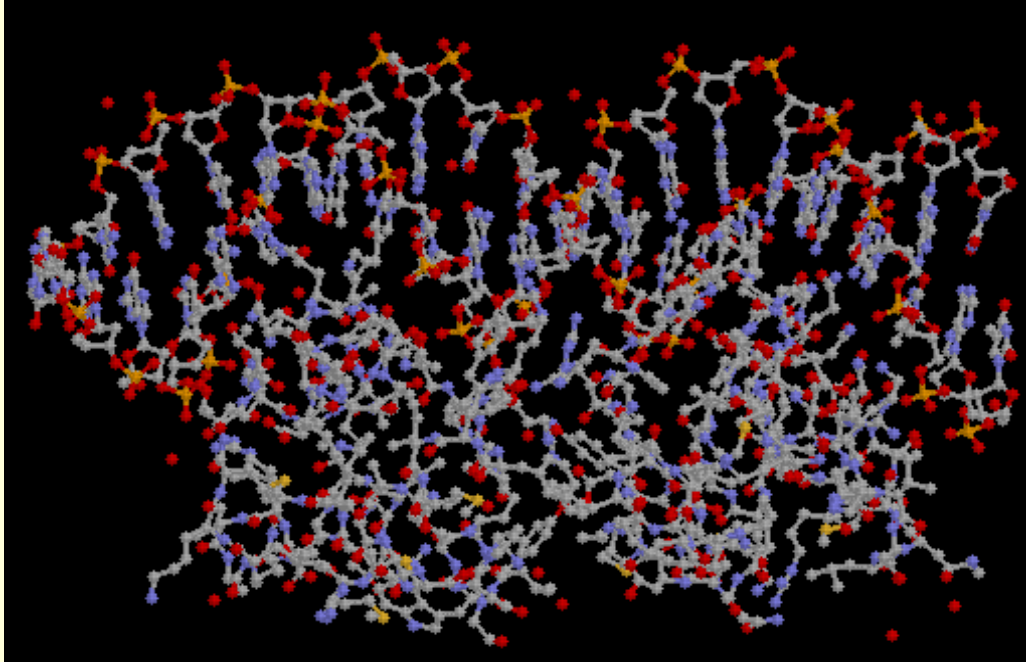
les deux brins complémentaires d'AND forment un duplex dans lequel les bases nucléiques hydrophobiques complémentaires fuient le contact de l'eau, laissant les "doigts" hydrophiliques des groupes phosphates s'occuper de la solubilité avec l'eau...

...cette évolution chimique va donner lieu à des chaînes moléculaires de :

- Glucides
- Lipides
- Bases nucléiques
- **Protéines**



Le repliement de la chaîne d'acides aminés est déterminé par la séquence primaire des acides aminés de la protéine (la suite des « perles » dans le « collier de perles »).



On peut donc dire encore une fois que **ce repliement s'auto-organise** (toujours sous contrôle thermodynamique), amenant « l'émergence » de nouvelles propriétés fonctionnelles au niveau de la structure 3D de la protéine (site de liaison d'un enzyme, le pore d'un canal membranaire, etc...) :

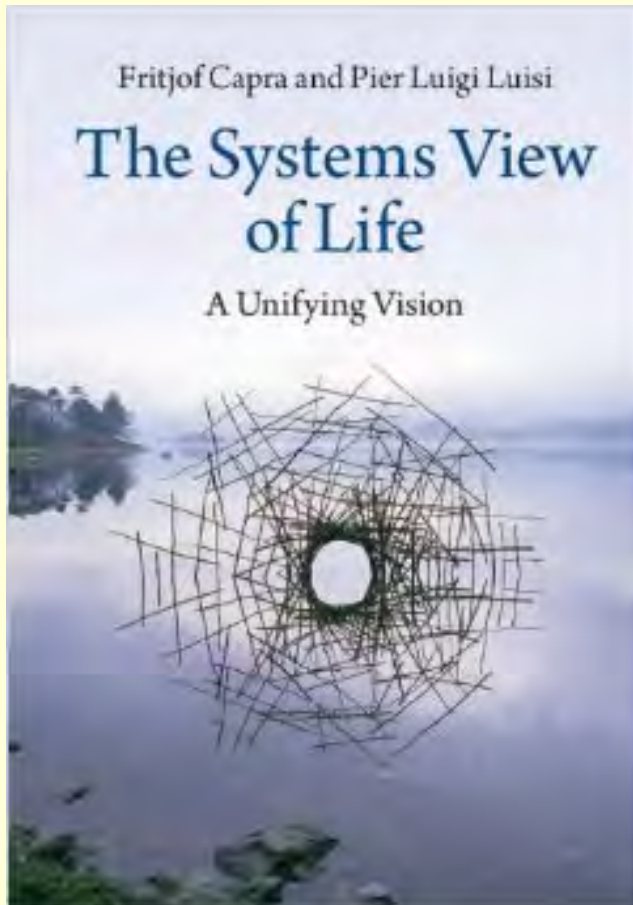
Et Chris Anfinsen a démontré en **1954** que ce repliement spontané à partir de la structure primaire de la protéine est aussi **le plus stable thermodynamiquement**.

Si l'on **dénature** une protéine avec de l'**urée**, ce qui change sa forme et lui fait perdre sa fonction biologique, le retrait de l'urée amène la protéine à reprendre sa forme originale.

Rappel :

Les « macro-molécules » qui formeront les organismes **vivants** sont donc constituées des **mêmes atomes** **que ceux que l'on retrouve dans la matière inanimée**.

Les molécules organiques ne vont pas se distinguer par la nature de leurs constituants, mais bien **au niveau de leur arrangement, de leur structure, bref leur forme**.



Durant l'histoire occidentale de la science et de la philosophie, il y a eu une tension entre 2 perspectives :

- l'étude de la **matière** : de quoi c'est fait ?
- l'étude de la **forme** : quel est le pattern ?

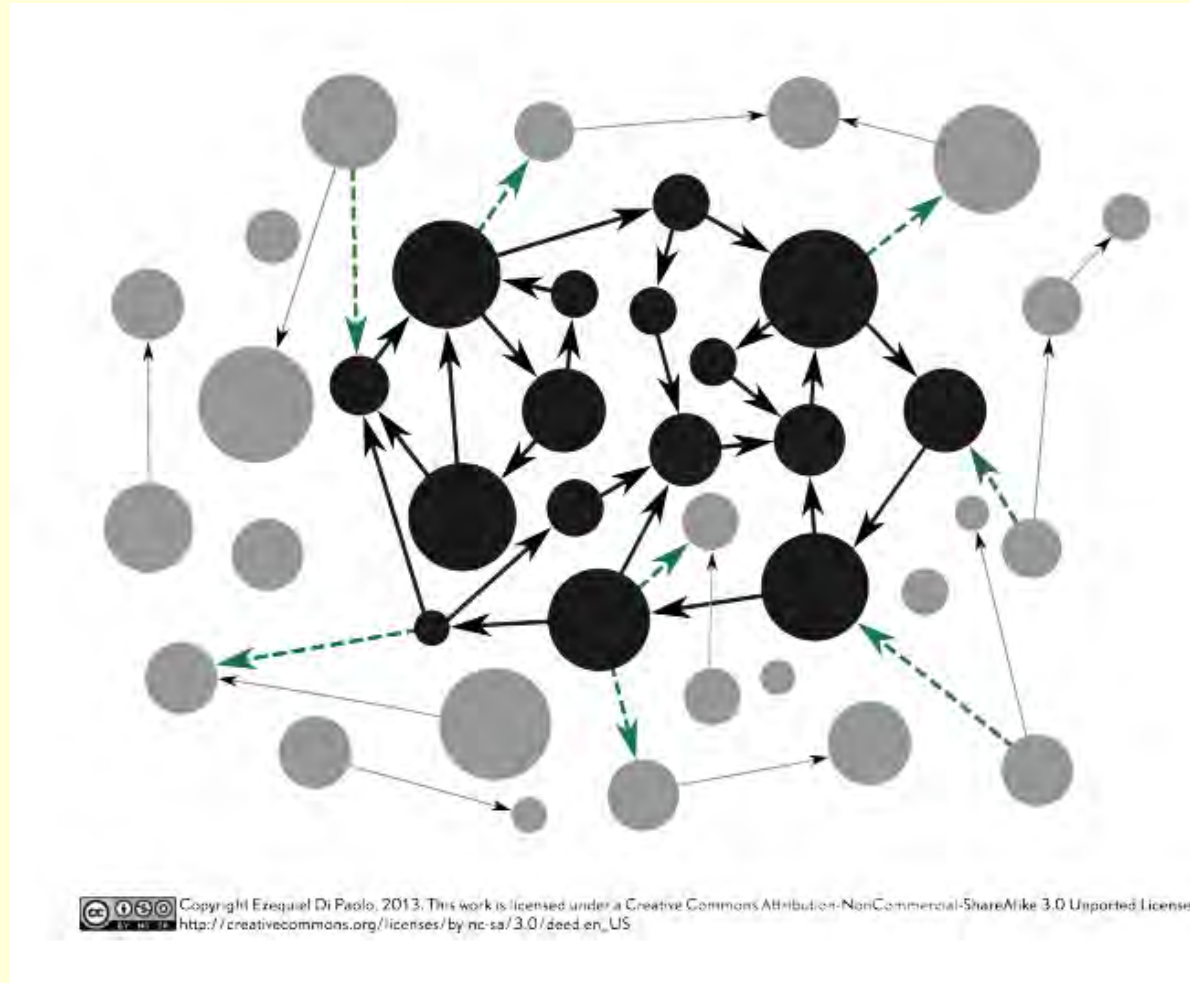
Parce que ça commence à devenir important avec le repliement des protéines,

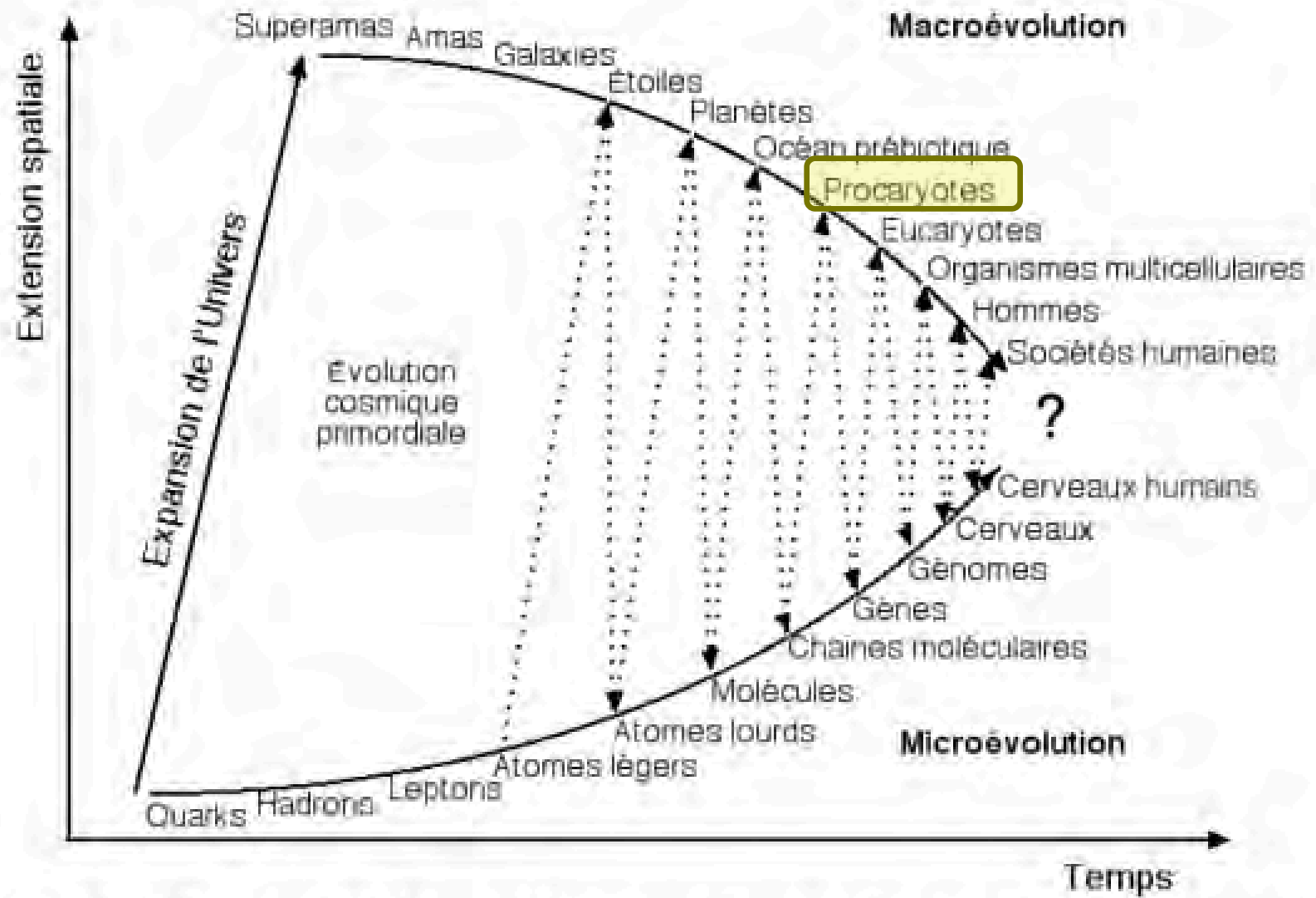
Et ça va devenir fondamental avec les premières cellules...

Et est-ce qu'il y a un pattern commun qu'on va pouvoir associer à tous les systèmes vivants?

Comme on le verra dans un instant, la réponse est oui...

« Whenever
we look at life,
we look at networks.”





D'après Erich Jantsch, *The self-organizing universe*, Pergamon, 1980.

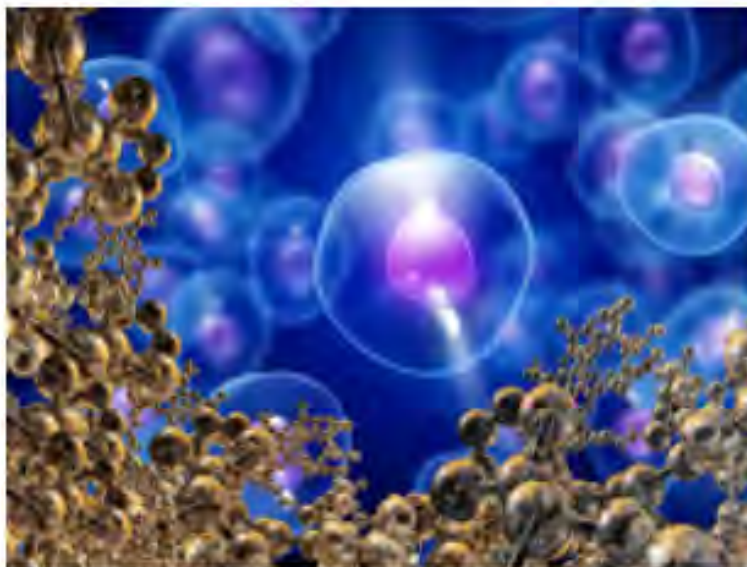


CONFÉRENCE - AMPHITHÉÂTRE

19 mars 2015 - 19h00

DU CHIMIQUE AU BIOLOGIQUE

AINSI VINT LA VIE!



Une conférence de Christophe Malaterre

De la formation de la Terre, il y a environ 4,5 milliards d'années, à l'apparition de la vie, il y a de cela 3,5 à 3,8 milliards d'années, que s'est-il passé?

Comment sommes-nous passés de l'inerte au vivant? Une évolution chimique aurait-elle précédé l'évolution biologique? Et quels en seraient les processus évolutifs? Enquête scientifique et philosophique sur les origines et la nature même de la vie.

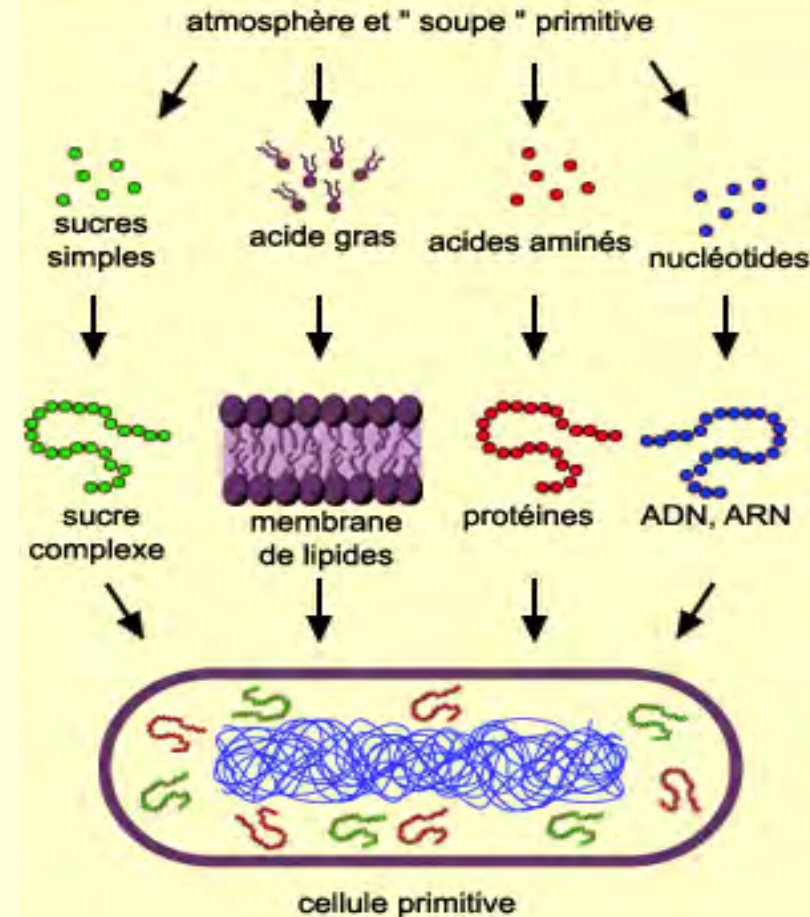
Christophe Malaterre est professeur de philosophie des sciences à l'UQAM et

quand apparaît la vie ?

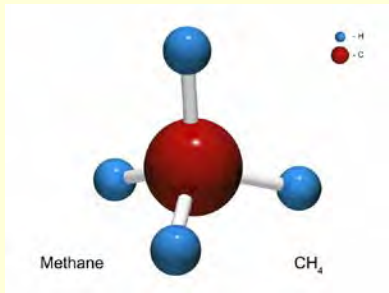
Les définitions de la vie (on va y revenir...) sont souvent des listes de critères comprenant des éléments comme :

Développement ou croissance
Métabolisme
Motilité
Reproduction
Réponse à des stimuli
Etc.

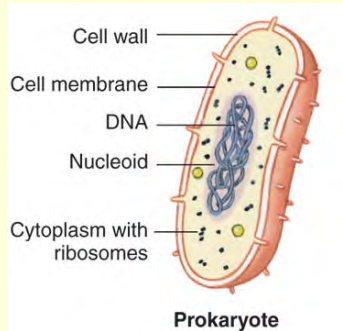
Le biologiste Radu Popa a listé plus de 300 définitions de la vie...dont aucune ne fait l'unanimité !



quand apparaît la vie ?



+ ou – vivants
de différentes
manières...

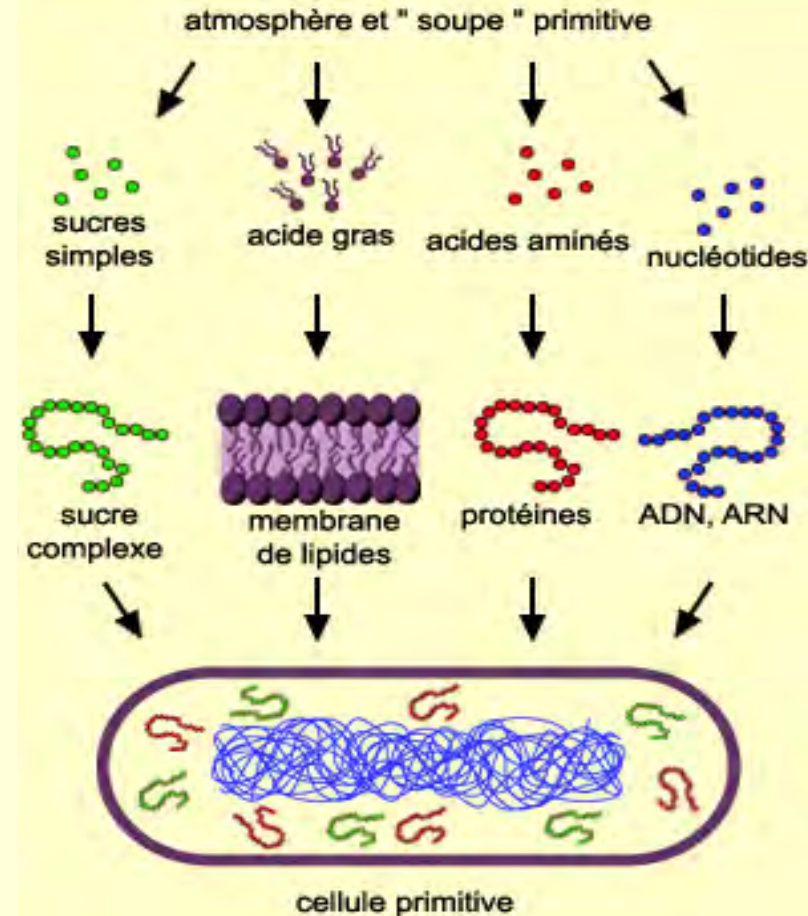
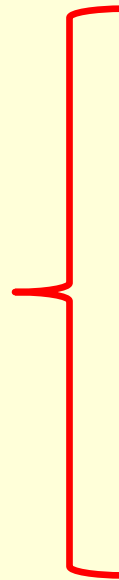


Non



Oui

un
gradient





Différentes machines permettant de voler, utilisant différents principes, comportant certaines forces et faiblesses en fonction de différents aspects considérés...

De même, il pourrait très bien y avoir différentes façon « d'être vivant », comportant certaines forces et faiblesses en fonction de différents aspects considérés...

Développement ou croissance + ou –

Métabolisme + ou –

Motilité + ou –

Reproduction + ou –

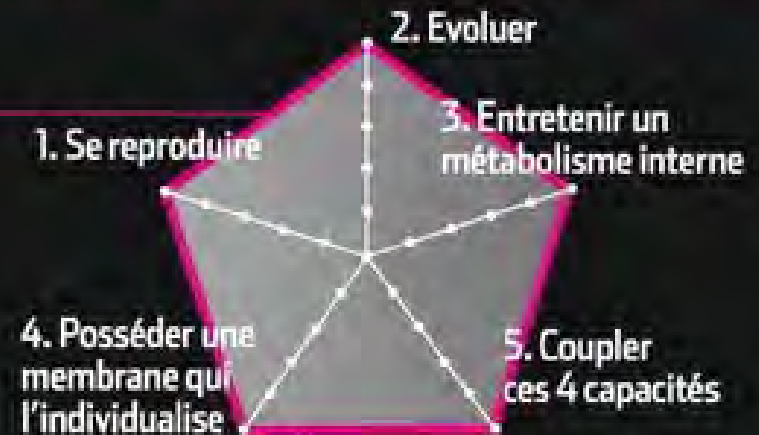
Réponse à des stimuli + ou –

Différentes « signature de vie »

Ni êtres vivants ni cailloux...

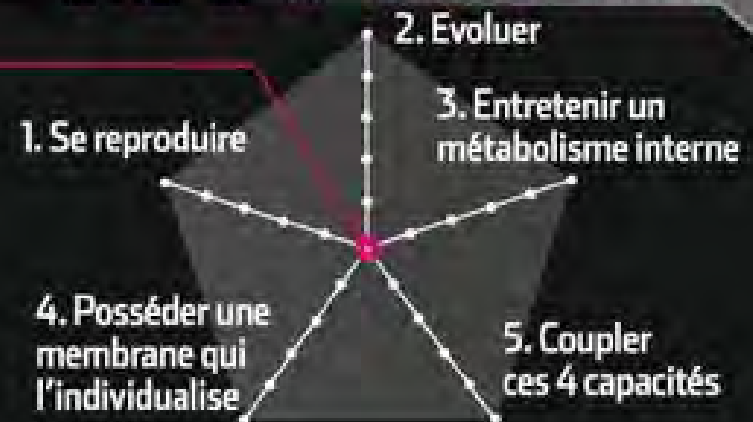
Etre vivant

Ce pentagone rose décrit un être vivant, c'est-à-dire un être capable de remplir ces 5 fonctions retenues pour qualifier la vie (même si elles ne suffisent pas, à elles seules, à la définir).



Chose inerte

Incapable de se reproduire, d'évoluer, de posséder un métabolisme, une membrane ni, a fortiori, de conjuguer ces 4 facteurs, un caillou, par exemple, ne remplit aucune partie du pentagone.



Différentes « signature de vie »

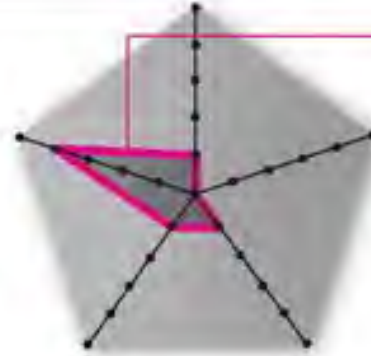
mais des organismes à mi-chemin entre les deux

A MI-CHEMIN
ENTRE LE VIVANT
ET L'INERTE, CES
"PRESQUE VIVANTS"
POSSÈDENT CERTAINES
FONCTIONS PHARES
DE LA VIE



Virus

Parfois inerte, parfois actif, il est doté de 4 capacités fondamentales : il se reproduit, évolue et possède une membrane qui l'individualise.



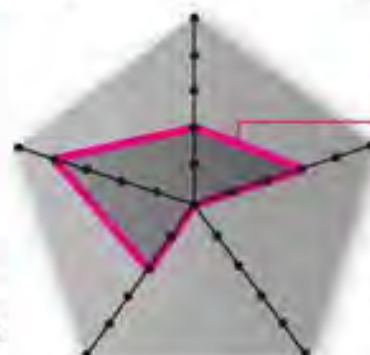
Prion

Cette protéine anormale est individualisée, elle se reproduit et évolue.



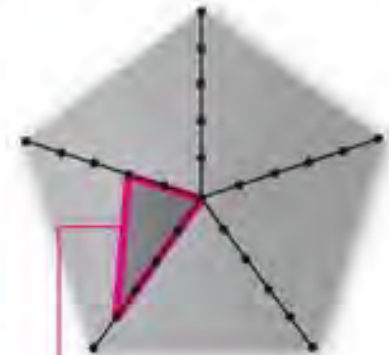
Pepsine

Cette protéine enzymatique digestive se reproduit (elle s'auto-catalyse) et entretient un métabolisme.



Ribozyme

Cet ARN est capable de catalyser des réactions, dont sa propre réplication. Il est individualisé, évolue et possède un métabolisme.



Liposome

C'est une vésicule individualisée dont la membrane est composée de lipides et qui se reproduit.

Pourquoi apparaît la vie ?

La réponse pourrait bien être pas très différente de “pourquoi il y a des molécules ou des macro-molécules ?”.

Autrement dit, ces bonnes vieilles
lois de la thermodynamique
qui pourraient encore contrôler l’affaire...

Lundi, 29 décembre 2014

<http://www.blog-lecerveau.org/blog/2014/12/29/3936/>

Le physicien Jeremy England pense que les organismes vivants existent parce qu'ils ont simplement tendance à **mieux capturer l'énergie de leur environnement et à la dissiper sous forme de chaleur**, conformément au deuxième principe de la thermodynamique.



La démonstration mathématique de England montre que « quand un **groupe d'atomes** est entraîné par une source d'énergie externe (comme le rayonnement du soleil)

et entouré par un bain de chaleur (comme l'océan ou l'atmosphère),

il **se restructure progressivement afin de dissiper de plus en plus d'énergie** (sous forme de chaleur).

Cela pourrait signifier que dans certaines conditions, la matière acquiert inexorablement l'attribut physique associé à la vie. »

Self-replication (or reproduction, in biological terms), the process that drives the evolution of life on Earth, is one such mechanism by which a system might dissipate an increasing amount of energy over time. As England put it, “A great way of dissipating more is to make more copies of yourself.”

In [a September paper](#) in the Journal of Chemical Physics, he reported the theoretical minimum amount of dissipation that can occur during the self-replication of RNA molecules and bacterial cells, and showed that it is very close to the actual amounts these systems dissipate when replicating. [...]

Besides self-replication, **greater structural organization** is another means by which strongly driven systems ramp up their ability to dissipate energy. A plant, for example, is much better at capturing and routing solar energy through itself than an unstructured heap of carbon atoms.

Thus, England argues that under certain conditions, **matter will spontaneously self-organize**. [...]

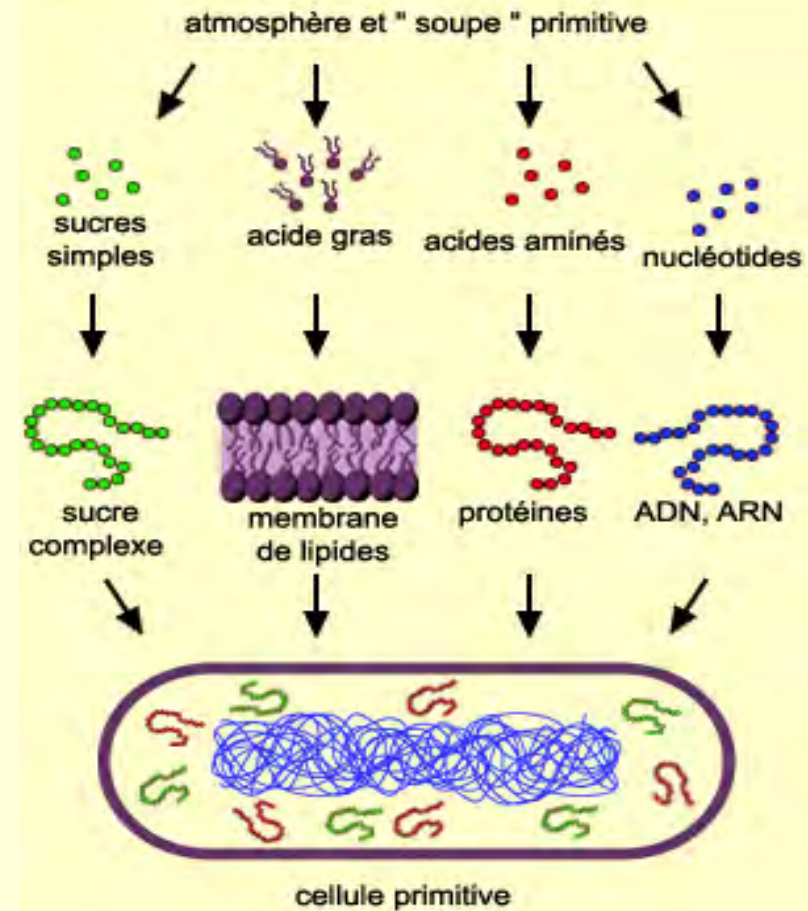
“I am certainly not saying that Darwinian ideas are wrong,” he explained. “On the contrary, I am just saying that from the perspective of the physics, you might call Darwinian evolution a special case of a more general phenomenon.”



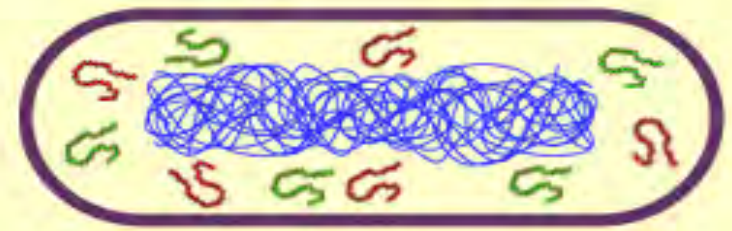
« Avec le temps, tout devient possible.

La nature n'en manque jamais. »

- Lamarck

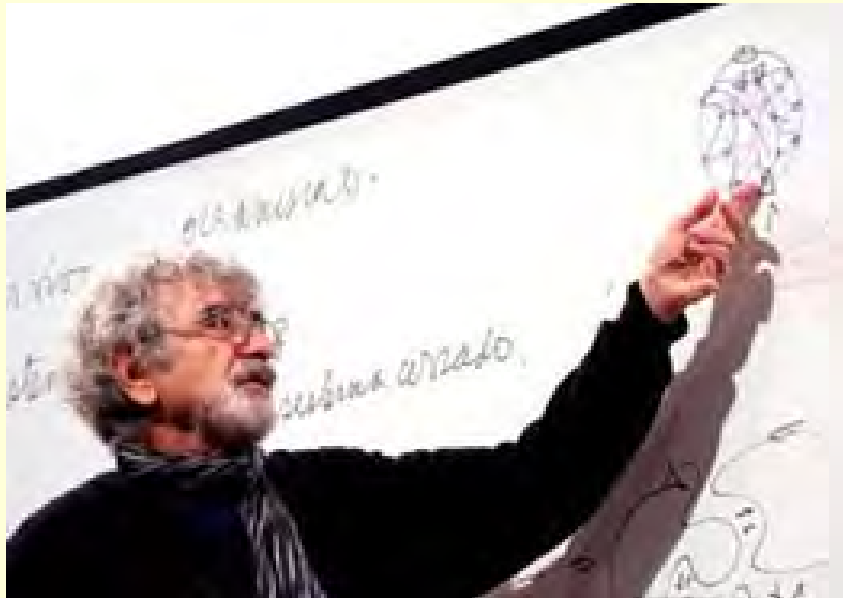


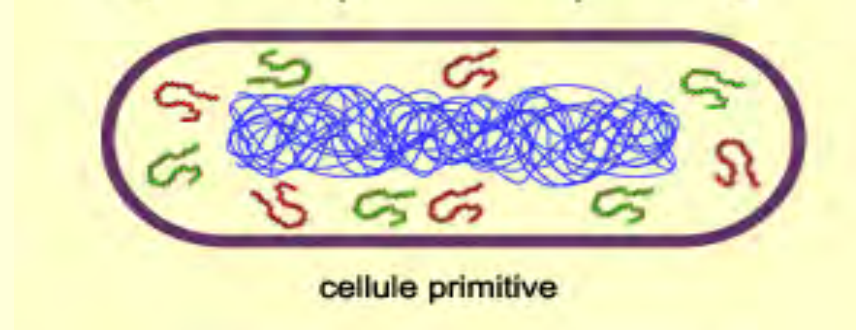
Pour comprendre ce qu'est une **cellule vivante**,



cellule primitive

une notion très utile est celle d'autopoïèse,
élaborée par Humberto Maturana et Francisco Varela
dans les années 1970.



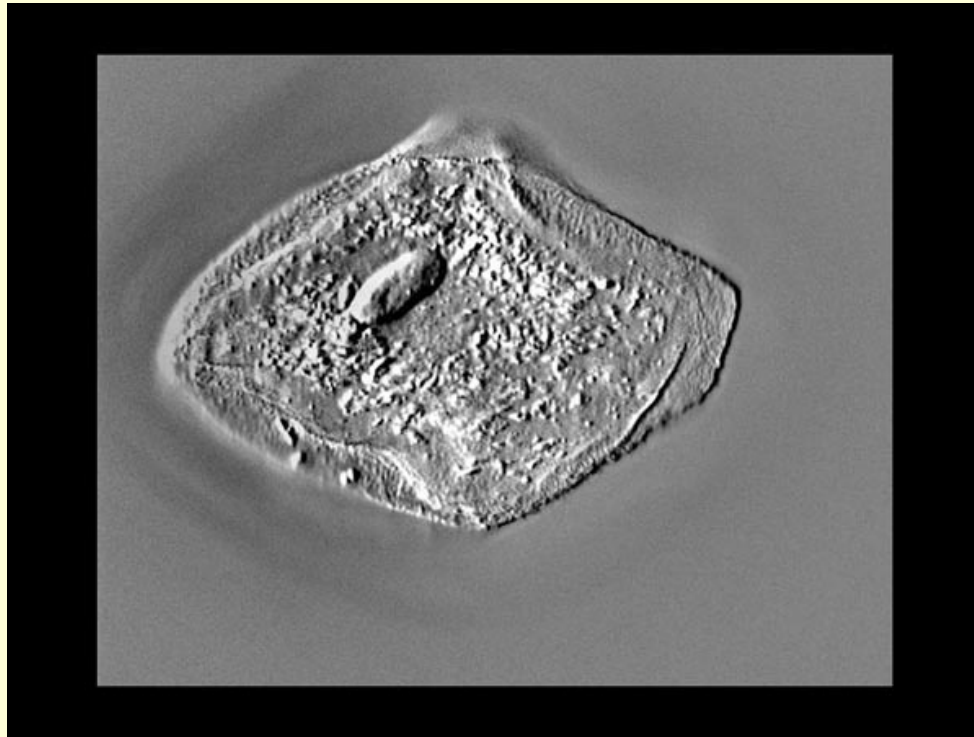


une notion très utile est celle d'autopoïèse,
élaborée par Humberto Maturana et Francisco Varela
dans les années 1970.

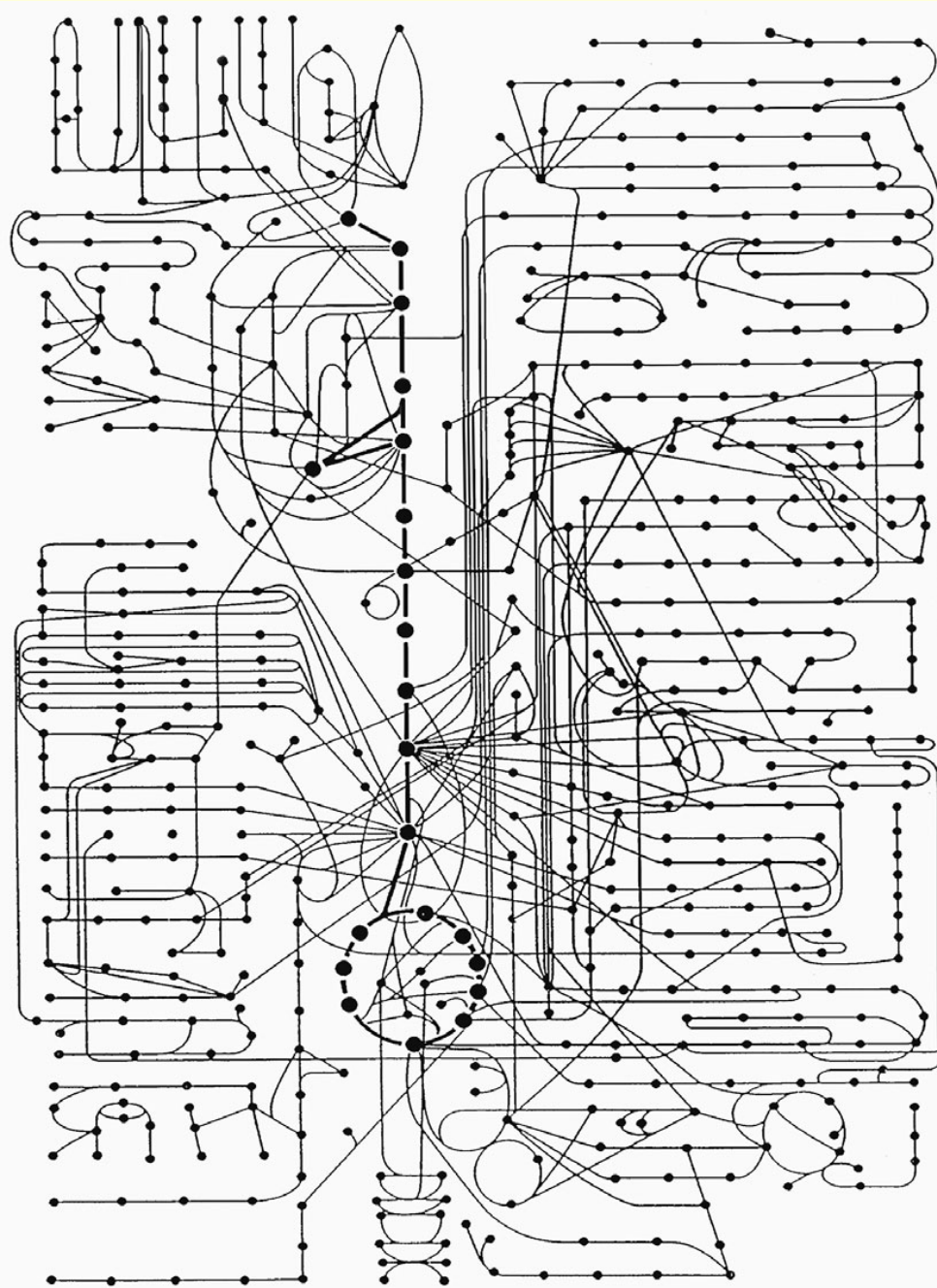
« Notre proposition est que les être vivants sont caractérisés par le fait que, littéralement, ils sont continuellement en train de **s'auto-produire**. »

- Maturana & Varela, *L'arbre de la connaissance*, p.32

« Un système autopoïétique est un **réseau complexe d'éléments** qui, par leurs interactions et transformations, **régénèrent constamment le réseau** qui les a produits. »

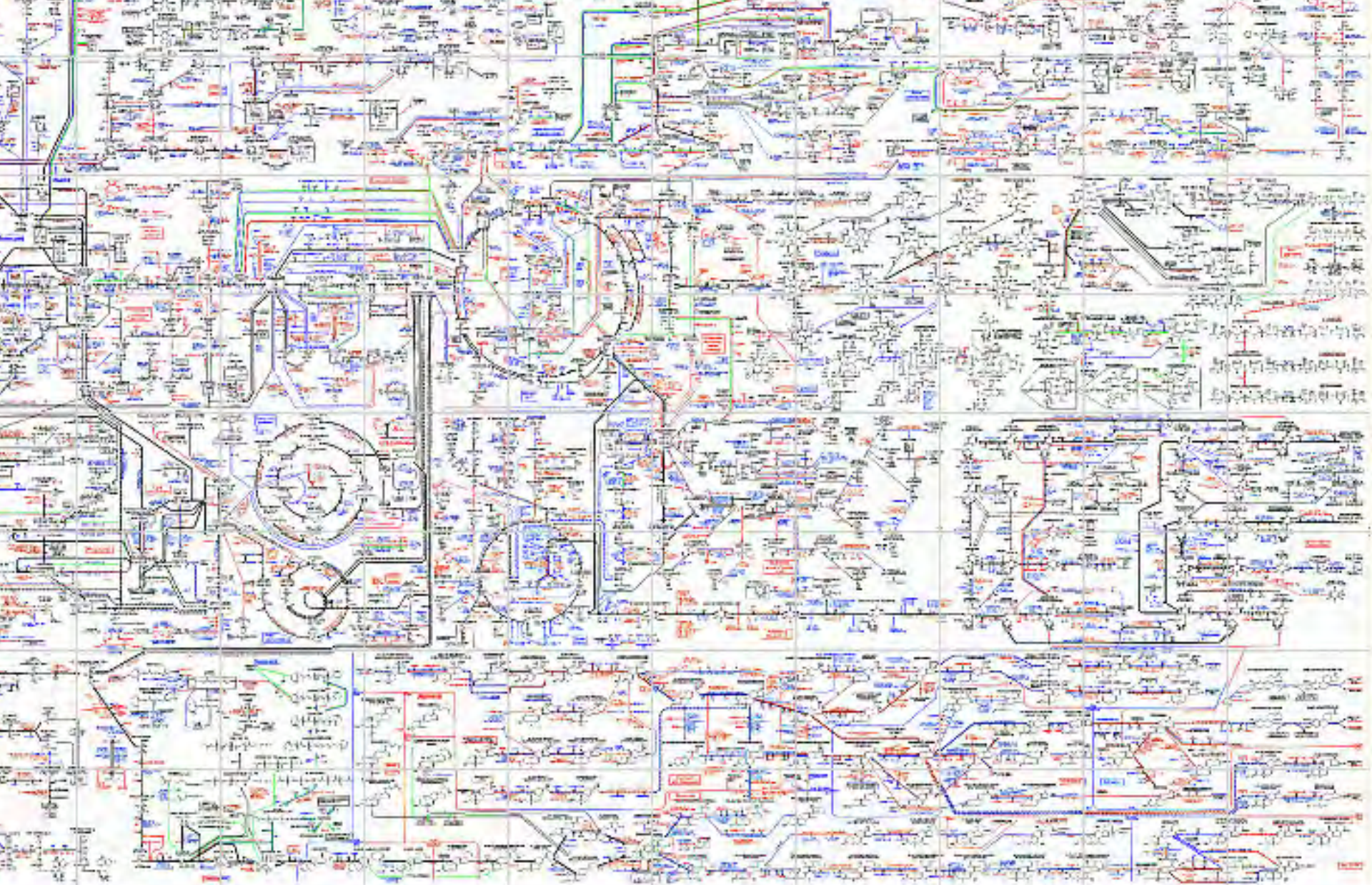


An image of a human buccal epithelial cell obtained using Differential Interference Contrast (DIC) microscopy
(www.canisius.edu/biology/cell_imaging/gallery.asp)



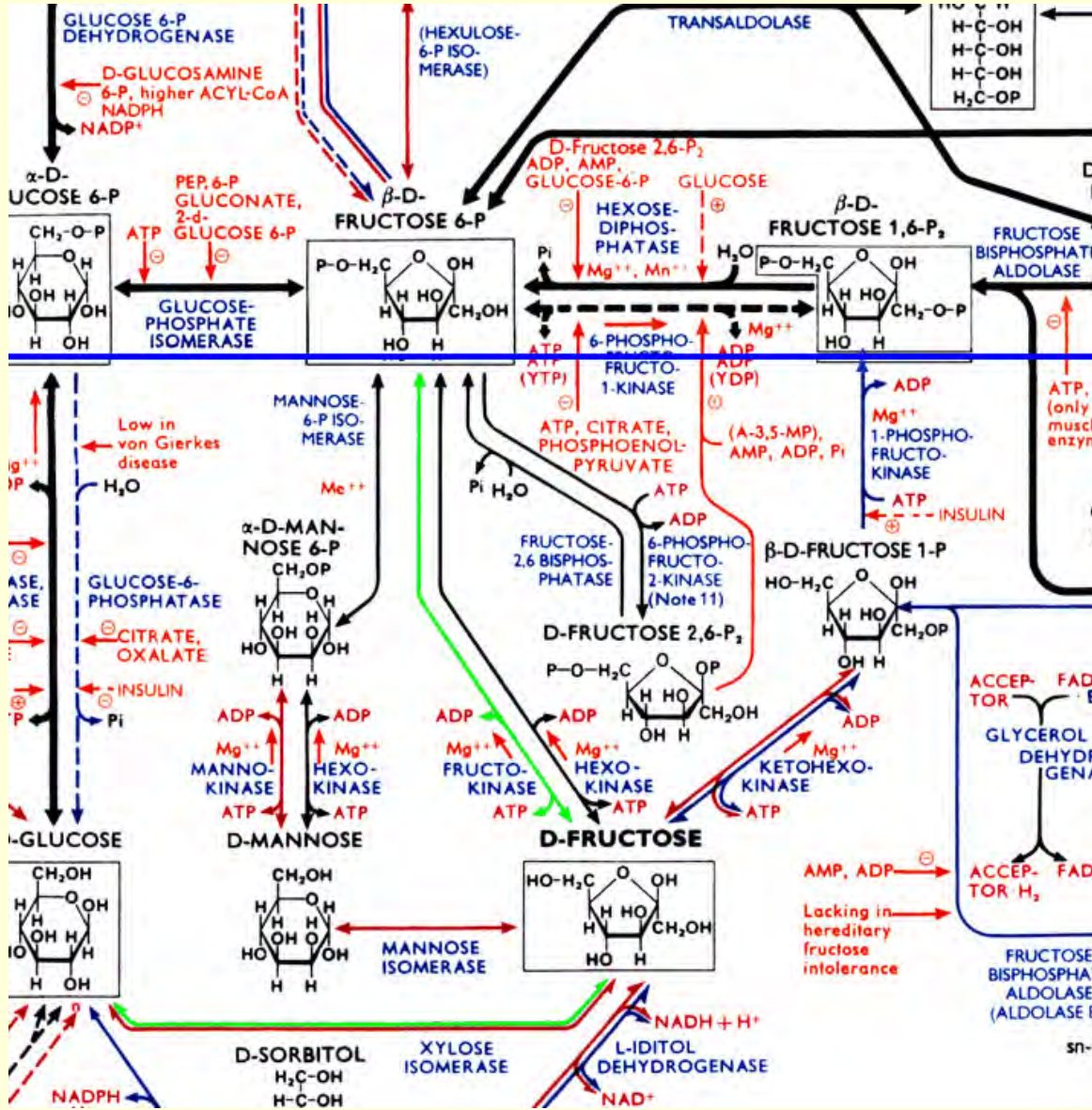
« un réseau »...

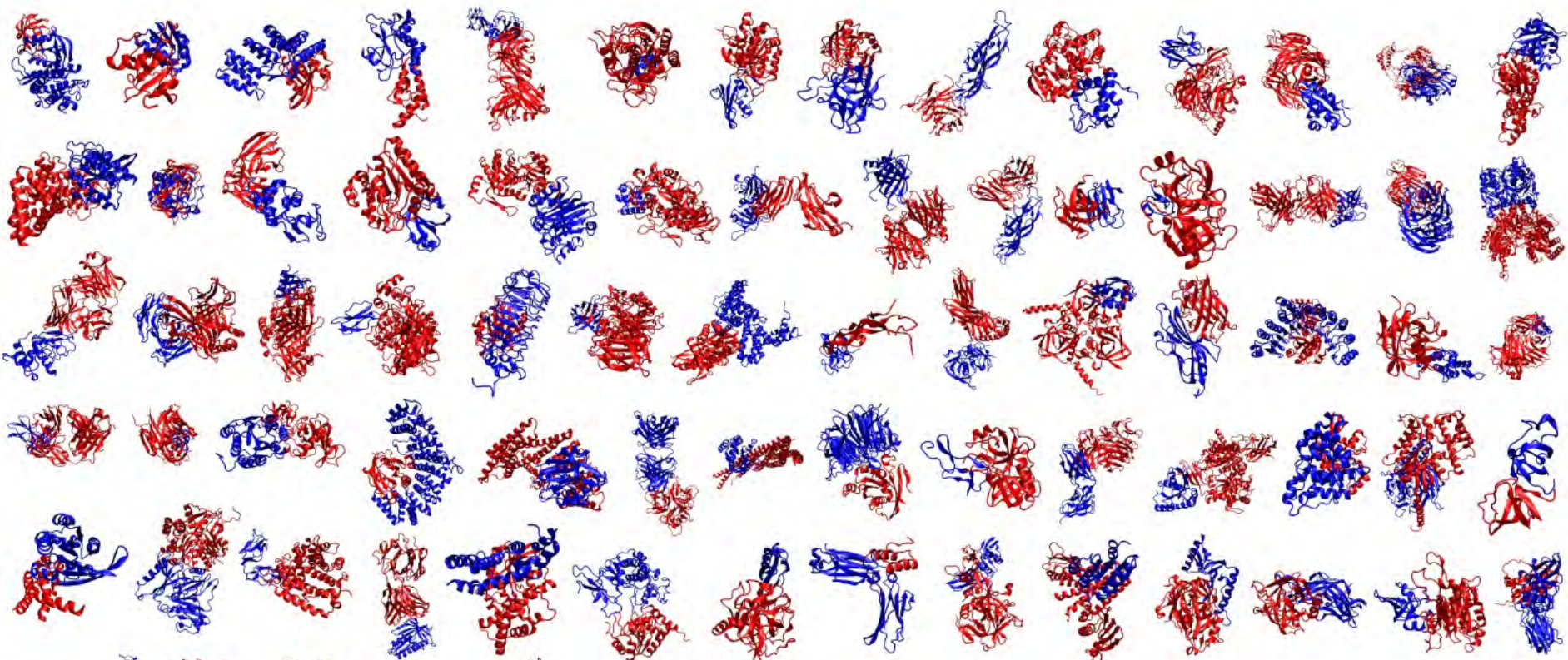
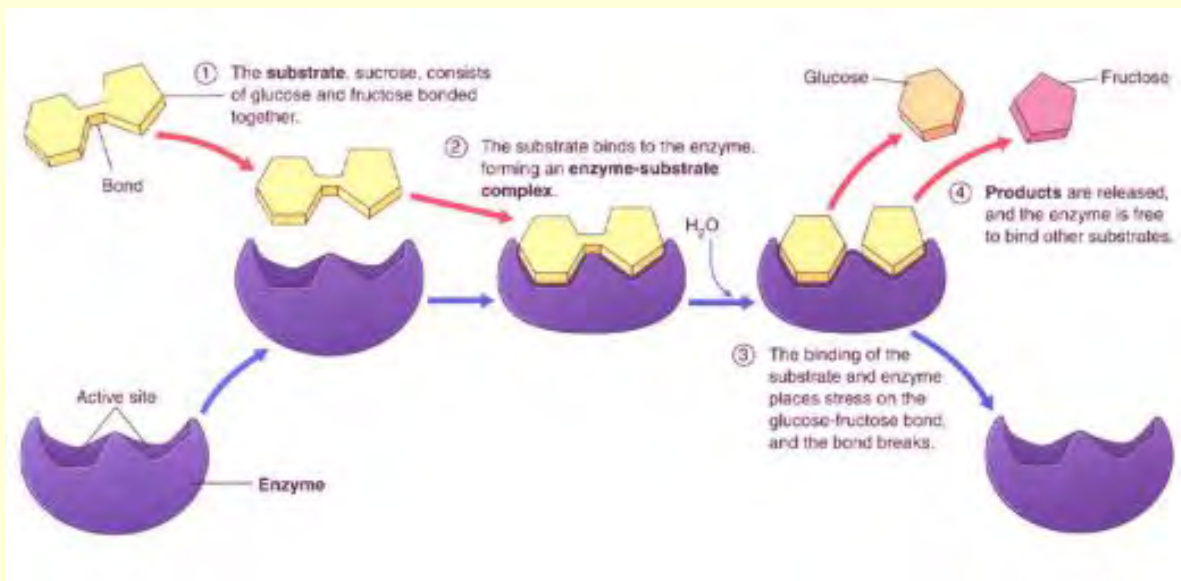
= des éléments qui entretiennent
des relations



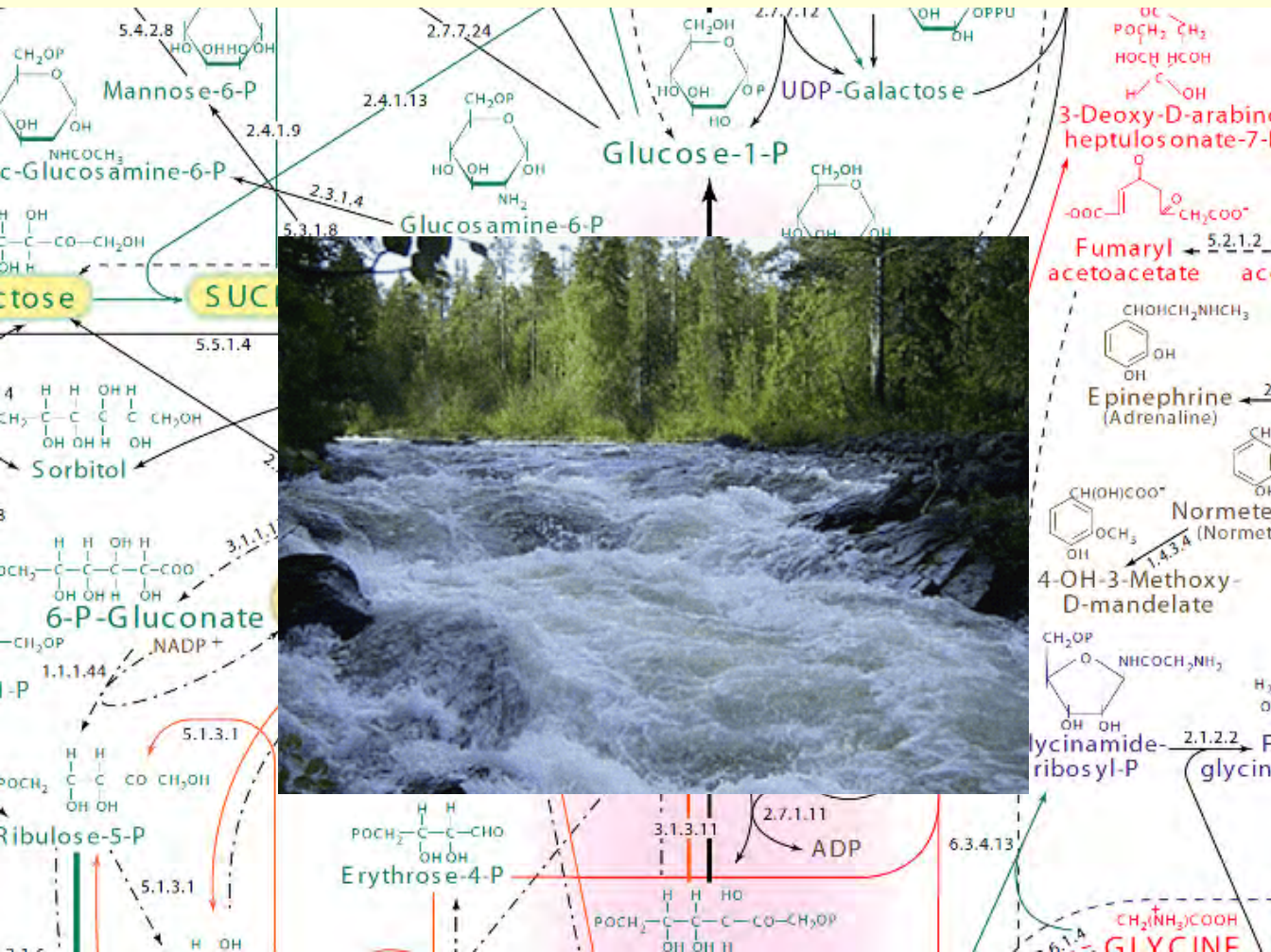
« un réseau complexe »... = cascades de réactions biochimiques dans une cellule

« un réseau complexe d'éléments »... : enzymes (protéines), ADN, etc.





« un réseau complexe d'éléments »... : enzymes (protéines), ADN, etc.



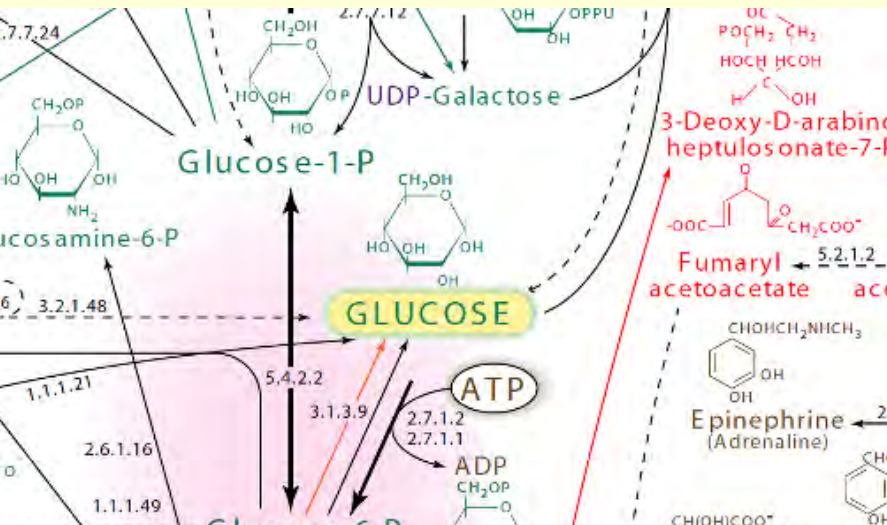
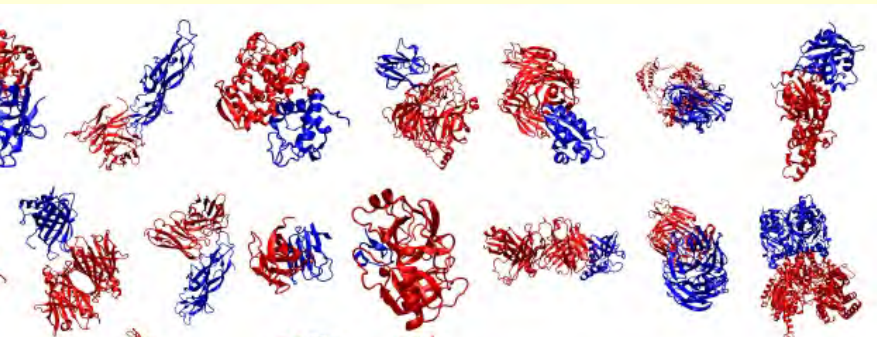
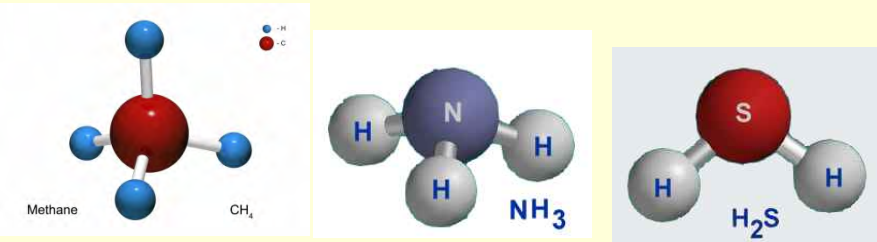
..qui régénèrent constamment, par leurs interactions et transformations, le réseau qui les a produits.

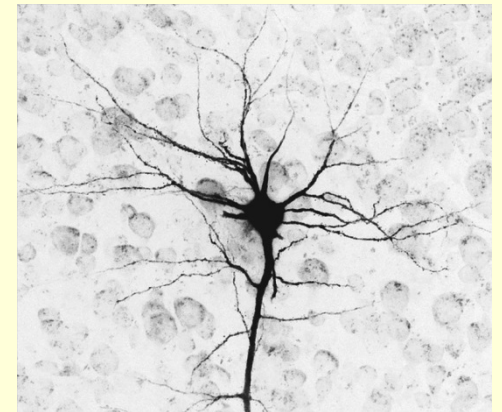
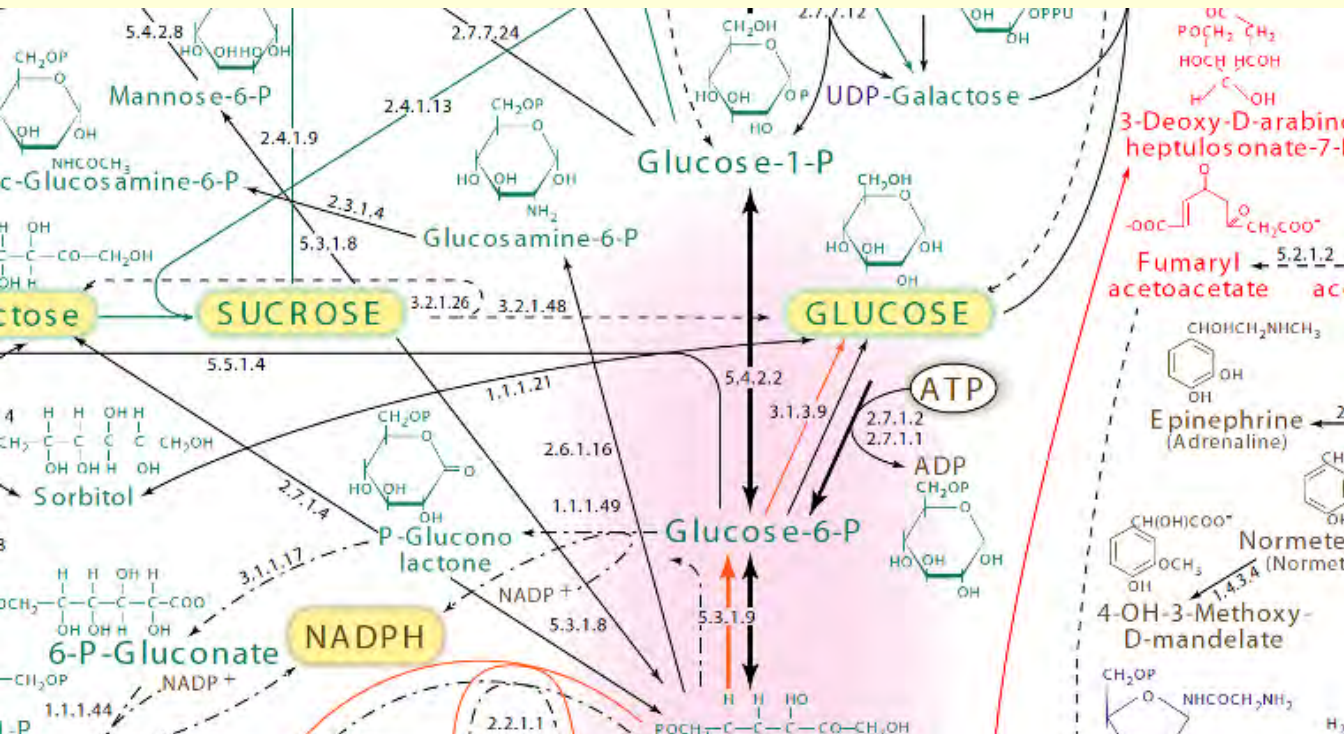
Donc il faut ajouter à :

- l'étude de la **matière** : de quoi c'est fait ?

- l'étude de la **forme** : quel est le pattern ?

- l'étude des processus **dynamiques** : comment ces formes changent dans le temps ?





« Pas de métabolisme, pas de cellules.
 Pas de cellules, pas de neurones.
 Pas de neurones, pas de cerveaux.
 Pas de cerveaux, pas d'humains ! »

Car encore aujourd'hui,
 chaque cellule de
 votre cerveau
 a un tel métabolisme.



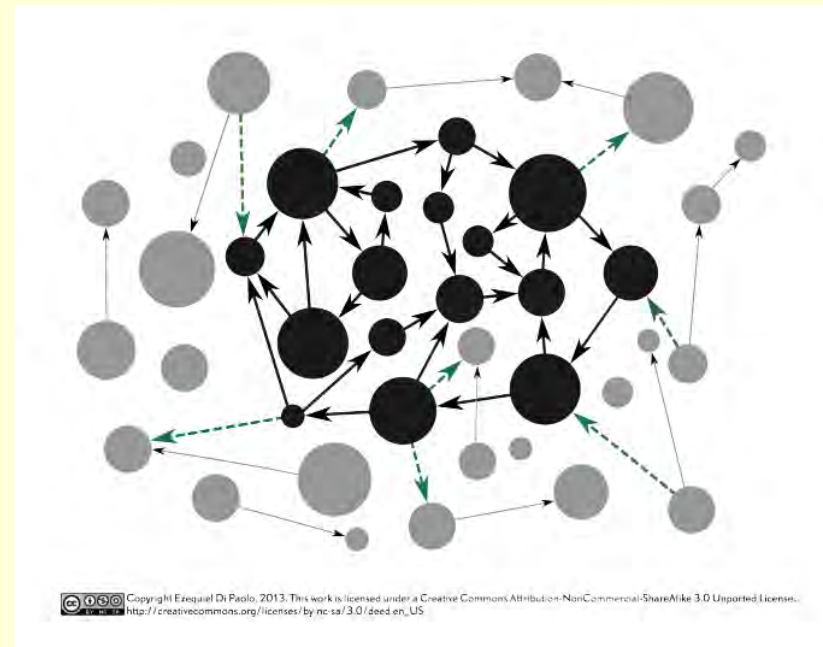
L'un des intervenants des **LabOrigins** rappelait qu'à peu près tous nos atomes se sont renouvelés depuis notre naissance, même dans nos neurones, mais que **la structure, elle, reste et se transforme** puisque nos connaissances et notre vision du monde évoluent.

<http://laborigins.com/>

<https://www.youtube.com/channel/UCdK-Vq3bBGg1h0QRN-Nt3NQ>

The defining characteristic of an autopoietic system is that it **undergoes continual structural changes** while **preserving its web-like pattern of organization**.

The components of the network continually produce and transform one another, and they do so in **two** distinct ways.



1) self-renewal

Every living organism **continually renews itself**, as its cells break down and build up structures, and its tissues and organs replace their cells in continual cycles.

In spite of this ongoing change, the organism maintains its overall identity or **pattern of organization**.

2) changes that creates new structures – new connections in the network.

These changes, developmental rather than cyclical, also take place continually,

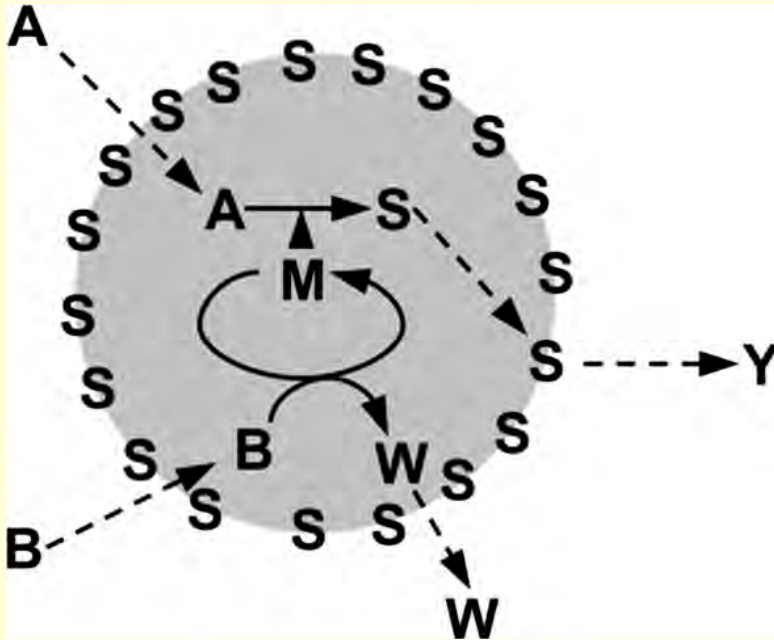
either as a result of the system's internal dynamics

[Living systems are autonomous – environment only triggers the structural changes; it does not specify or direct them.]

or as a consequence of environmental influences

[these changes will in turn alter its future response [...]

this process – a modification of behavior on the basis of previous experience – is what we mean by **learning**.]



<http://www.humphath.com/spip.php?article17459>

Toute cellule est donc un **système ouvert** (du point de vue thermodynamique), qui :

- construit sa propre **frontière** et tous ses **composants internes**, qui vont eux-mêmes engendrer les processus qui produisent tous les composants, etc.
- a besoin de nutriments
- rejette des déchets

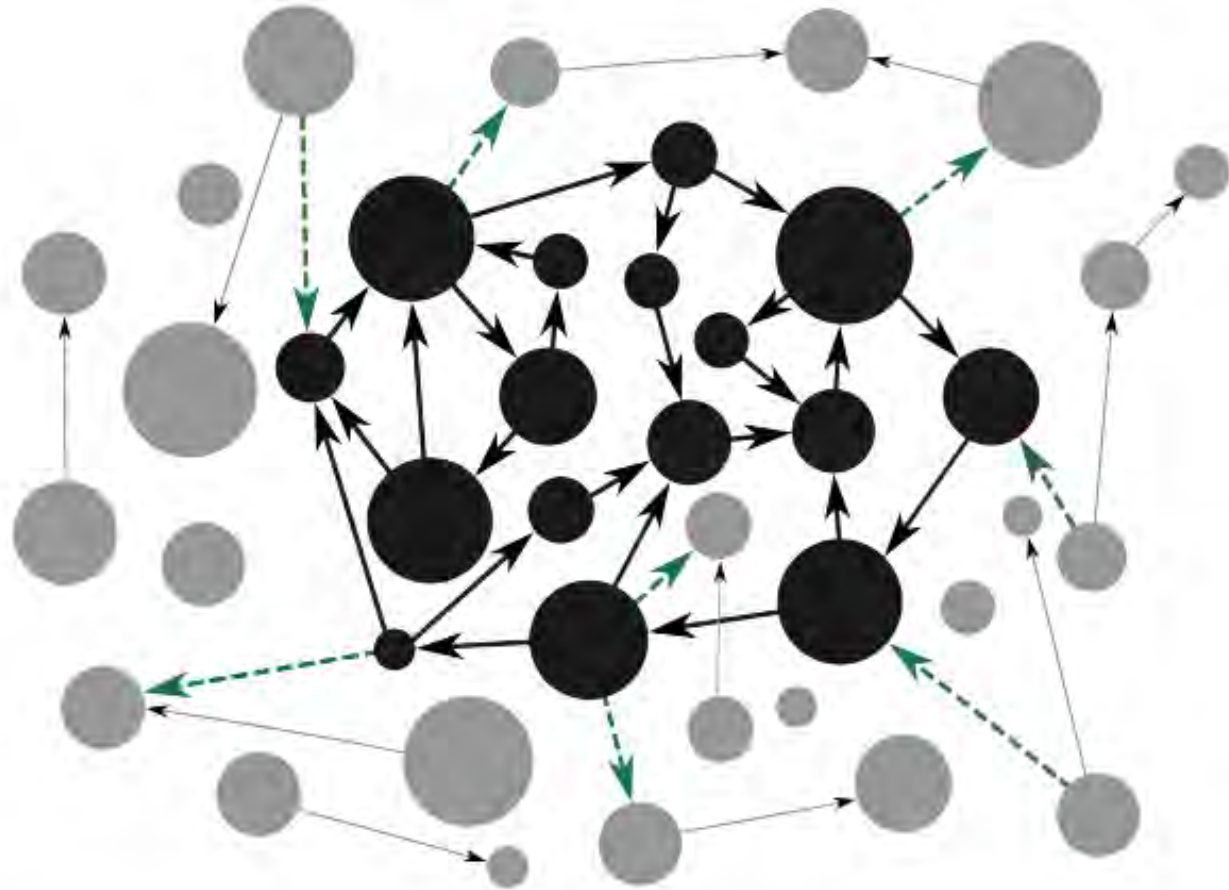
(mais le système est **fermé** du point de vue **opérationnel**)

Varela parle de
« **clôture
opérationnelle** »,
des systèmes vivants

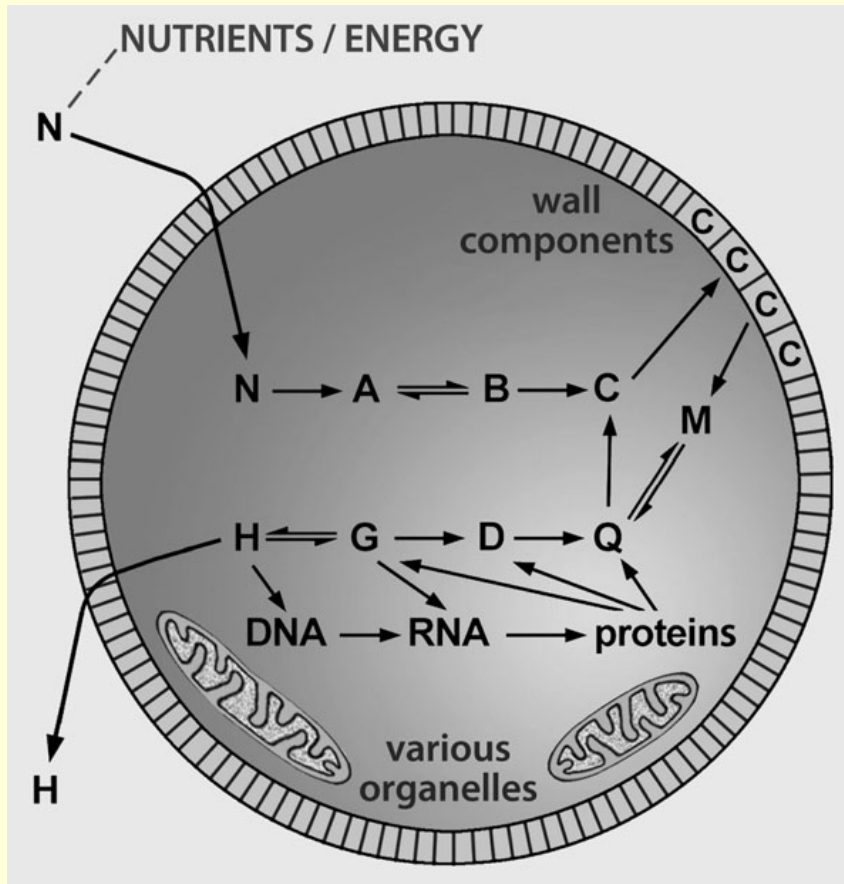
car elle ne se confond
évidemment pas avec
une paroi étanche.

En noir : une cellule

(des molécules se
fixent sur sa
membrane, des ions
traverse cette
membrane, etc.)



Copyright Ezequiel Di Paolo, 2013. This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 3.0 Unported License.
http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/deed.en_US



Il n'y a pas d'endroit particulier qui pourrait être associé à un "centre de la vie" à l'intérieur de la cellule (pas plus qu'il n'y a de "centre de" quoi que ce soit dans le cerveau...)

Car la vie n'est pas localisée.

C'est une propriété globale qui **émerge des interactions collectives du réseau** des composants moléculaires qui forment la cellule.

La vie est une propriété émergente qui n'est pas présente dans les parties mais dans le tout que forment ces parties.

"Le tout est plus que la somme de ses parties."

Exemple de propriétés émergentes en chimie



+



=

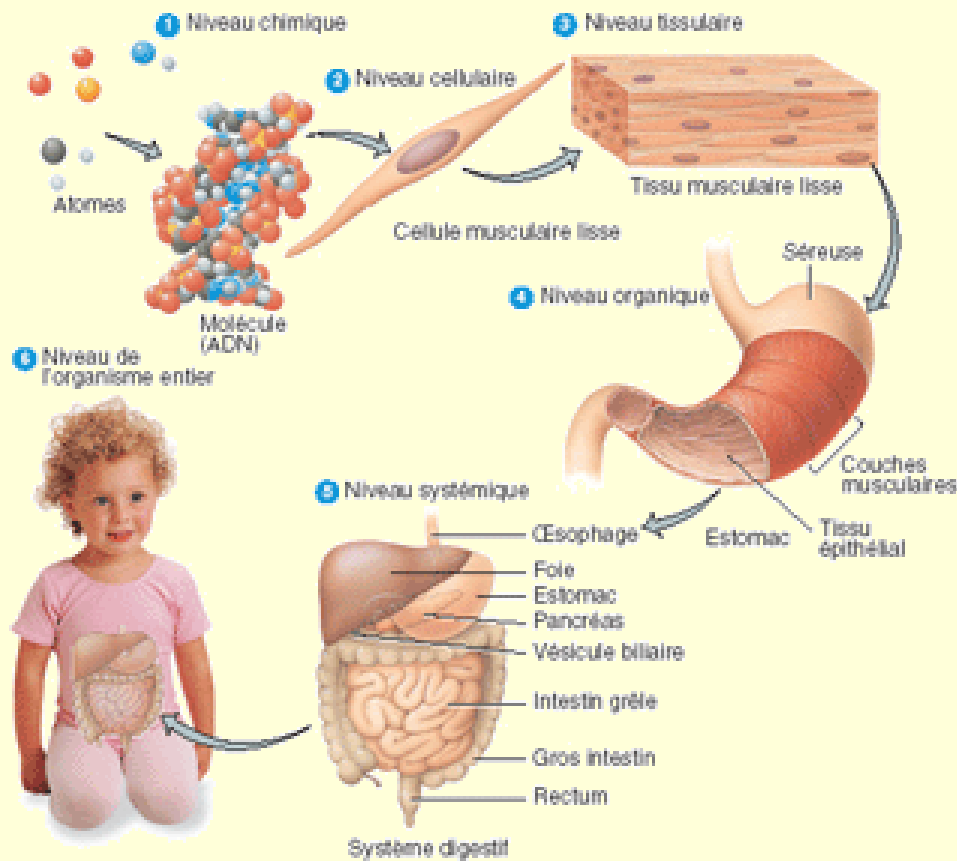


Sodium (Na)
(métal hautement inflammable)

Chlore (Cl)
(gaz très toxique)

Chlorure de sodium (NaCl)
(sel de table,
parfaitement comestible)

Organisation structurale du corps humain (Figure 1.1)



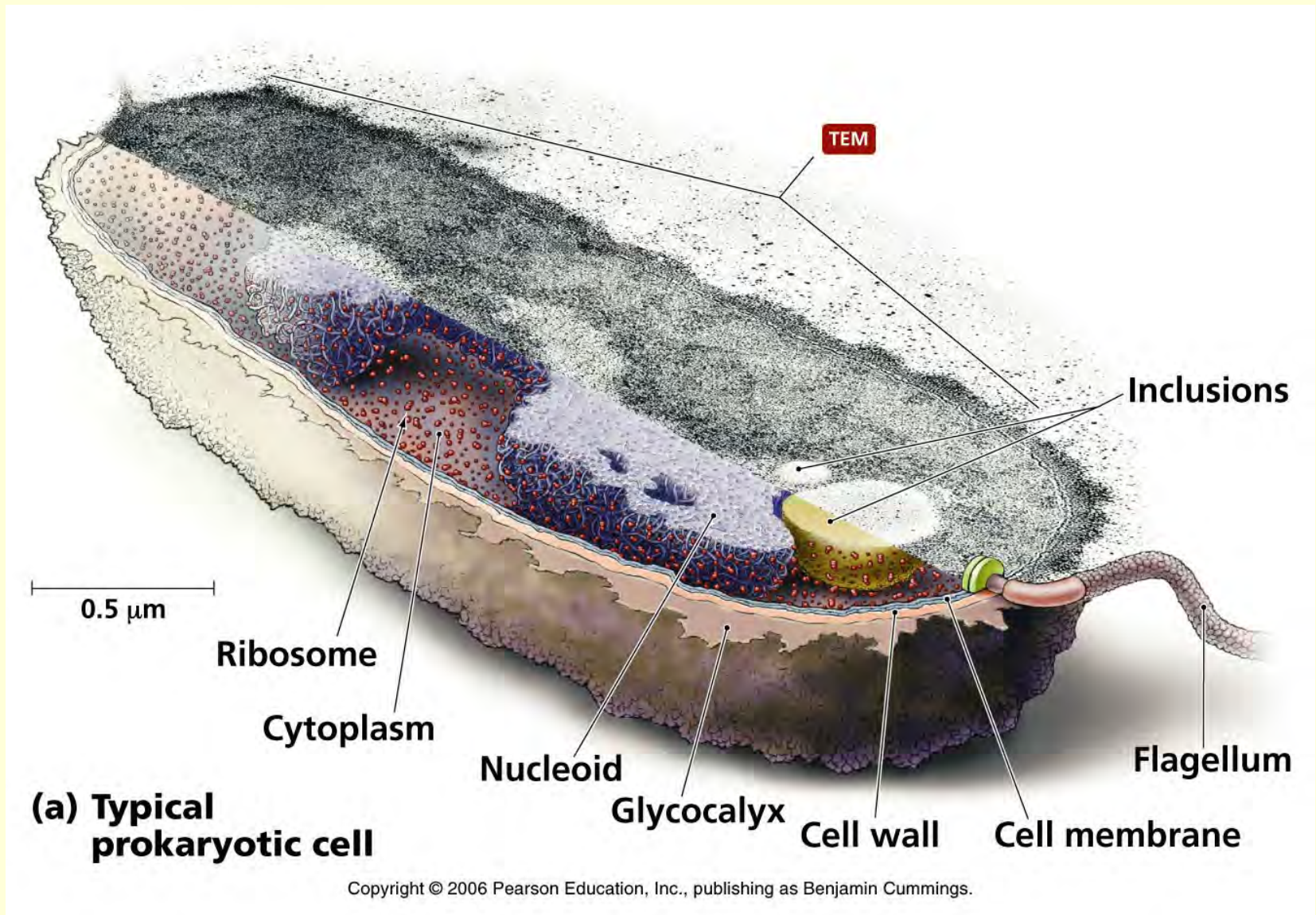
Et s'il est vrai que la biologie se construit à partir de la chimie,

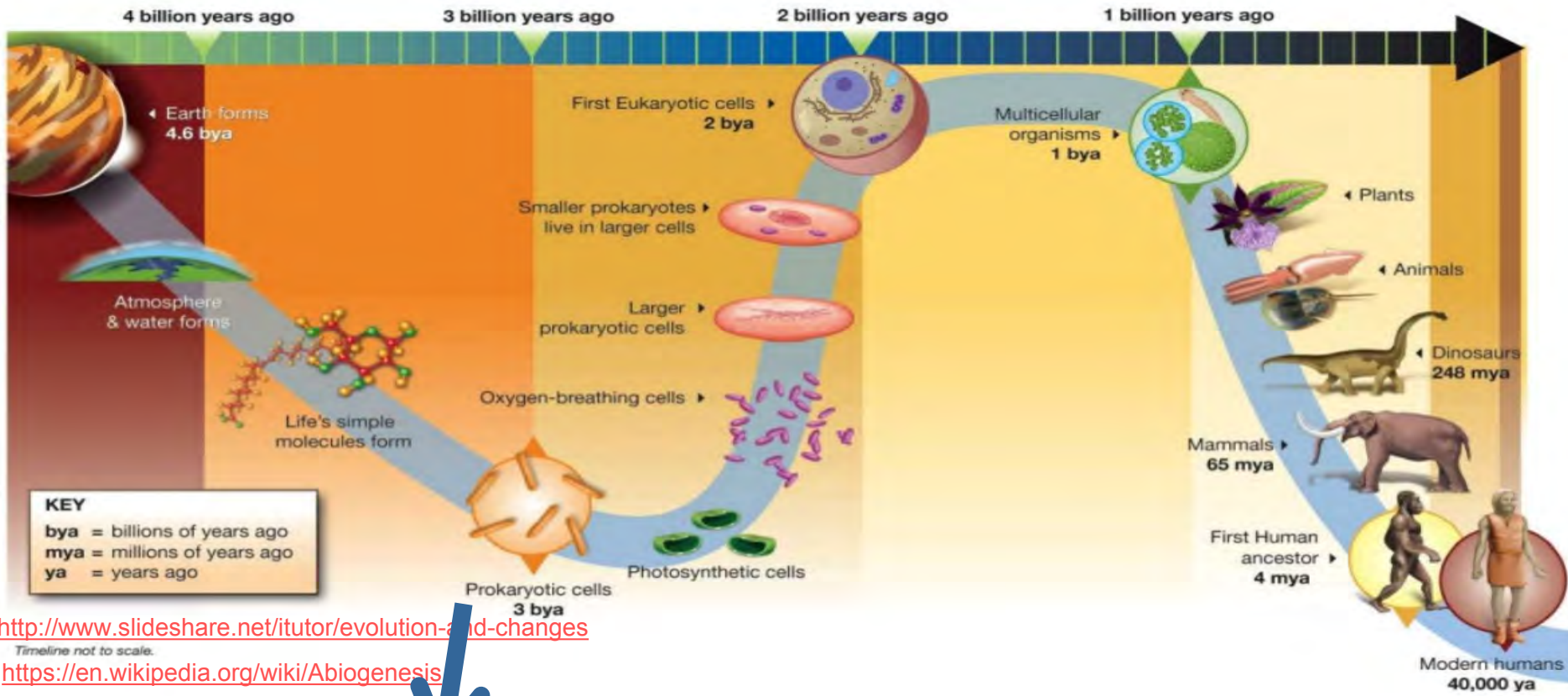
l'émergence du vivant en tant que **propriété** ne peut pas être réduit aux propriétés de ses constituants chimiques.

L'approche **réductionniste** en science où l'on cherche à réduire le tout en ses parties n'est applicable que lorsqu'on parle de **ce qui compose** la structure du vivant.

Et non des propriétés (issues de la forme de ses réseaux).

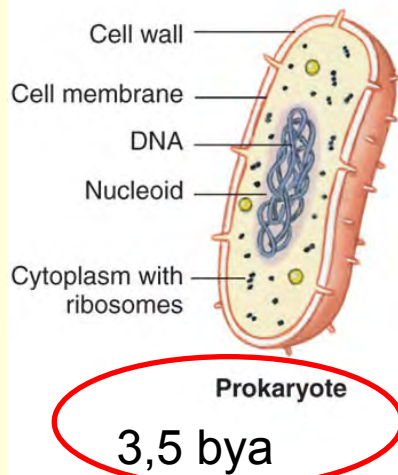
Les premières cellules vivante sont déjà infiniment complexes !

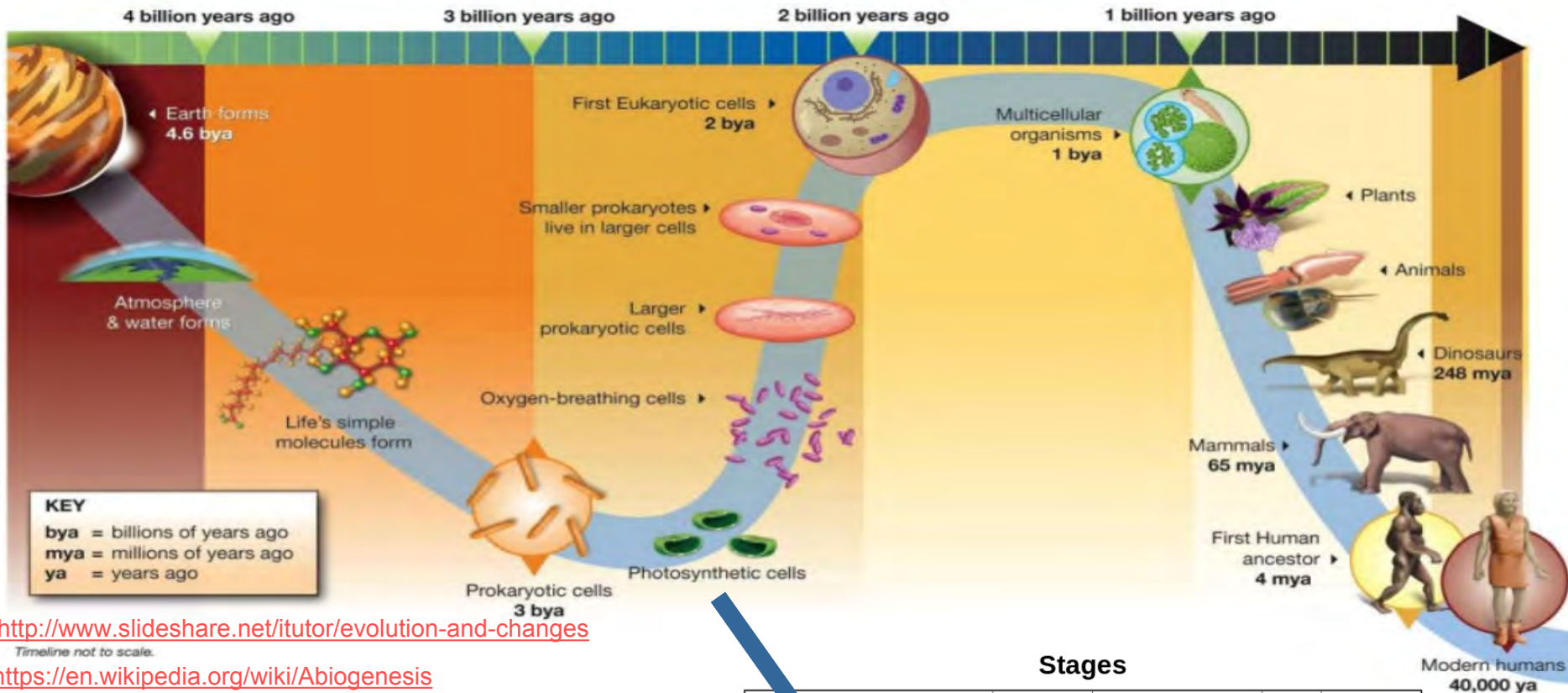




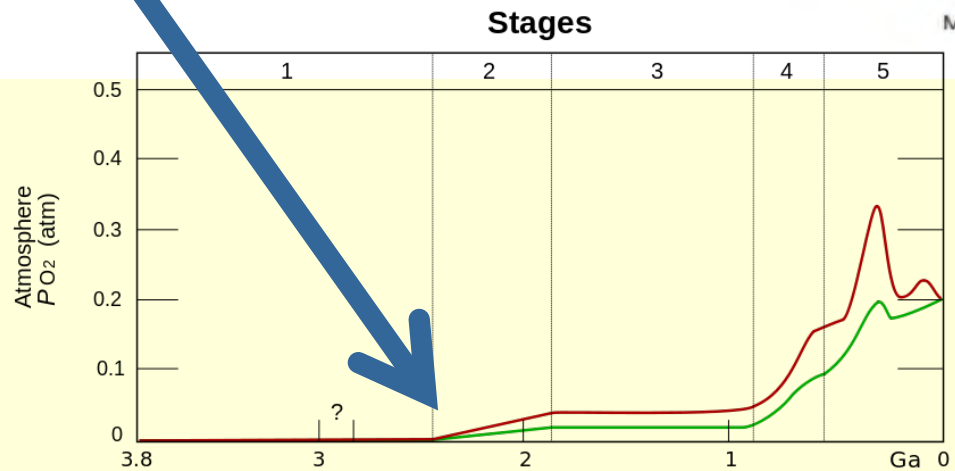
<http://www.slideshare.net/itutor/evolution-and-changes>

<https://en.wikipedia.org/wiki/Abiogenesis>



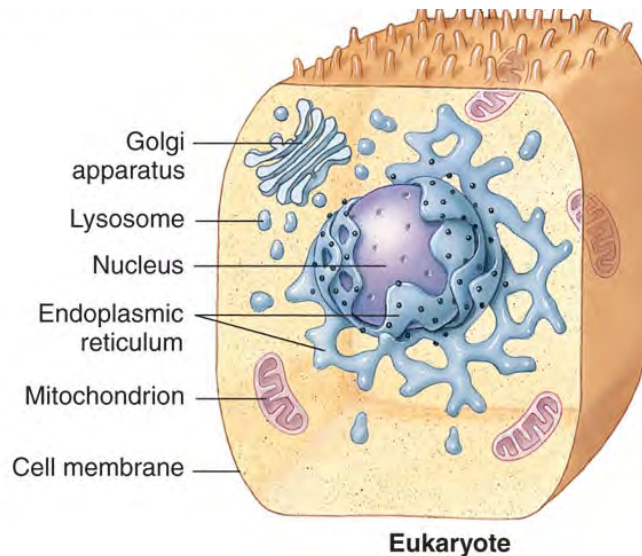
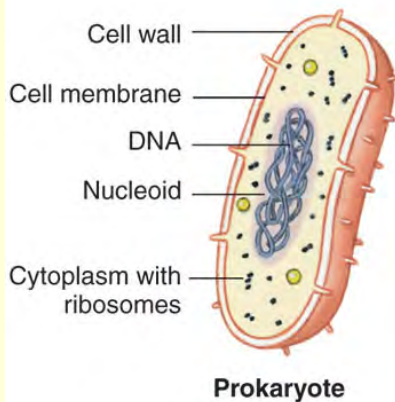
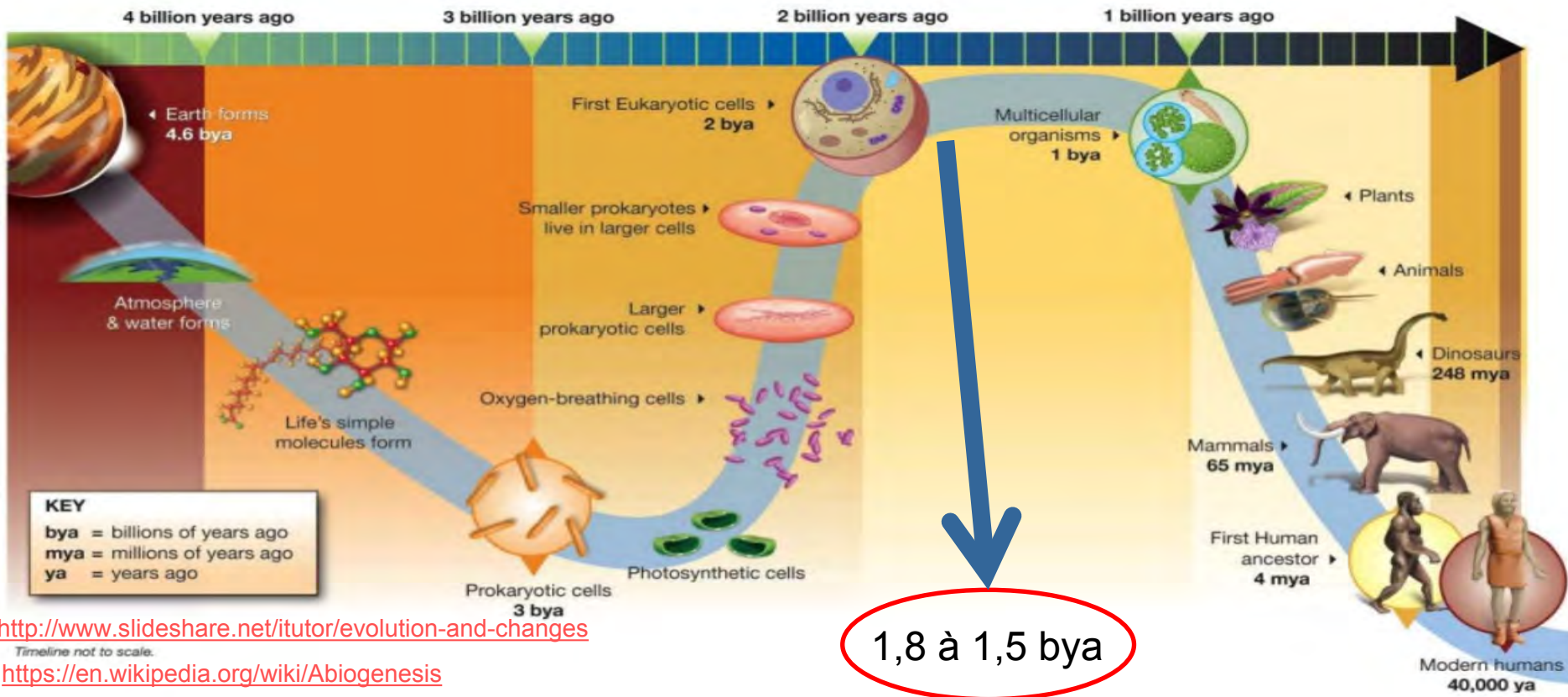


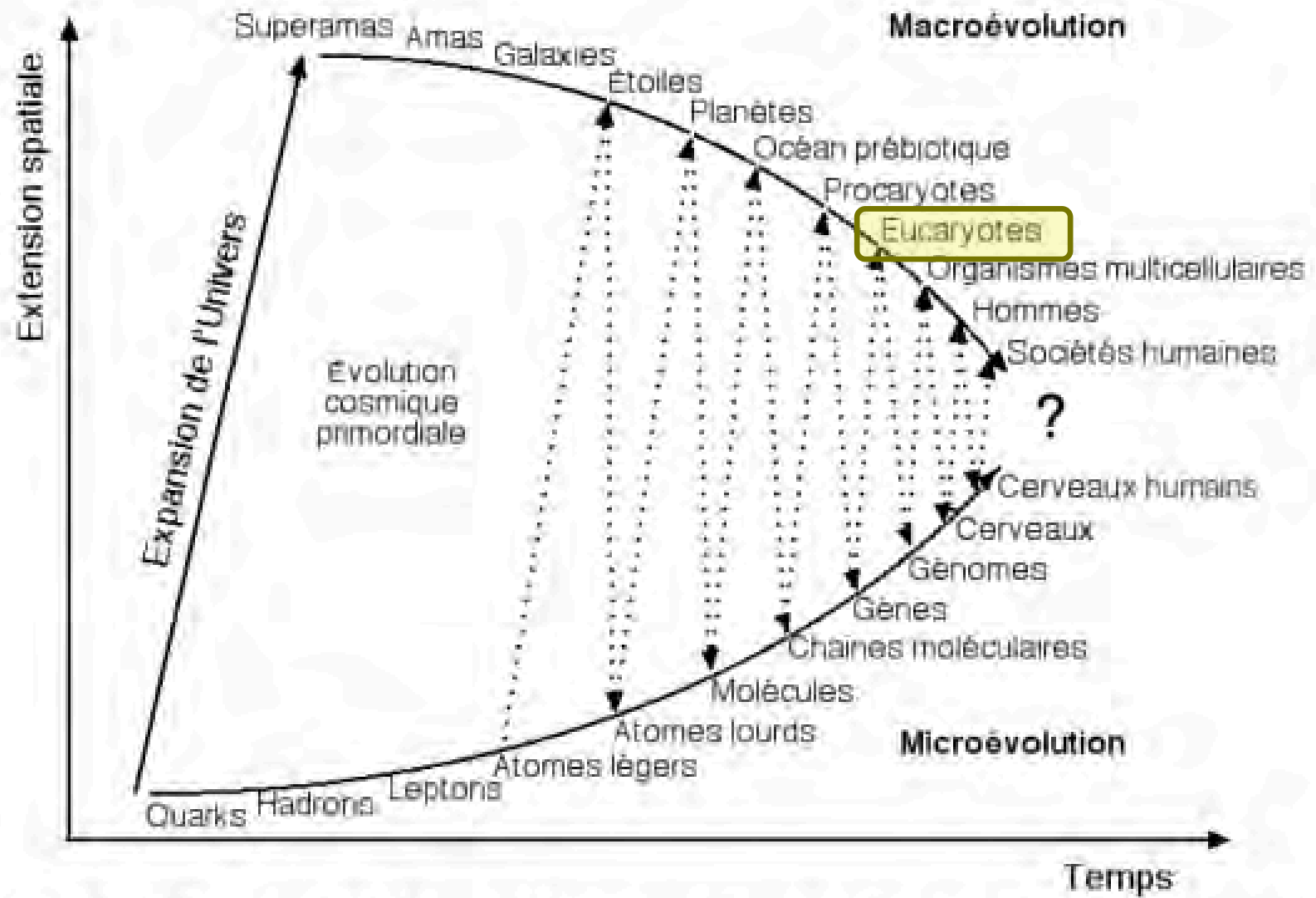
Vers -2,4 milliards d'années, grâce aux cyanobactéries photosynthétiques anaérobies, l'oxygène va commencer à se répandre dans l'océan et dans l'atmosphère.



Évolution de la concentration en dioxygène de l'atmosphère terrestre. Limites haute en rouge et basse en vert¹.

Source : https://fr.wikipedia.org/wiki/Grande_Oxydation



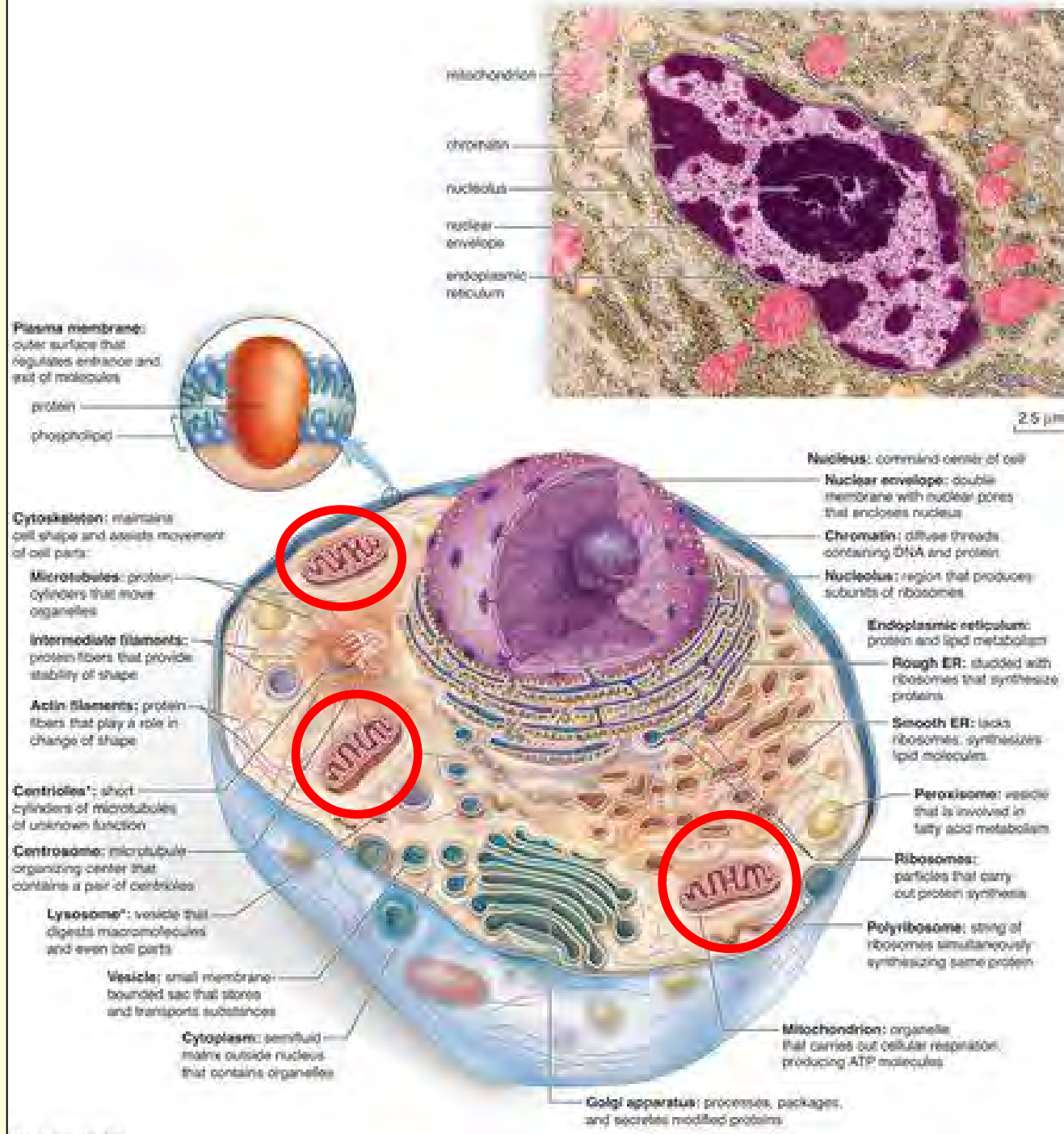


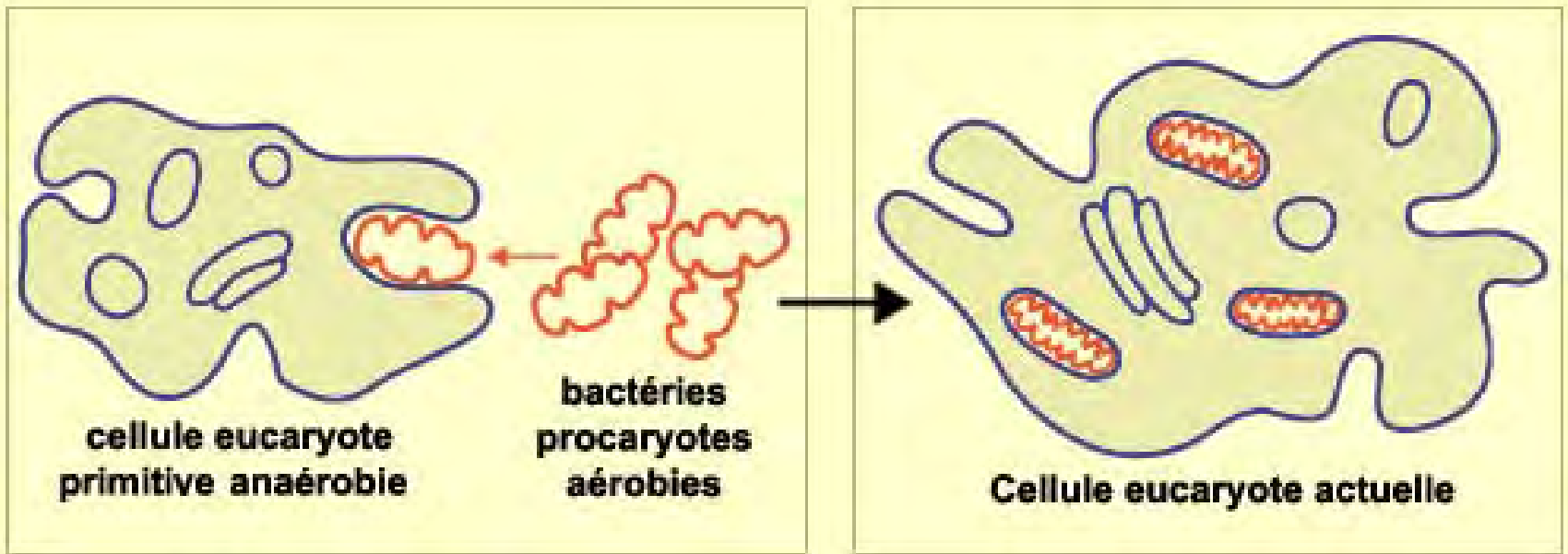
D'après Erich Jantsch, *The self-organizing universe*, Pergamon, 1980.

Les réseaux complexes se « compartimentalisent »

Dans le **noyau**, où se retrouve l'ADN.

Mais aussi dans différents compartiments, dont un très important, les **mitochondries**.





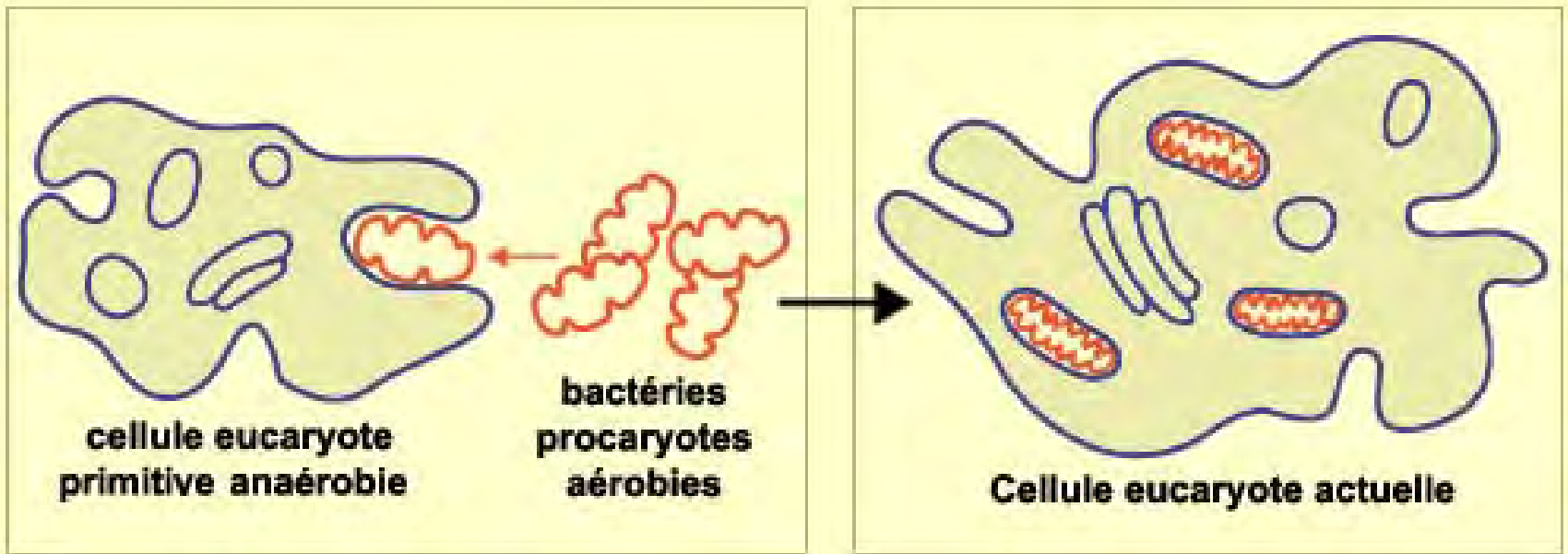
Avant, avec seulement la glycolyse : le **glucose** sera transformé en absence d'oxygène, en alcool éthylique qui sert d'accepteur interne pour les électrons.

Bilan énergétique :
2 ATP

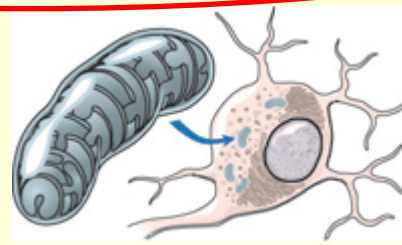
Avec la mitochondrie, la molécule d'oxygène est utilisée comme accepteur final d'électrons et permet une oxydation complète de la molécule de glucose qui sera complètement transformée en CO_2 et H_2O .

Bilan énergétique : 38 ATP,

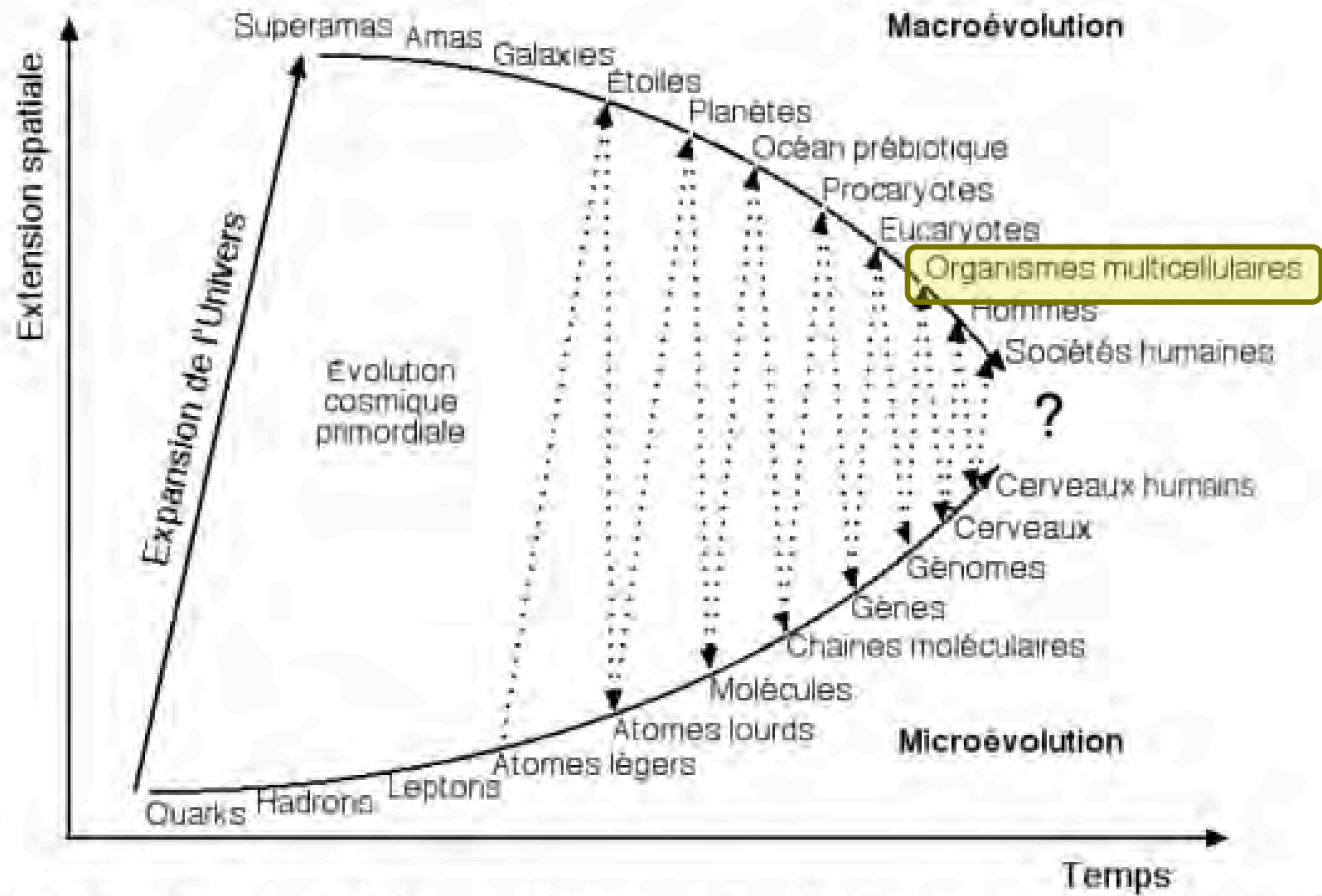
soit 19 fois plus que la glycolyse !



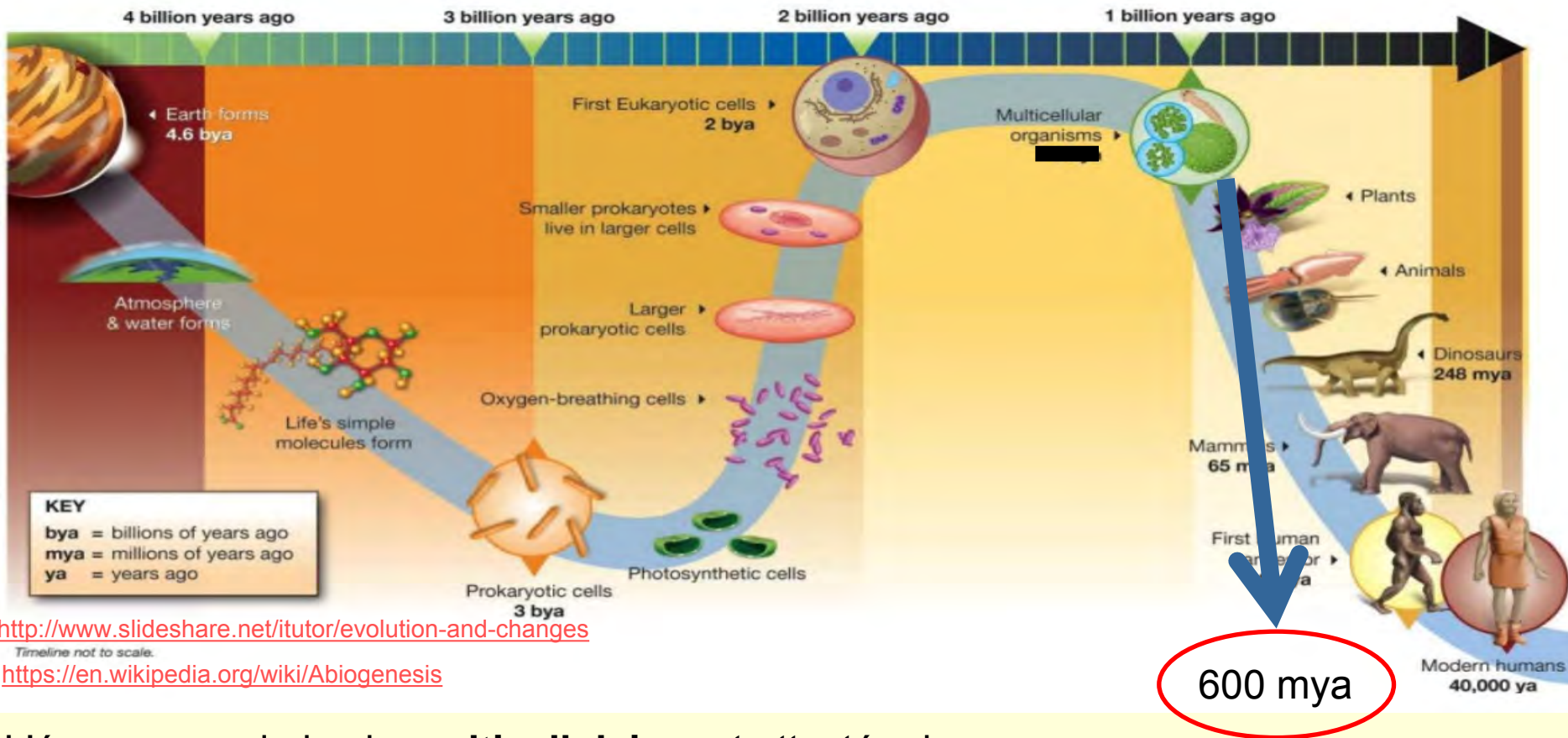
« Pas de relation **symbiotique** cellules eucaryotes - bactéries aérobies (une forme de coopération), pas de neurones si énergivores.
Pas de neurones, pas de cerveaux.
Pas de cerveaux, pas d'humains ! »



Car encore aujourd'hui, chaque cellule de votre cerveau possède des mitochondries.



D'après Erich Jantsch, *The self-organizing universe*, Pergamon, 1980.

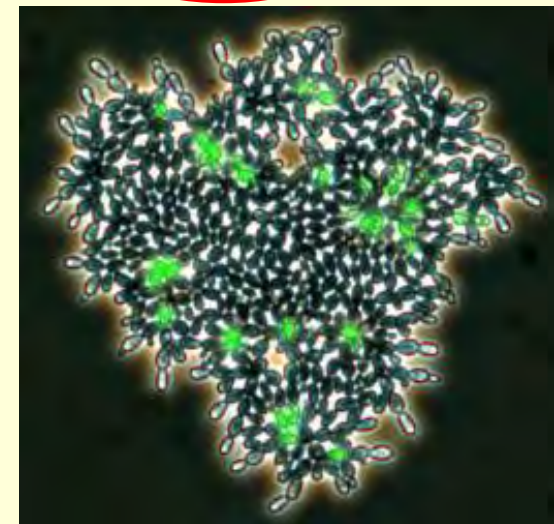


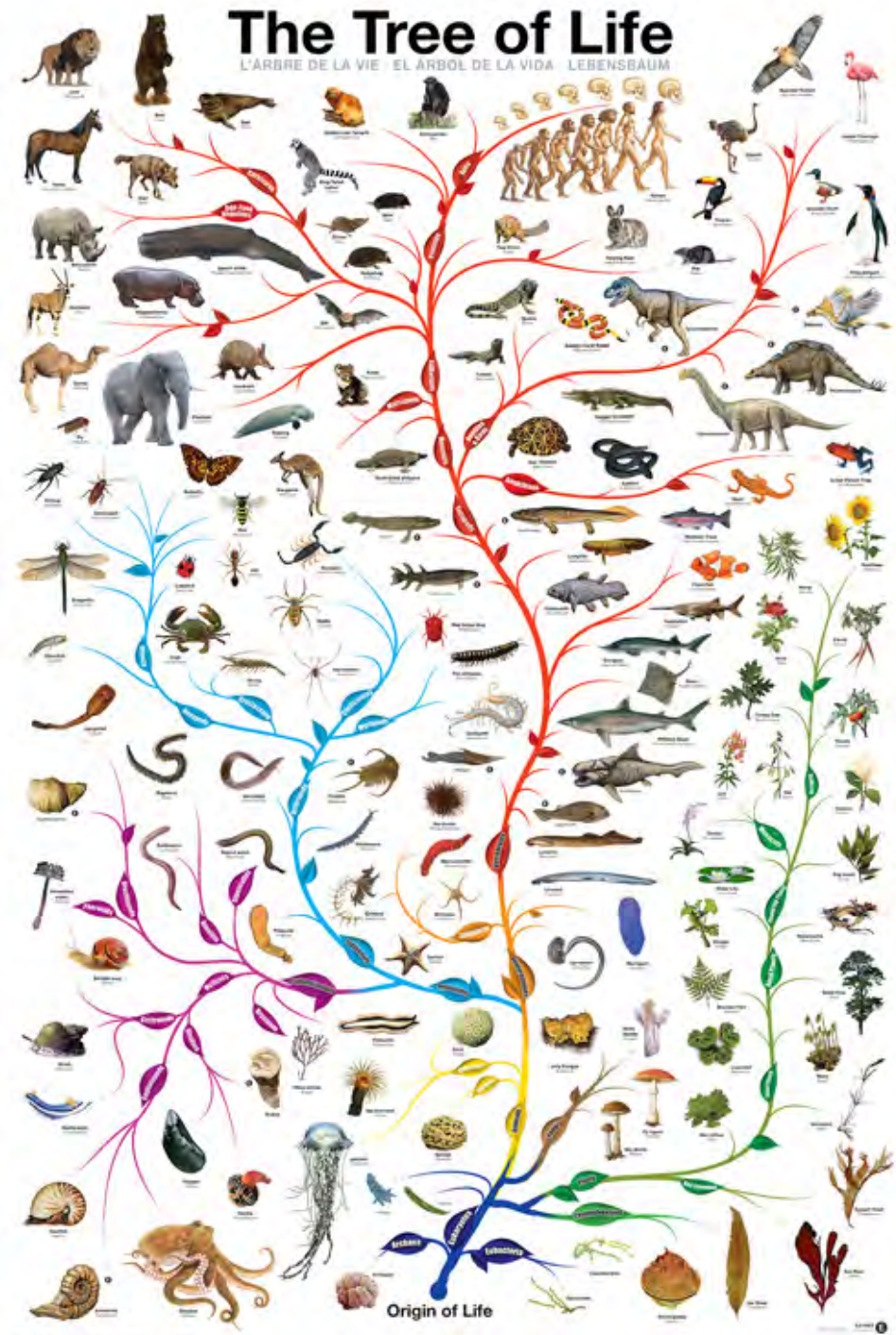
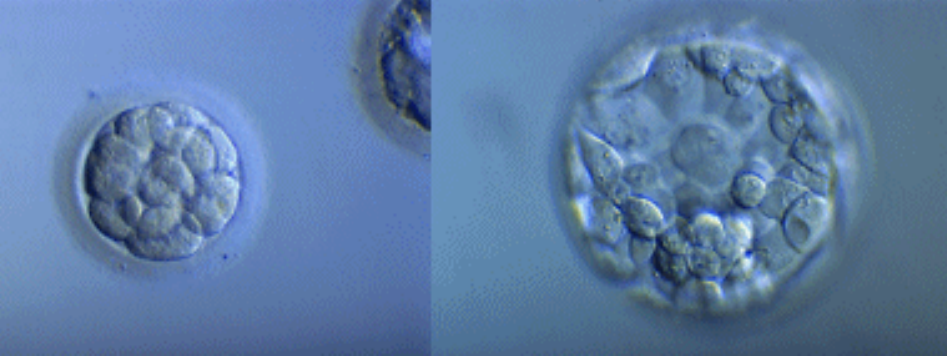
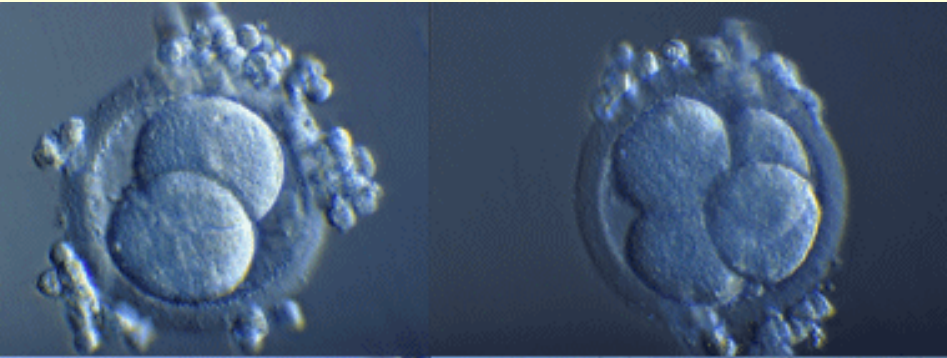
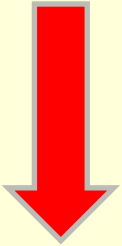
L'émergence de la vie **multicellulaire** est attestée dans des roches datées de 2,1 milliards d'années, mais cette forme de vie disparaît par la suite lors de la « catastrophe de l'oxygène » (avec grande glaciation...).

Elle réapparaît véritablement il y a un peu plus de 600 millions d'années.

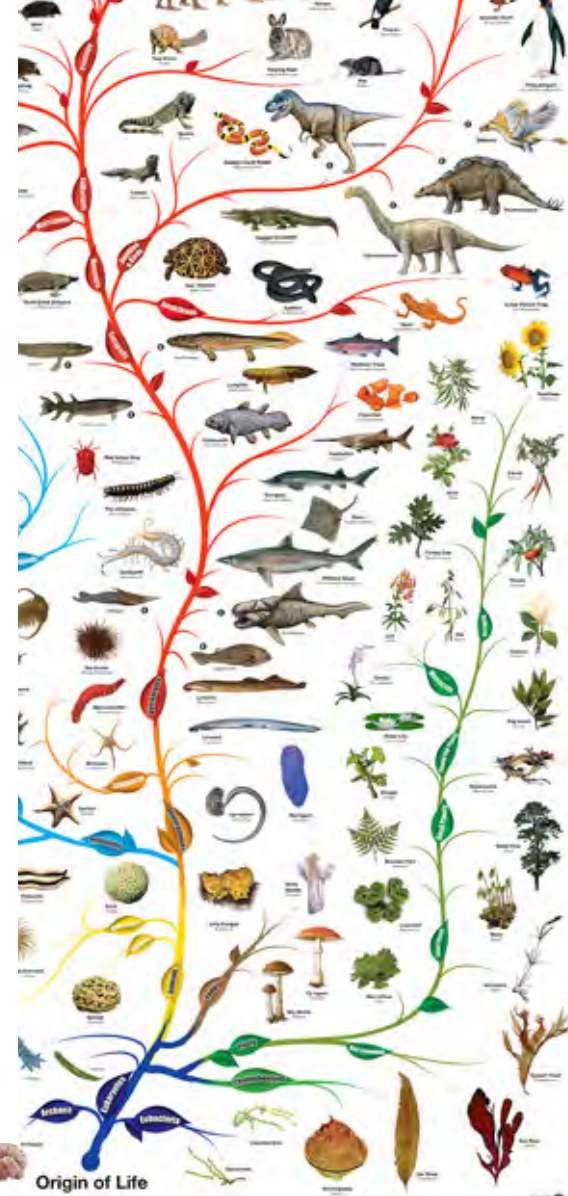
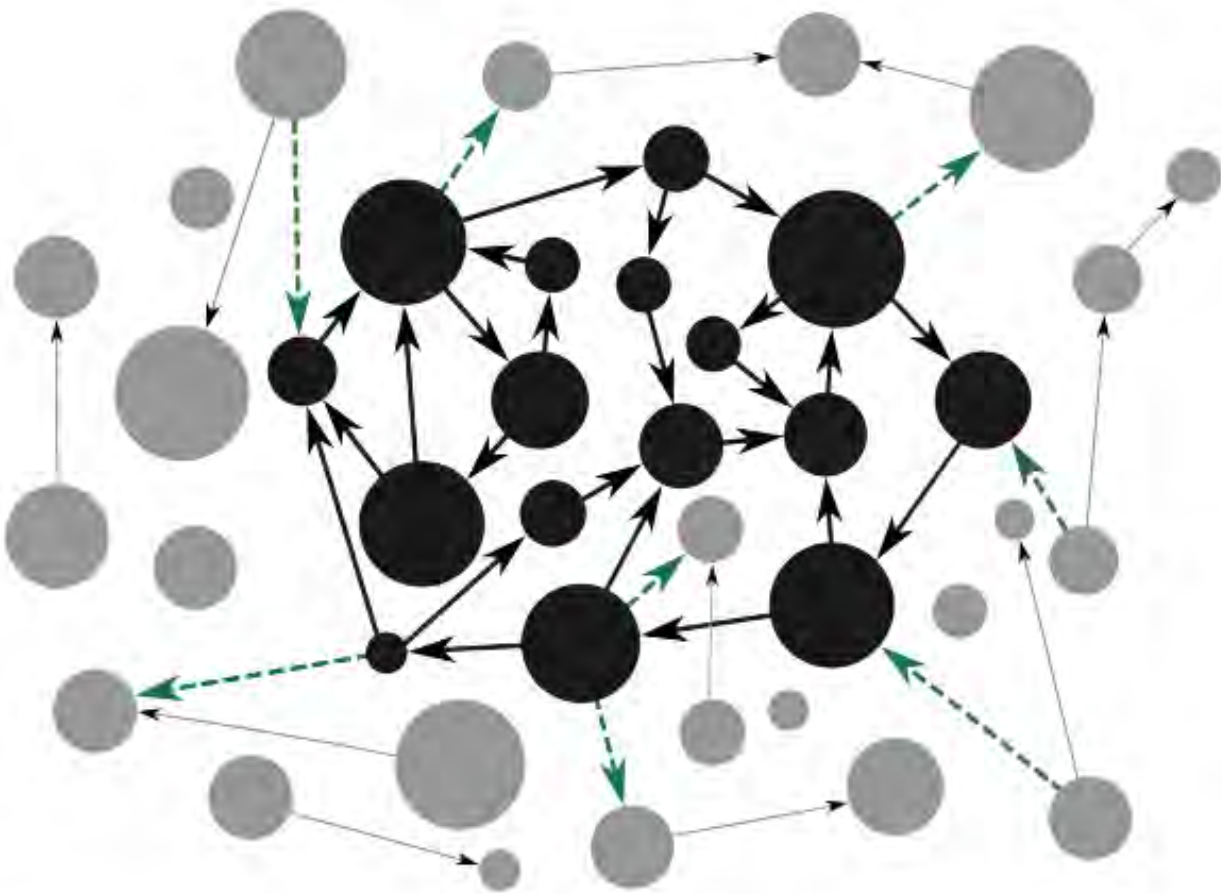
Des multicellulaires auraient évolué au moins 25 fois à partir d'ancêtres unicellulaires au cours de l'évolution.

https://fr.wikipedia.org/wiki/%C3%89volution_de_la_multicellularit%C3%A9



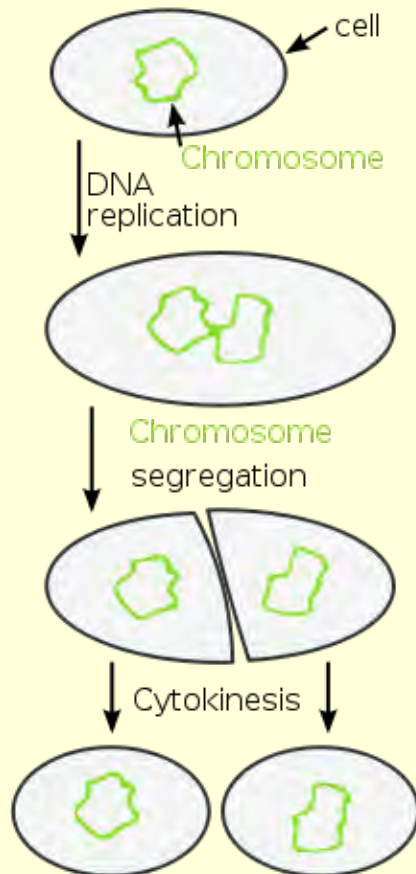


En noir : une cellule un organisme

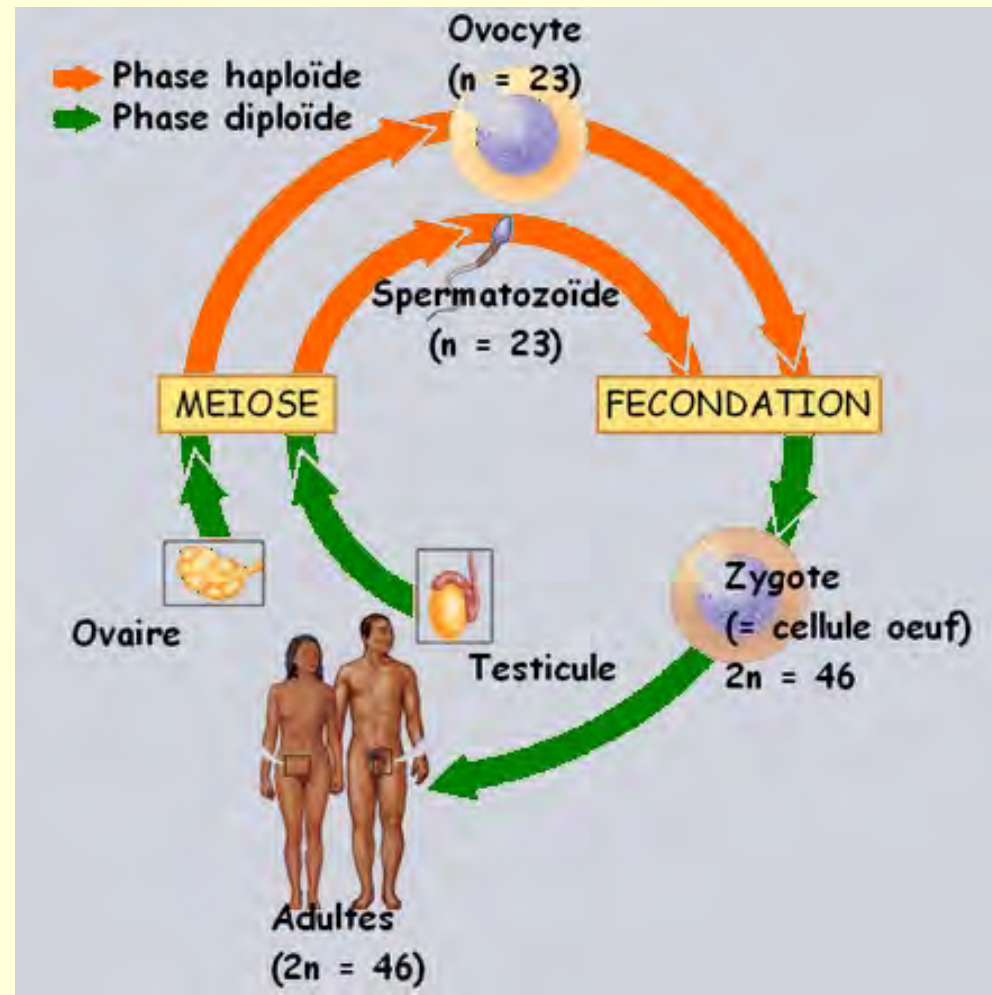


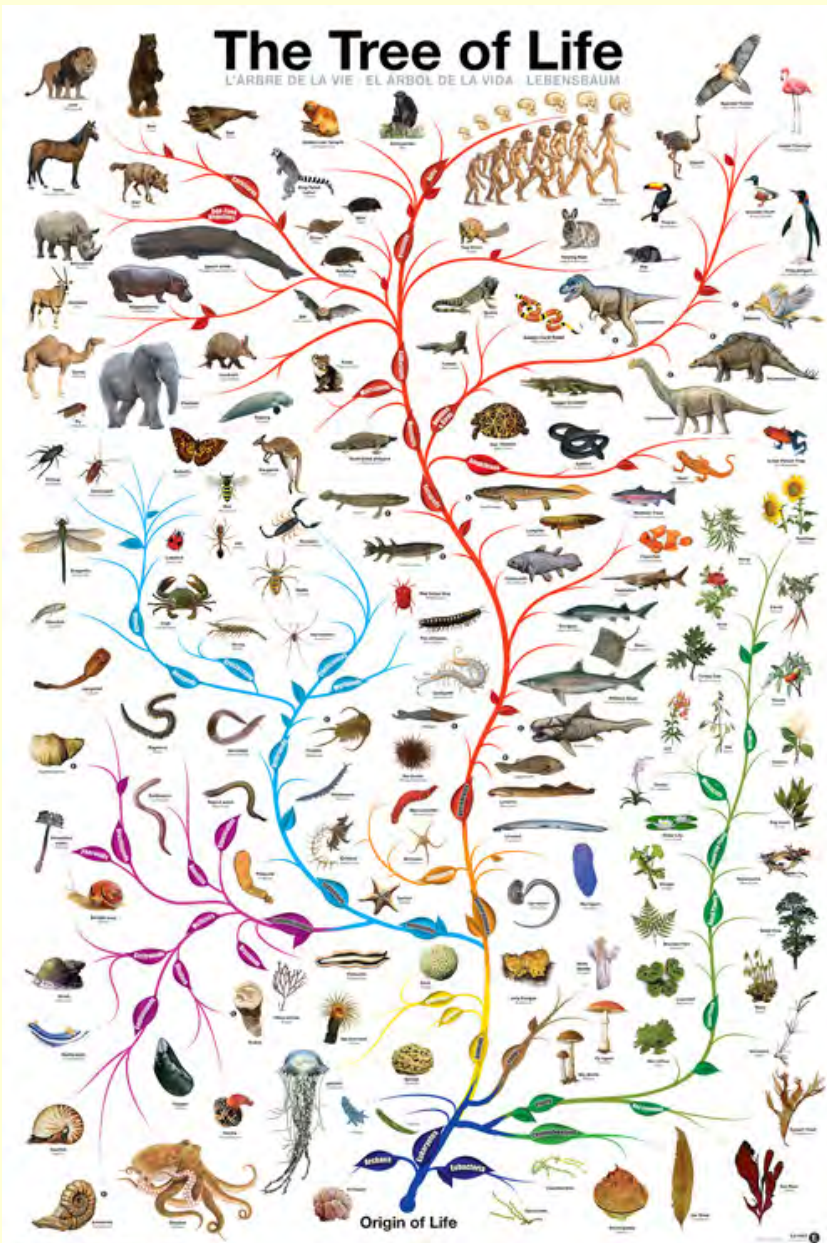
Autre étape importante : apparition de la **reproduction sexuée**, vraisemblablement avec les premiers eucaryotes.

Car avant : multiplication asexuée qui permet à **un** « parent » de se multiplier seul en faisant **deux copies identiques** de lui-même

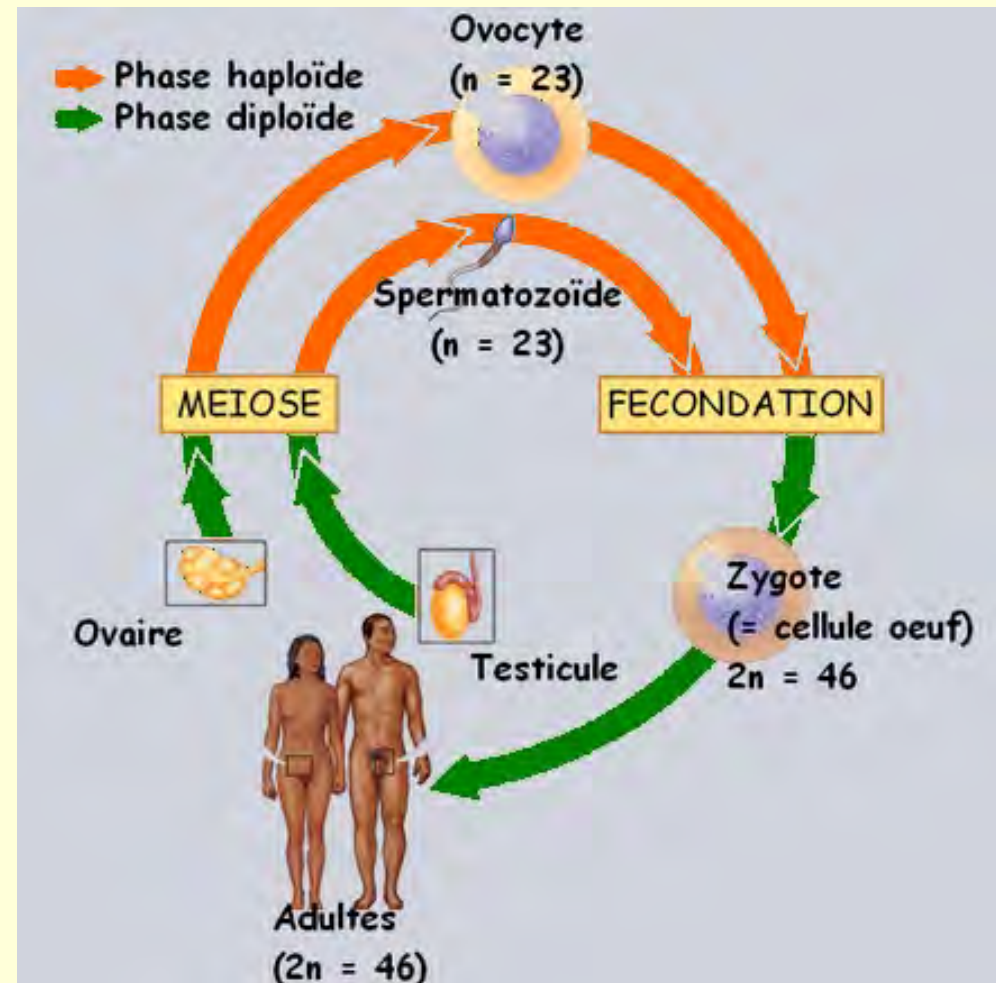


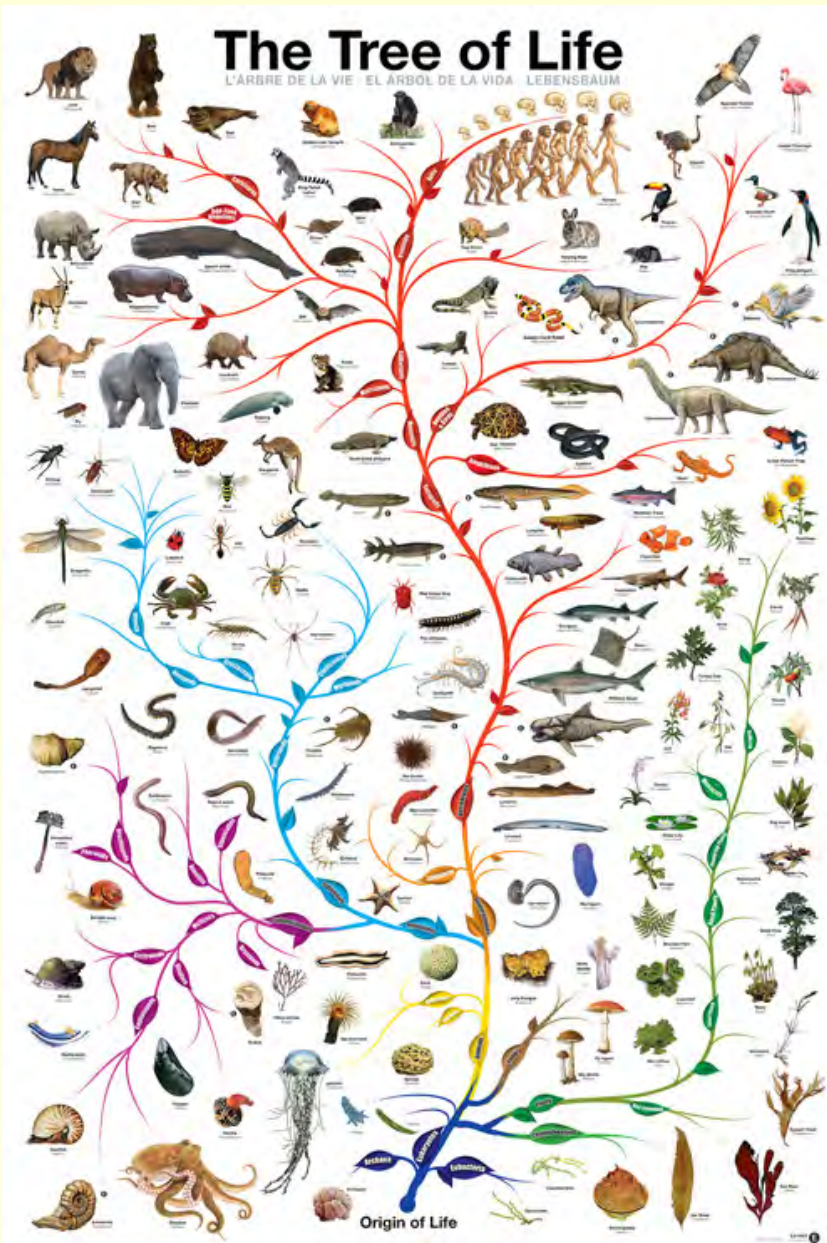
La sexualité : **deux** « parent » se mettent ensemble pour faire **un** individu toujours **différent** grâce au **brassage** du patrimoine génétique (crée beaucoup plus de **diversité**)





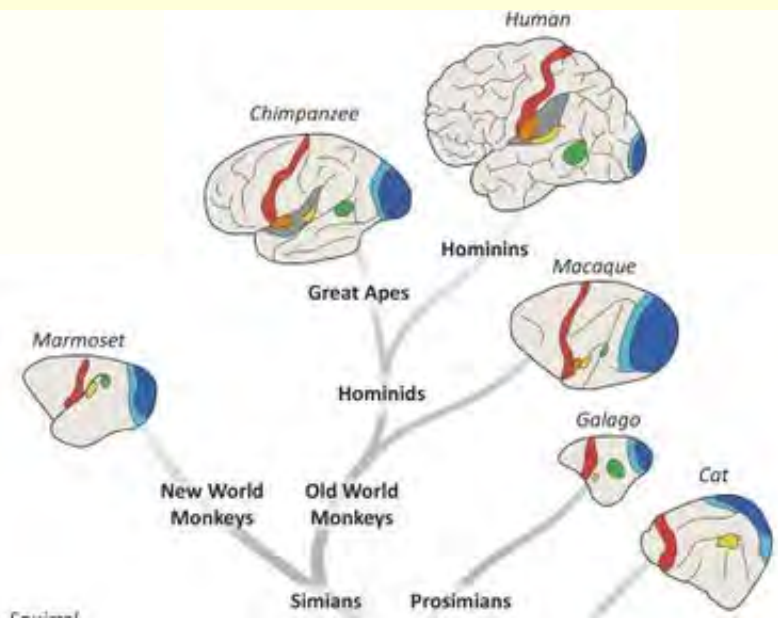
La sexualité : deux « parent » se mettent ensemble pour faire un individu toujours différent grâce au brassage du patrimoine génétique (crée beaucoup plus de **diversité**)



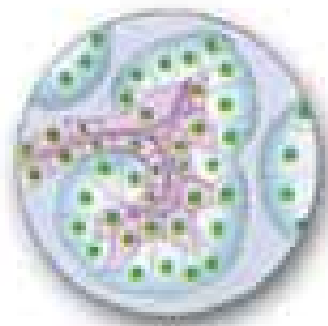


« Pas de sexualité, peu de diversité.
 Peu de diversité, peu d'évolution
 biologique. »

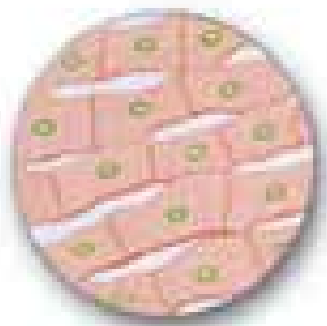
Peu d'évolution biologique,
 peu de chance de produire
 des cerveaux humains ! »



Chez les multicellulaires, on va aussi assister au phénomène de **spécialisation cellulaire**...



cellule
pancréatique



cellule
cardiaque



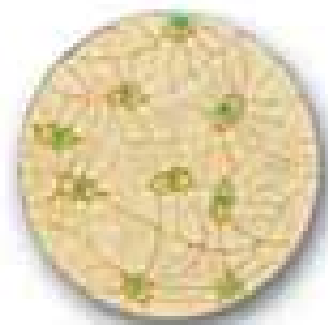
cellule
sanguine



cellule
pulmonaire



ovule



cellule
osseuse



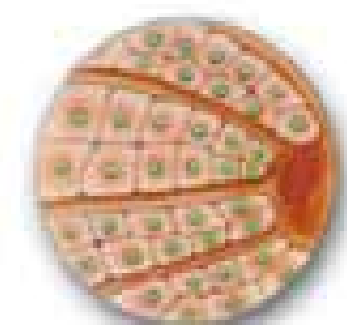
cellule
de la rate



cellule
musculaire



cellule
du cerveau

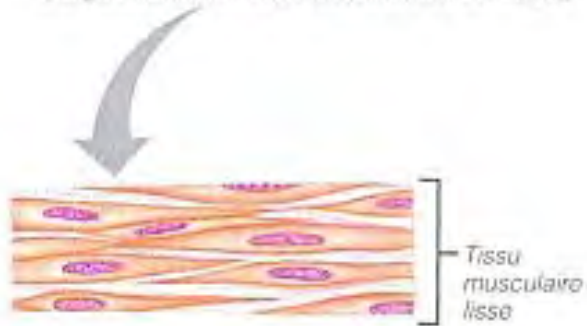


cellule
du foie

Cellule musculaire lisse



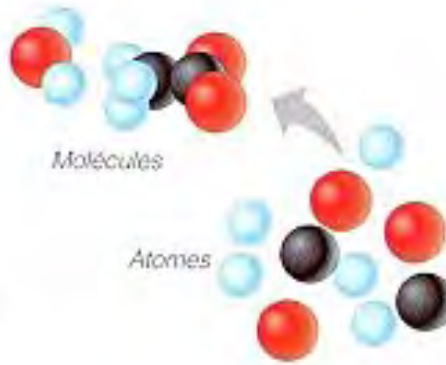
Les cellules sont composées d'organites, eux-mêmes constitués de molécules



Les tissus sont constitués de cellules du même type



Les organes sont formés de différents types de tissus



Molécules

Atomes

Les atomes se combinent pour former des molécules

Système cardiovasculaire

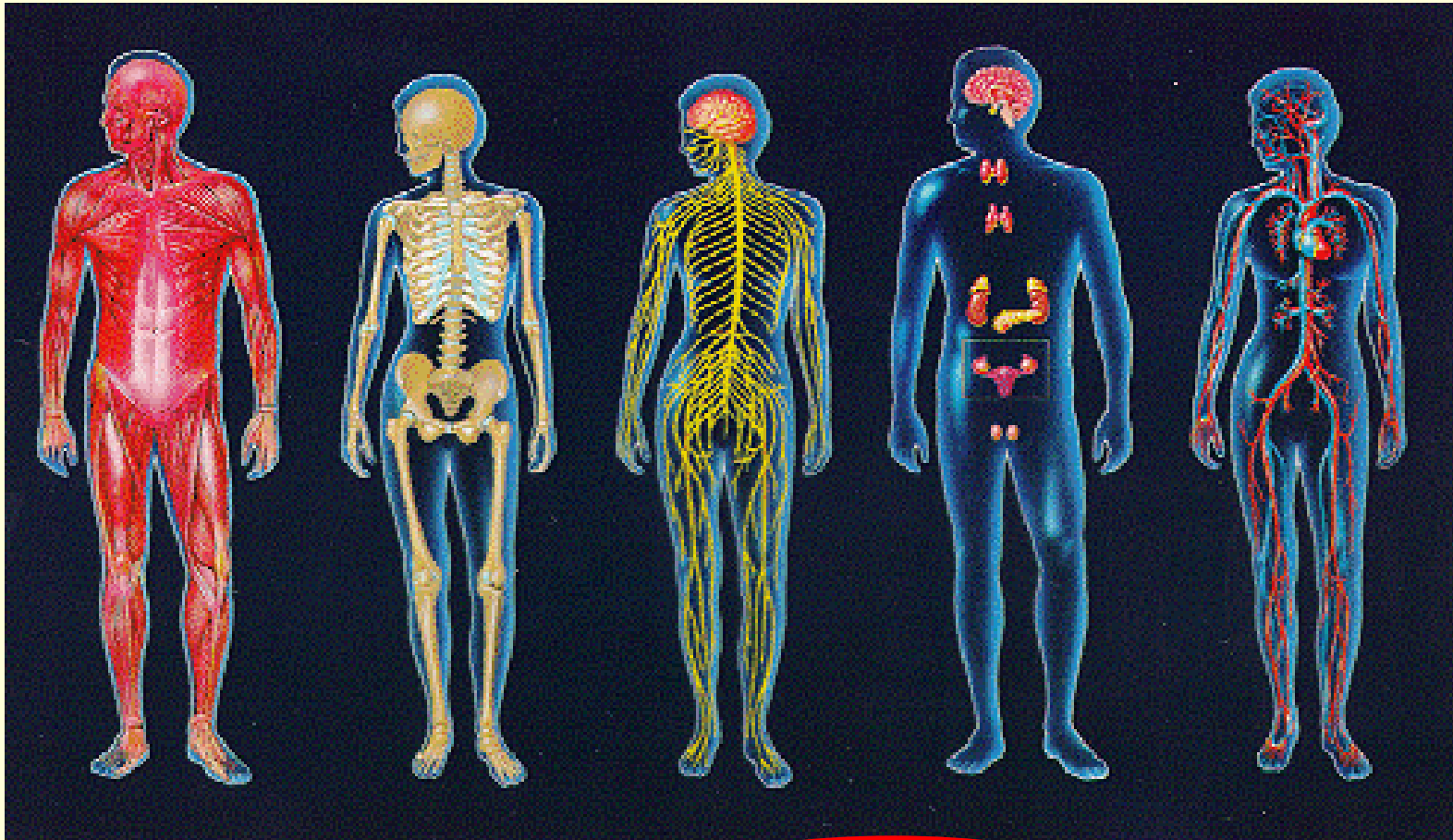


Les systèmes sont constitués de divers organes qui interagissent



L'organisme est formé de l'ensemble de ses systèmes

Ces cellules spécialisées forment différents **tissus** et **organes**,
et finalement différents **grands systèmes...**

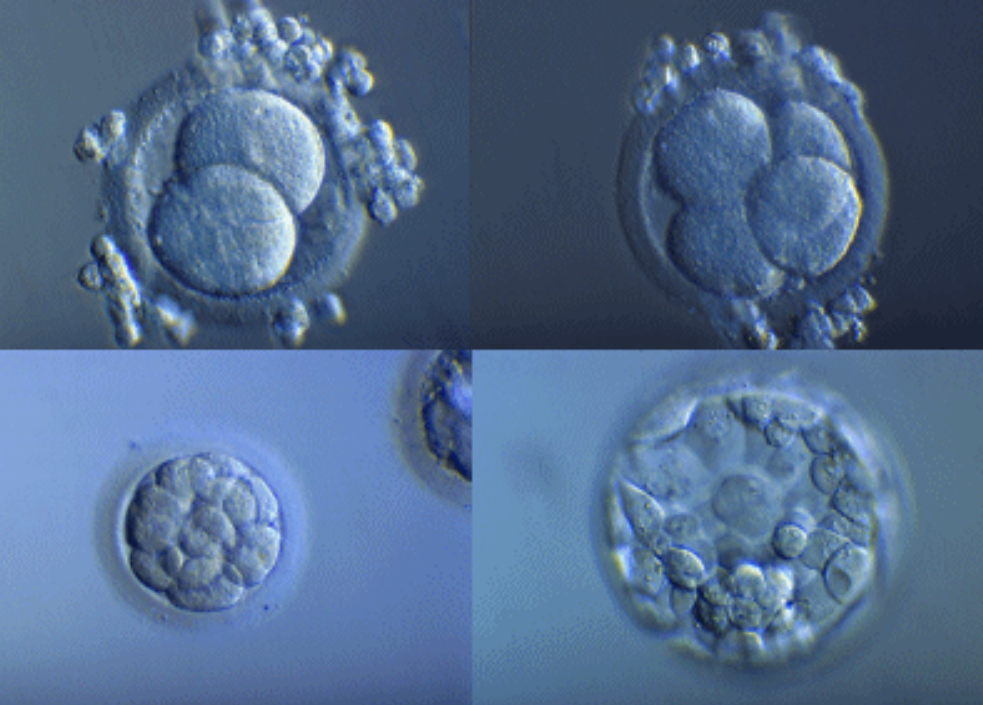


Musculo-squelettique

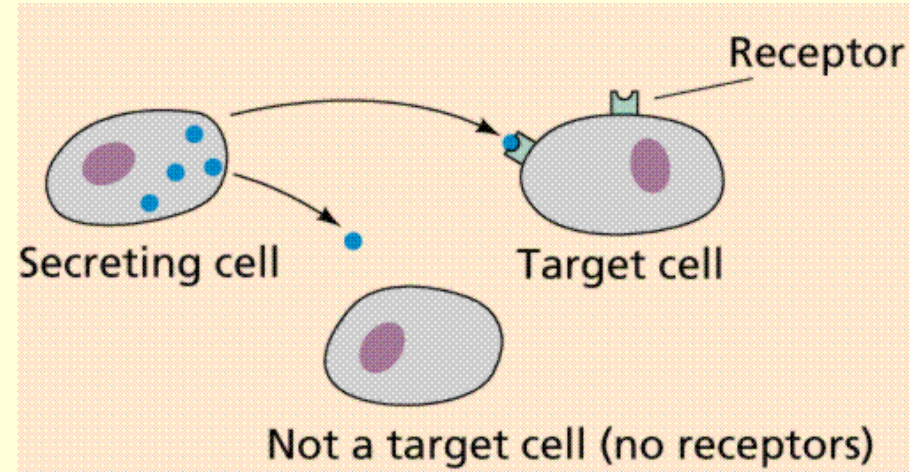
Nerveux

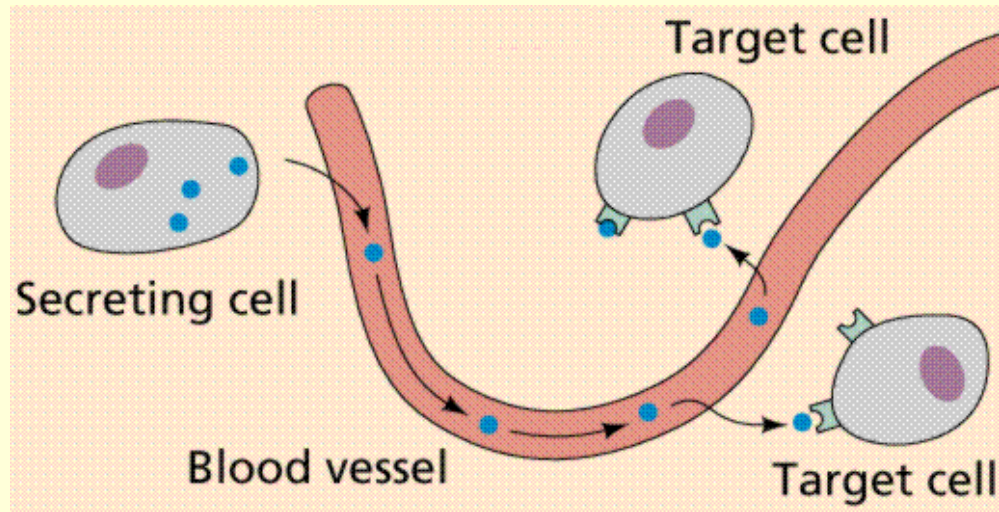
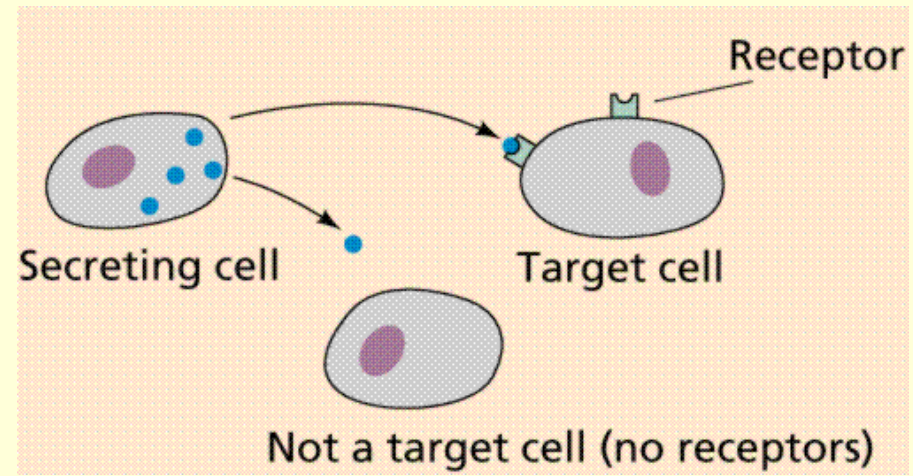
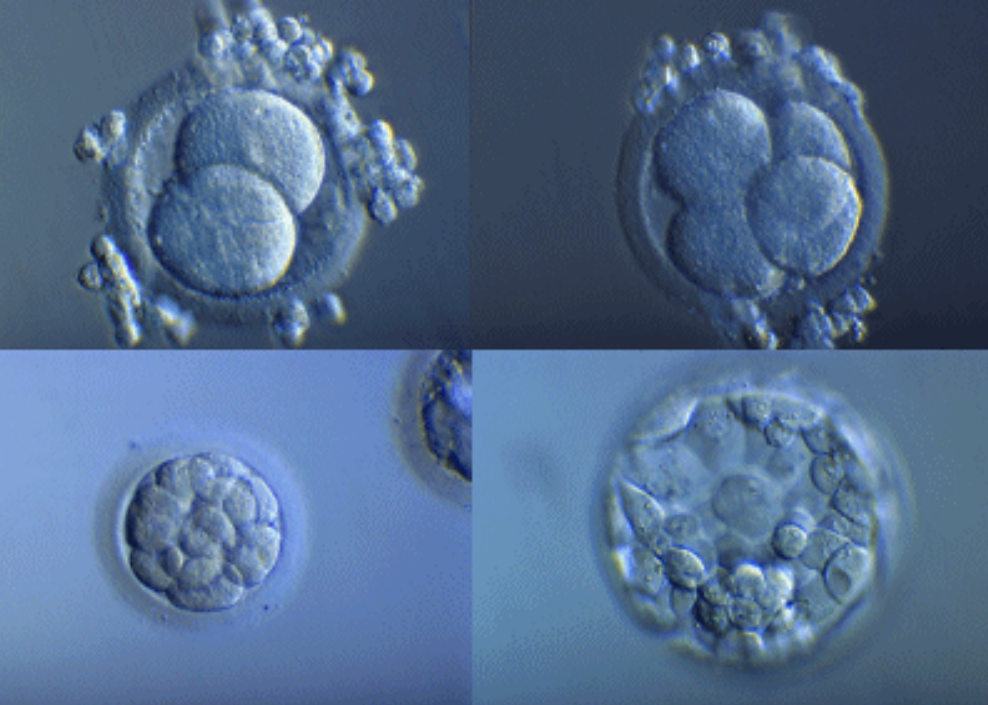
Endocrinien

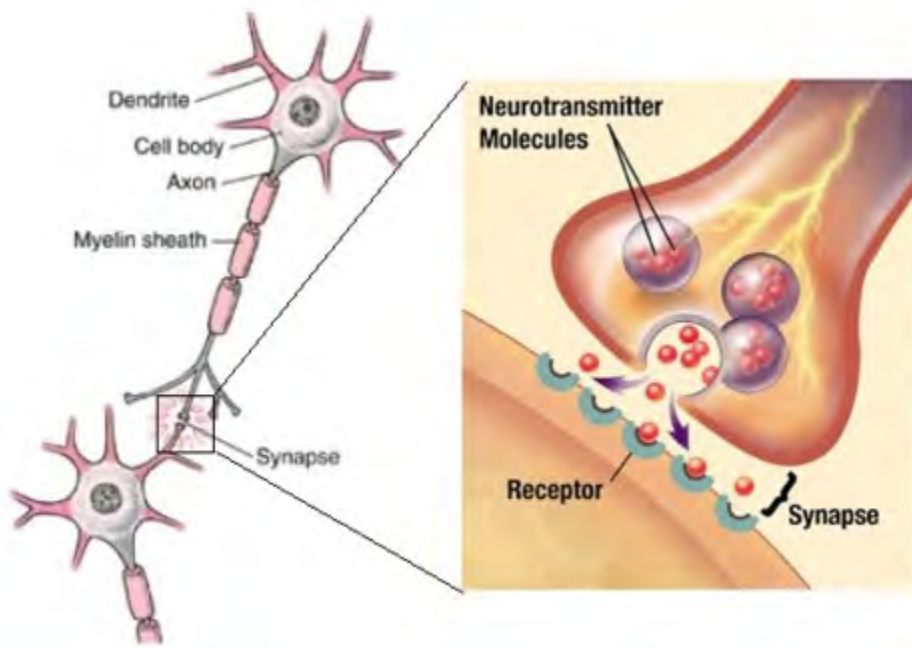
Circulatoire



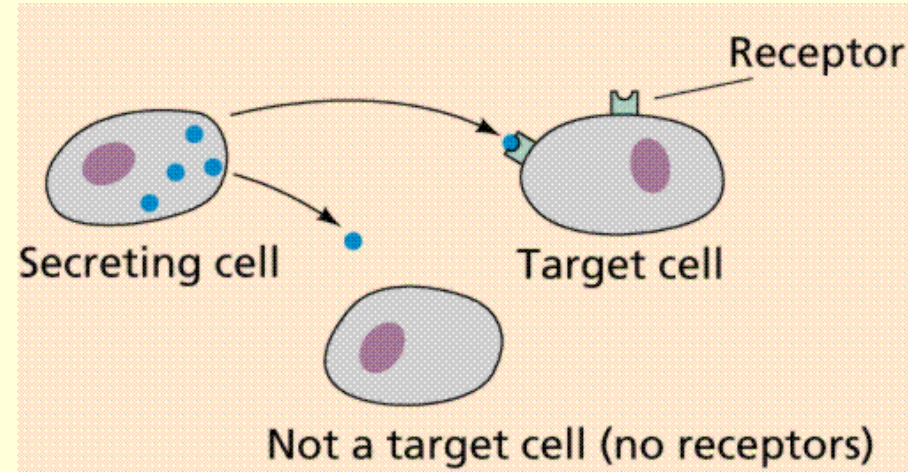
...dont l'origine est très ancienne !



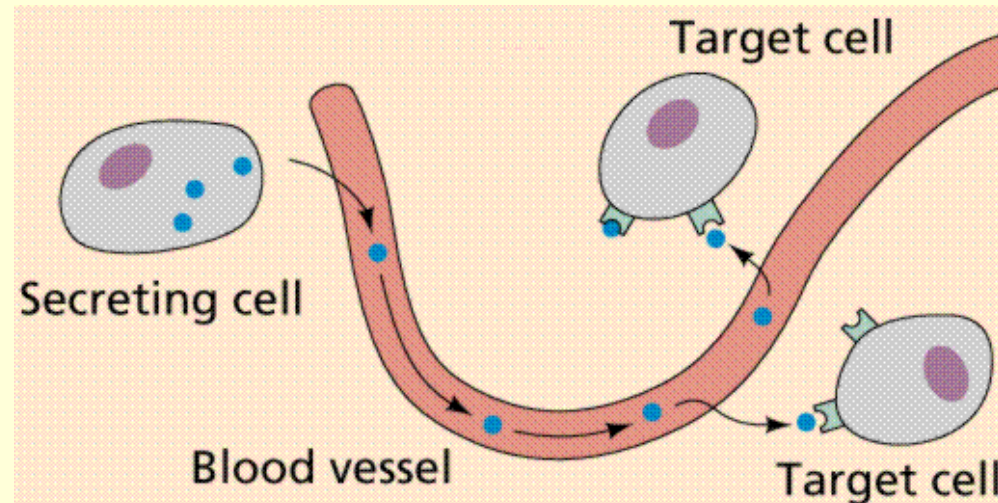




...mais aussi neurotransmetteurs et récepteur des neurones du **système nerveux !**

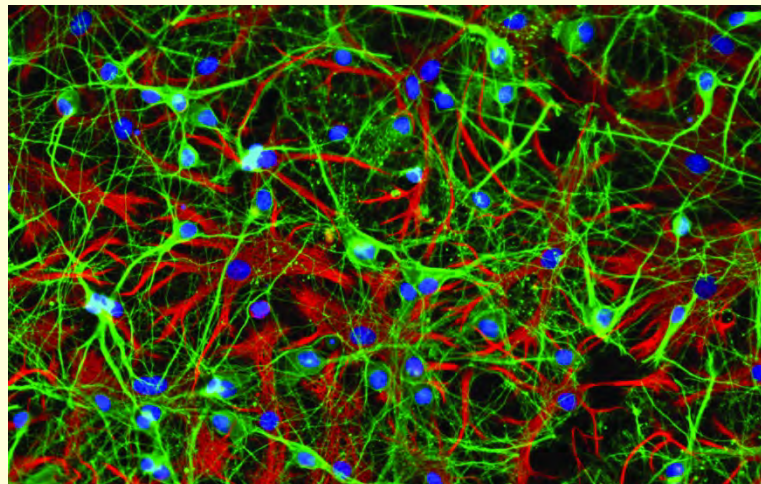


Hormones !
(système endocrinien)

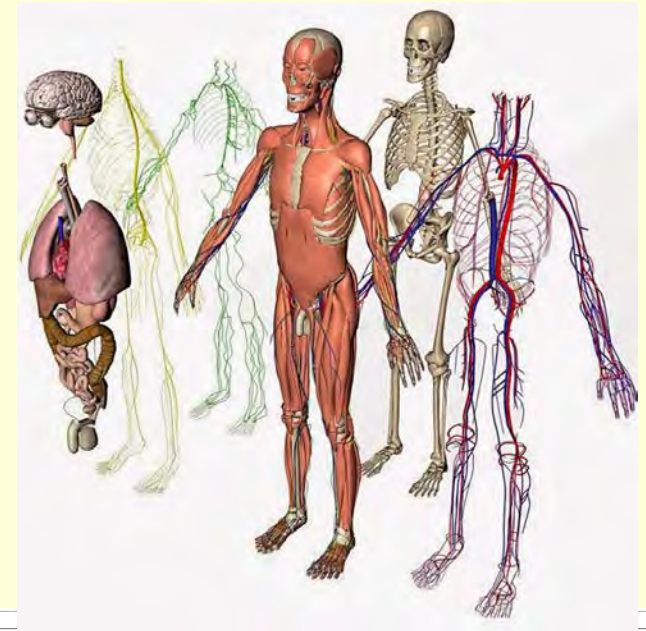


« Pas de multicellulaires, pas de cellules spécialisées.
Pas de cellules spécialisées, pas de neurones.
Pas de neurones, pas de cerveaux.
Pas de cerveaux, pas d'humains ! »

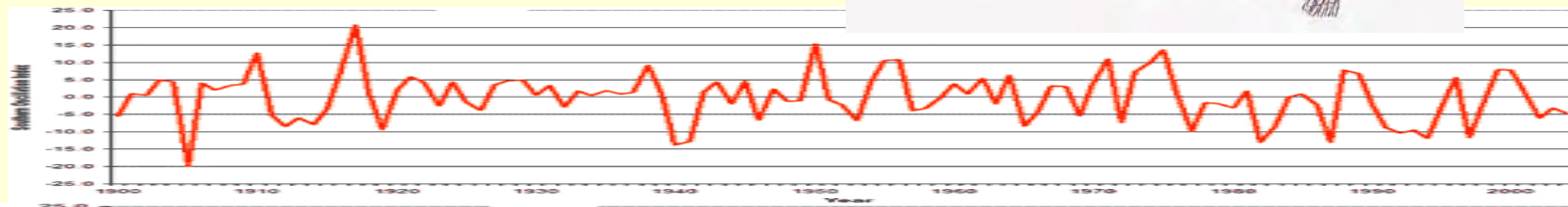
Car encore aujourd'hui,
toute la puissance computationnelle de
notre cerveau vient du travail coordonné
de ses milliards de cellules.



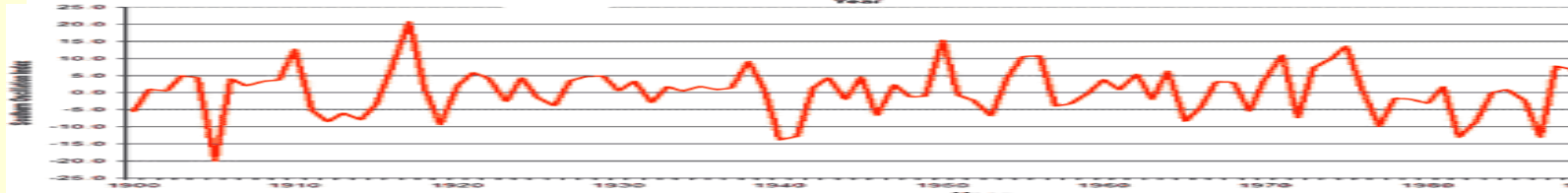
Nos besoins fondamentaux subissent des fluctuations qui oscillent autour d'une valeur optimale vers laquelle les différents systèmes de l'organisme vont tendre à les ramener.



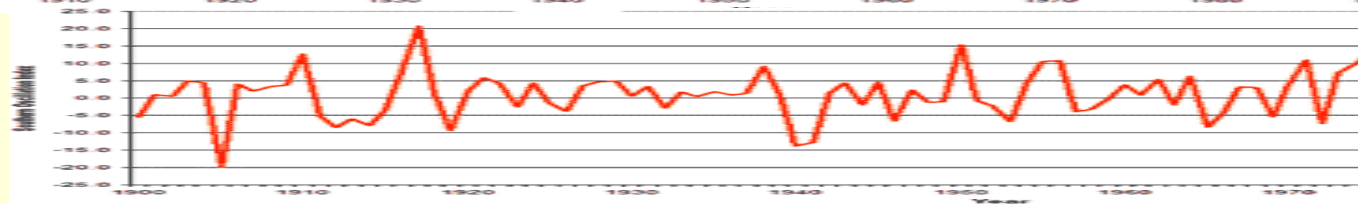
FAIM



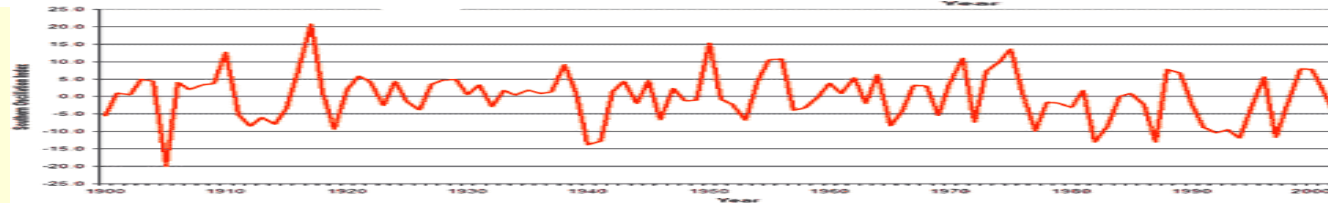
SOIF



TEMPÉRATURE



REPRODUCTION



« The physiology of biological systems can be reduced almost entirely to their **homeostasis** ».

- Karl Friston (2010)

Claude BERNARD (1813-1878), en **1865** (Introduction à l'étude de la médecine expérimentale) crée le concept de milieu intérieur et d'équilibre à l'intérieur de celui-ci :

"Tous les mécanismes vitaux, quelques variés qu'ils soient, n'ont toujours qu'un but, celui de maintenir l'unité des conditions de la vie dans le milieu intérieur"

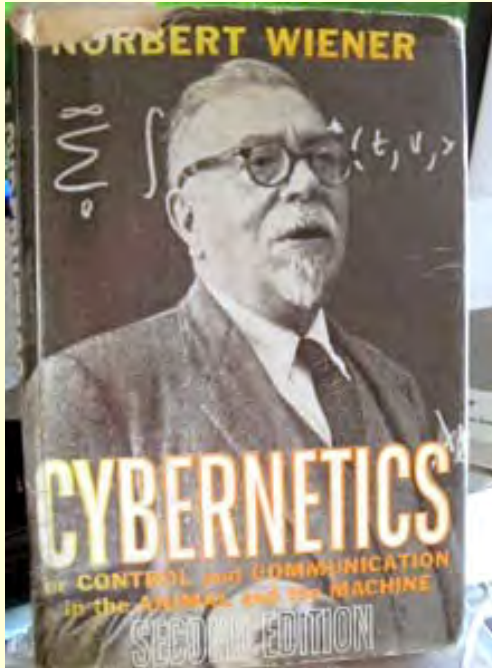
Walter Bradford CANNON (1871-1945), forge le mot **homéostasie** à partir des deux mots grecs stasis (état, position) et homolos (égal, semblable à) en **1926** (The Wisdom of the Body).

[De l'homéostasie](#)

Par ETHUS, 1 octobre 2010

<http://www.leconflit.com/article-de-l-homeostasie-58061784.html>

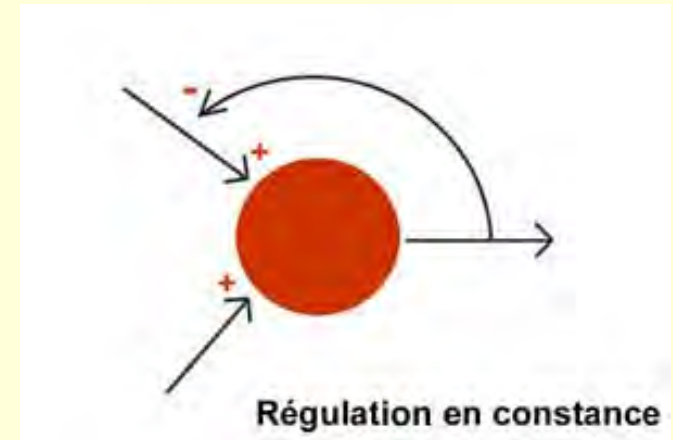
- concept étendu par **Norbert WIENER** (1894-1964) et William Ross ASHBY pour donner la **cybernétique**



- concept étendu par **Norbert WIENER** (1894-1964) et William Ross ASHBY pour donner la **cybernétique**

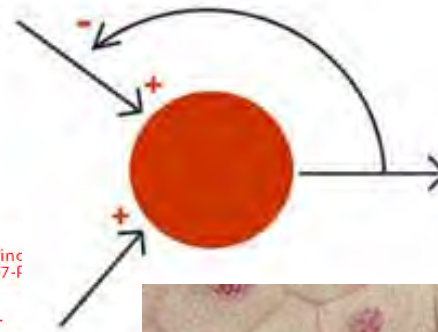
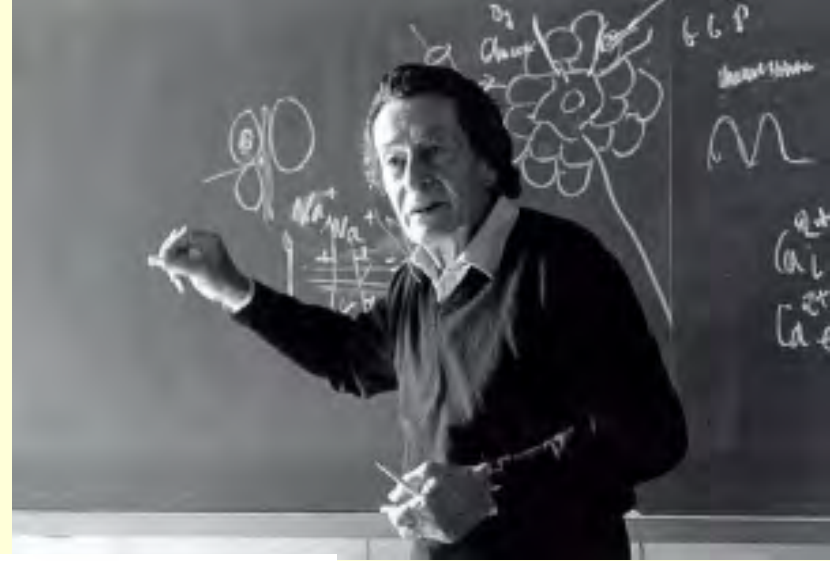
C'est l'idée de pilotage par rétroaction
ou « **d'action finalisée** »

[**feedback, closed loop, control mechanism**]

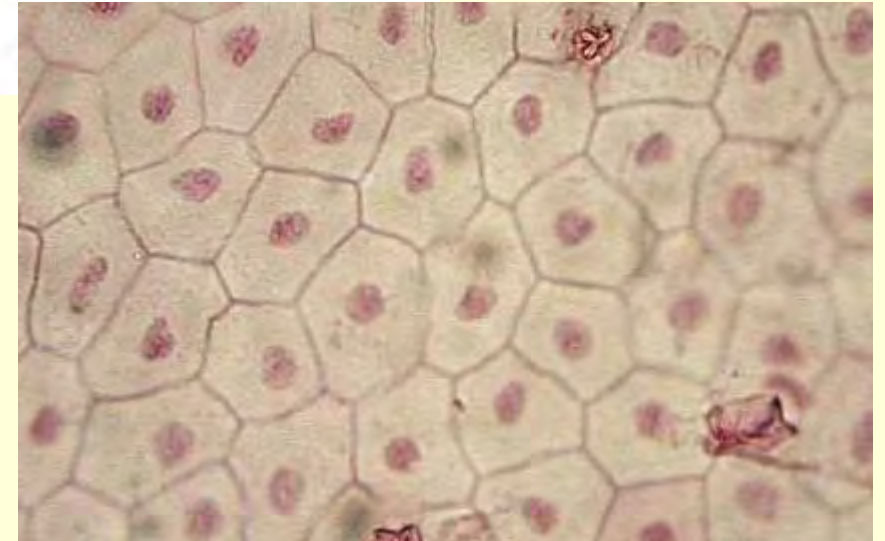
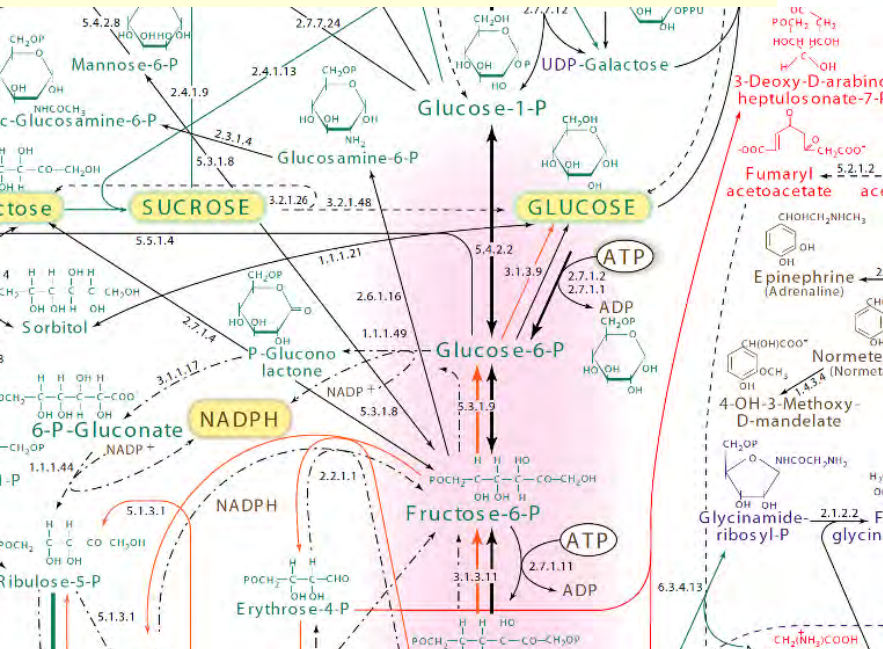


Des gens comme Hans Selye ou Henri Laborit vont être inspiré par cette notion de rétroaction pour la compréhension du vivant.

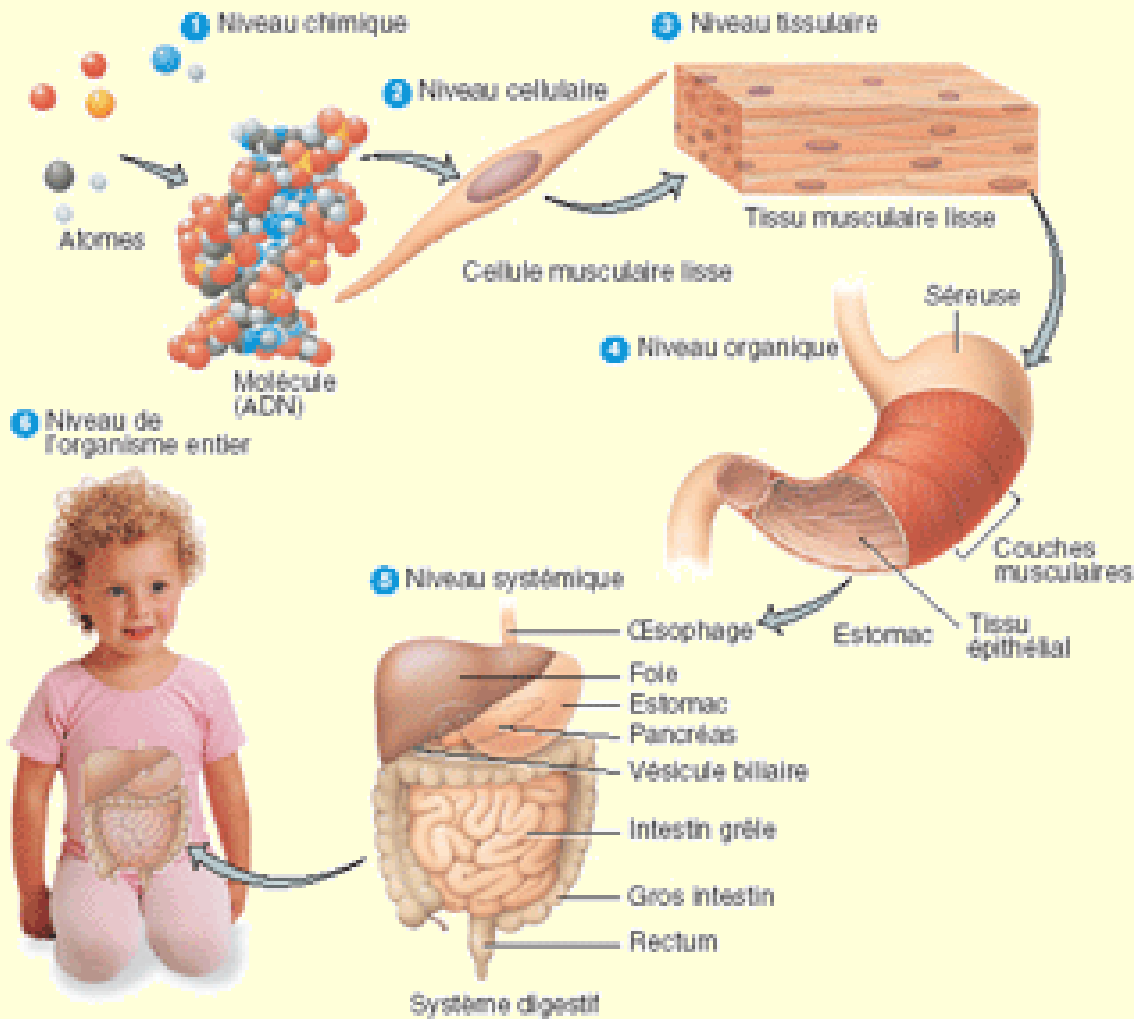
Ils trouvent des systèmes régulés par boucle de rétroaction tant dans les voies métaboliques...



...qu'entre les cellules d'un organe.



Organisation structurale du corps humain (Figure 1.1)

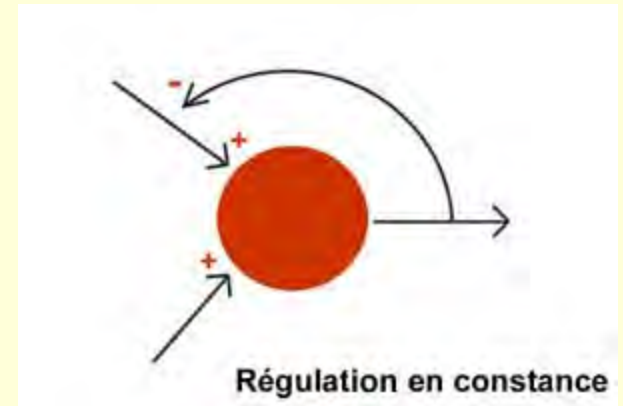
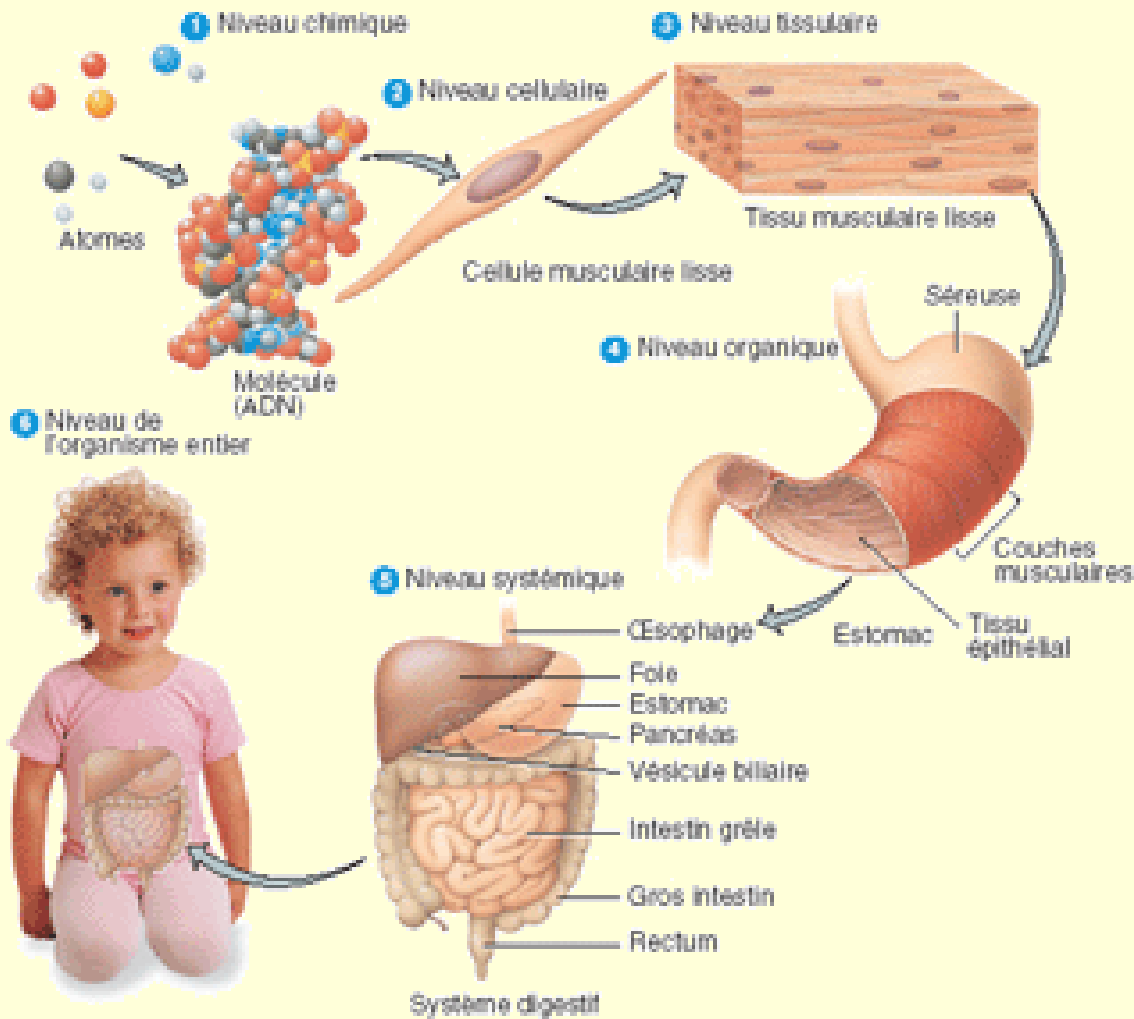


Car dans un organisme, chacun de ces « **niveaux d'organisation** » **doit collaborer** pour maintenir l'homéostasie de l'ensemble.

Comment ?

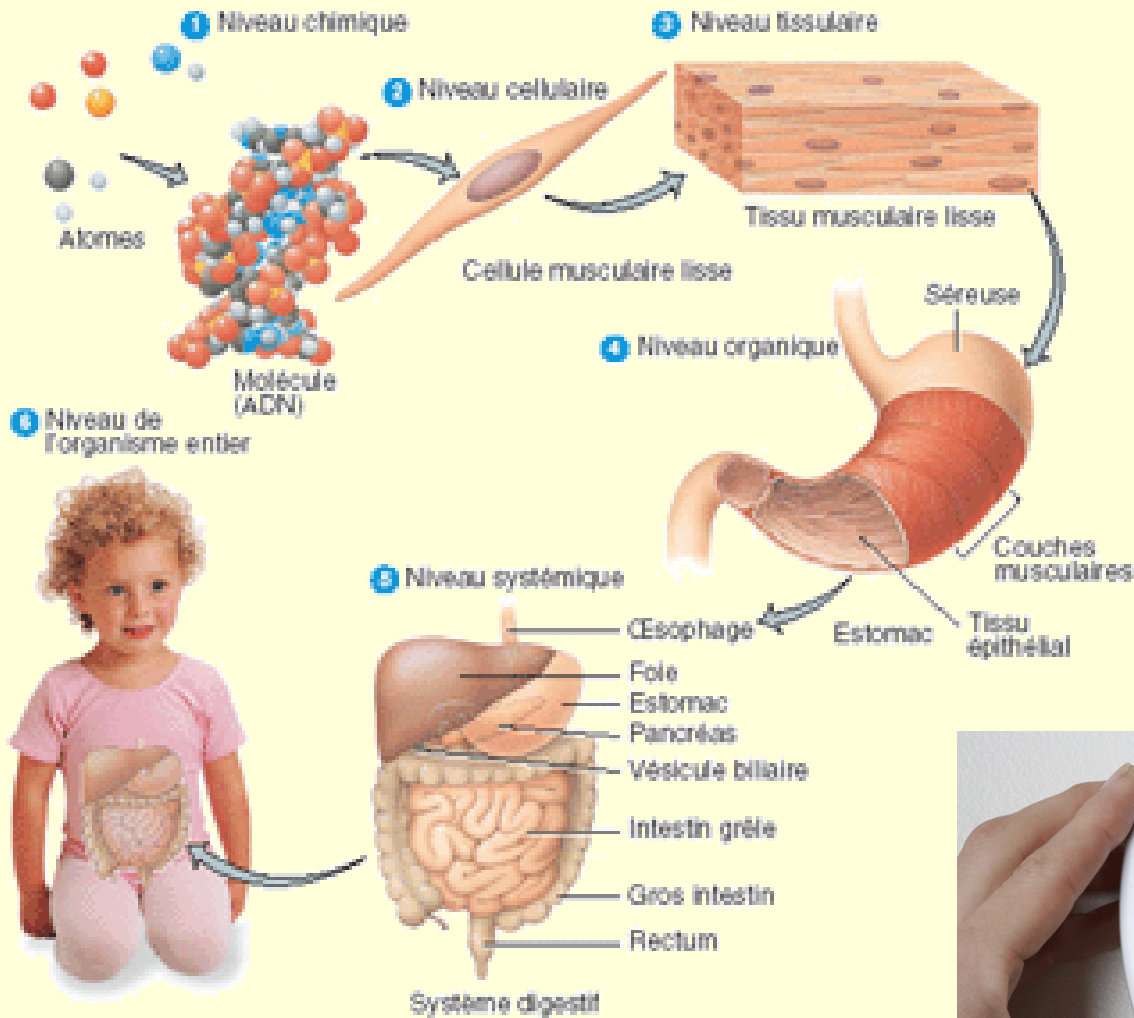
Par régulation de chaque niveau...

organisation structurale du corps humain (Figure 1.1)

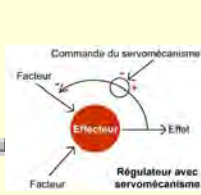


...et ajustement constant à la demande du niveau supérieur.

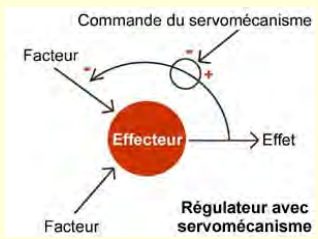
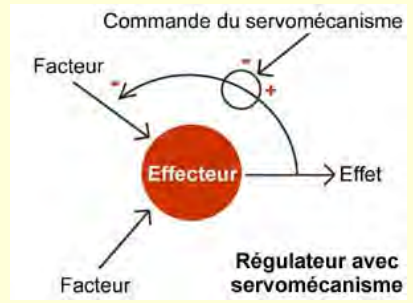
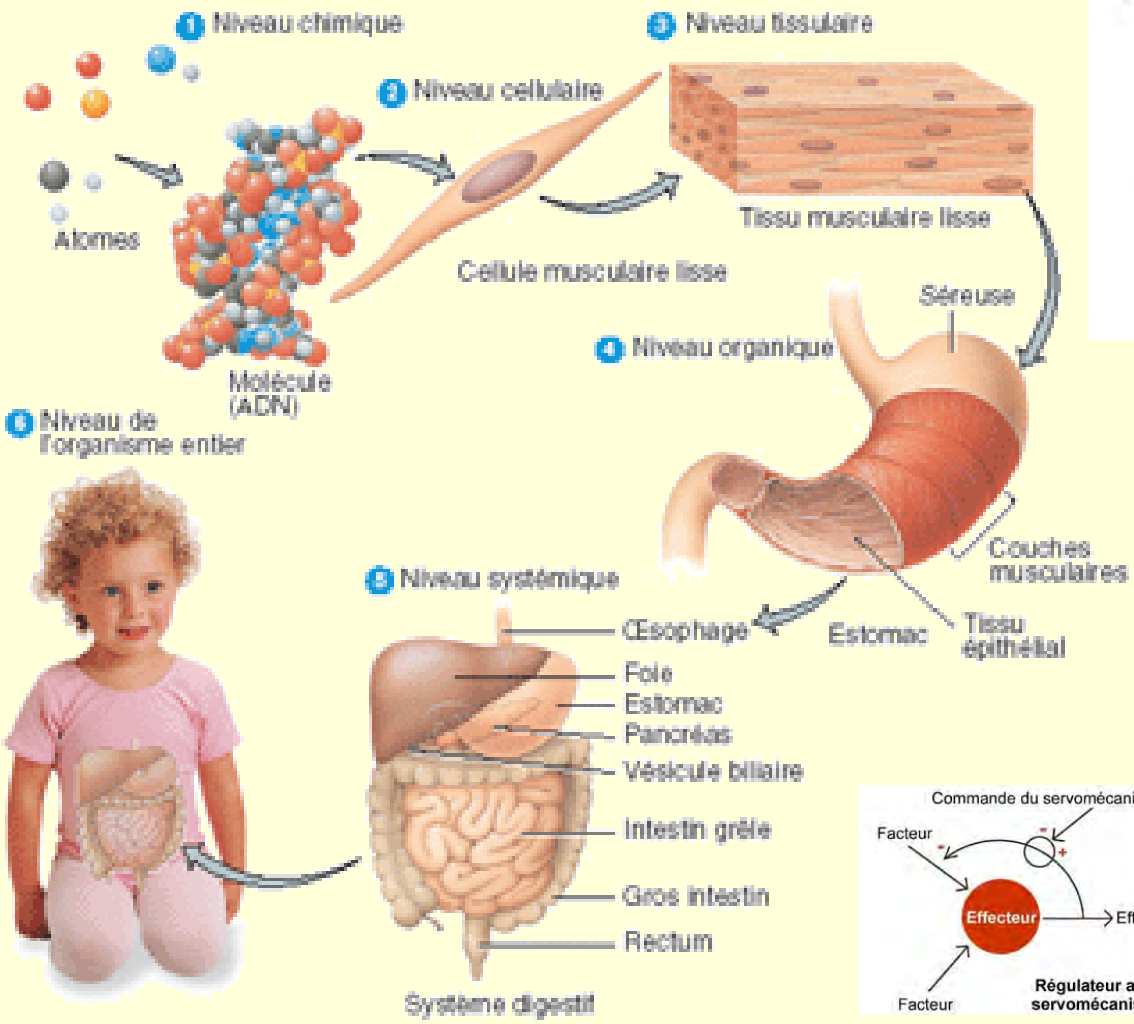
organisation structurale du corps humain (Figure 1.1)



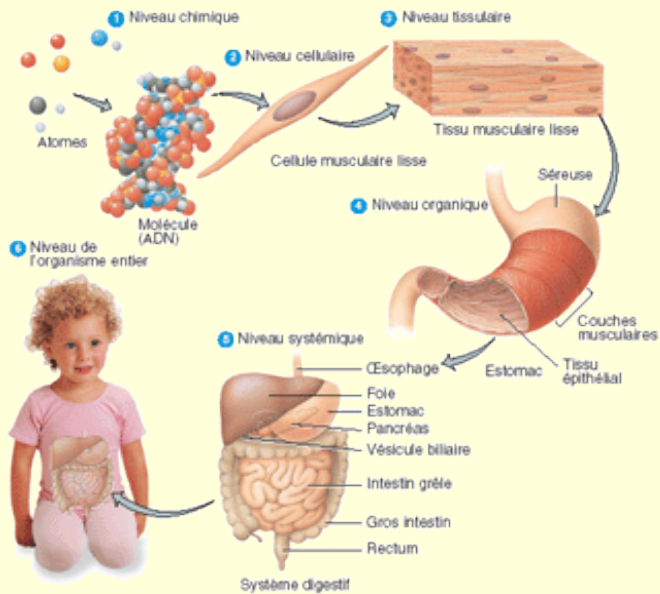
organisation structurale du



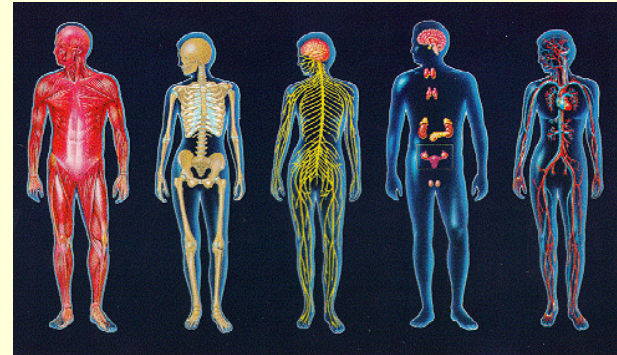
(Figure



Niveaux d'organisation structurale du corps humain (Figure 1.1)



Mais pour que chaque niveau d'organisation de chacun des grands systèmes du corps humain puisse s'intégrer fonctionnellement...



« Chaque sous-ensemble [doit avoir] la même finalité que l'ensemble : la protection de son **intégrité** dans le temps. »

- H. Laborit, La nouvelle grille, p.191

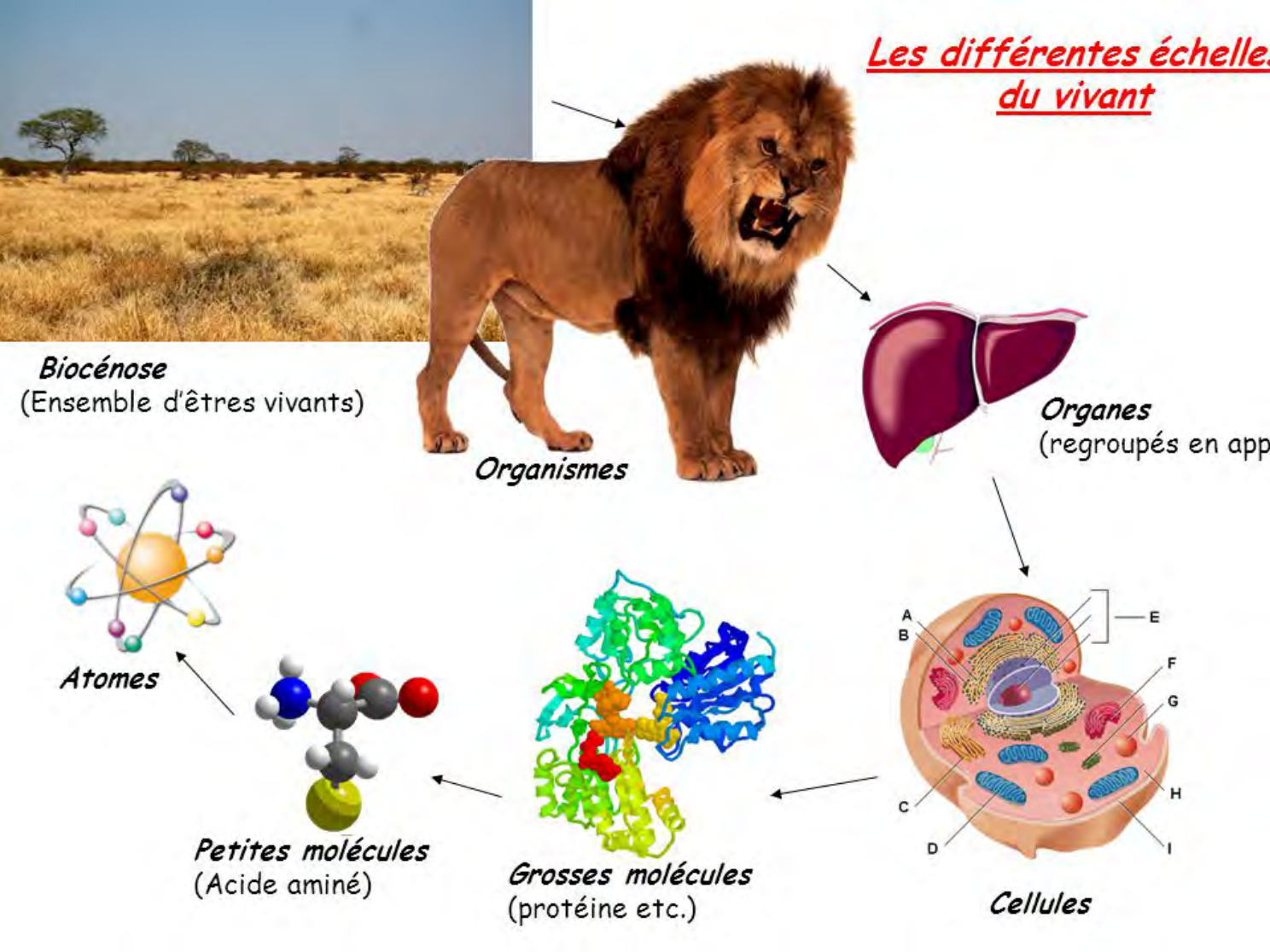
Toujours inspiré par la cybernétique, Laborit ajoute à l'idée de niveaux d'organisation, **la notion de finalité** qu'il reformule ainsi pour les être vivants :



« La seule raison d'être d'un être vivant, c'est **d'être**, c'est-à-dire de **maintenir sa structure.** »

Les différentes échelle
du vivant

Chaque niveau d'organisation ne travaille donc pas seulement pour maintenir sa structure particulière, mais pour maintenir celle du niveau qui l'englobe, jusqu'à la structure entière de l'organisme.

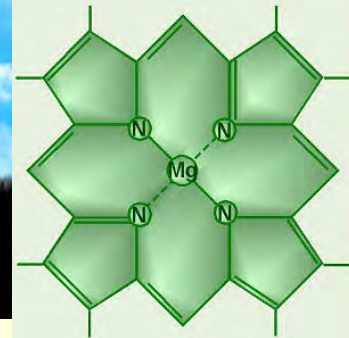
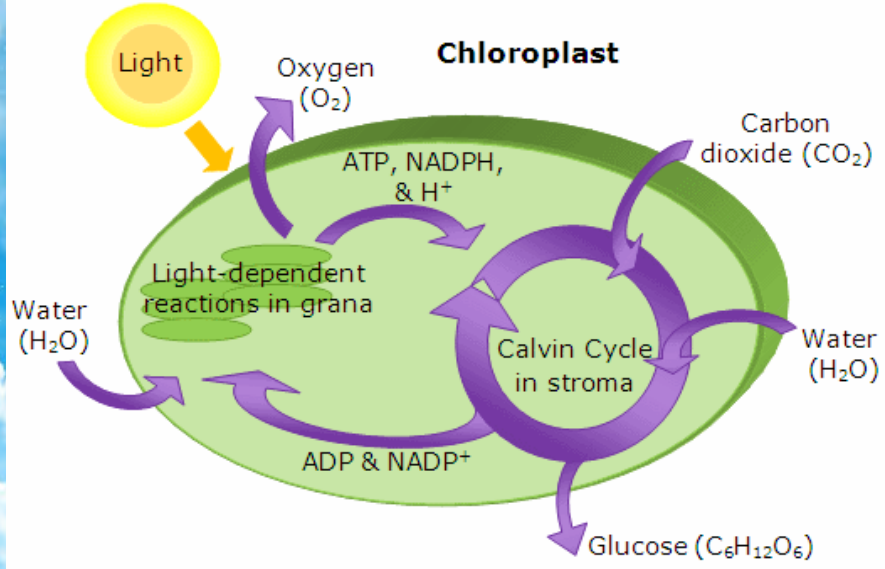


Par exemple, le foie fonctionne **grâce** au niveau d'organisation sous-jacent, le travail d'une cellule hépatique et, **pour** un niveau sus-jacent, le stockage de différentes substances dans le système sanguin de l'organisme entier.



« La seule raison d'être d'un être vivant, c'est **d'être**,
c'est-à-dire de **maintenir sa structure.** »

- Henri Laborit



Plantes :

photosynthèse

grâce à l'énergie du soleil

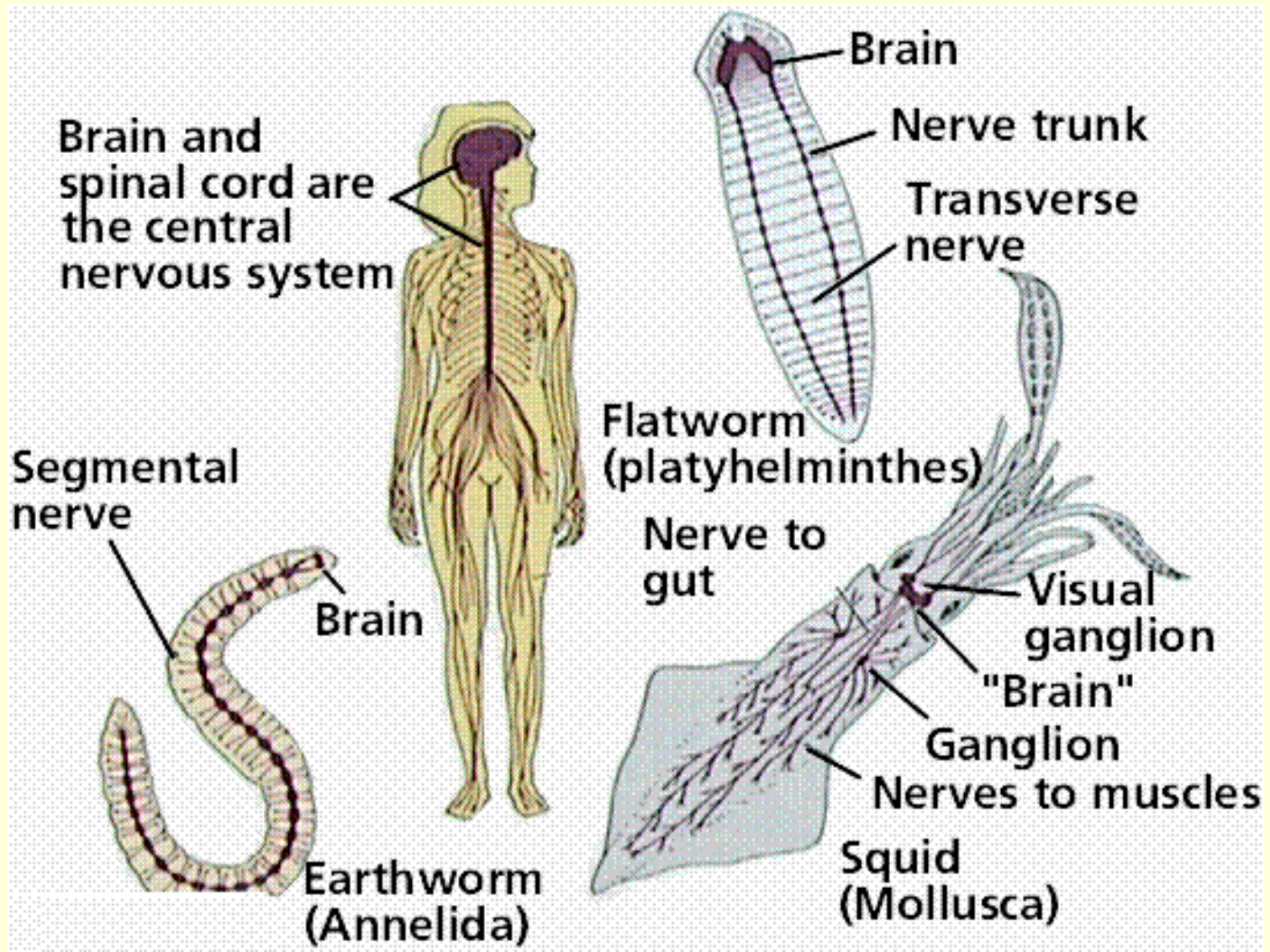




Animaux :

autonomie motrice
pour trouver leurs ressources
dans l'environnement

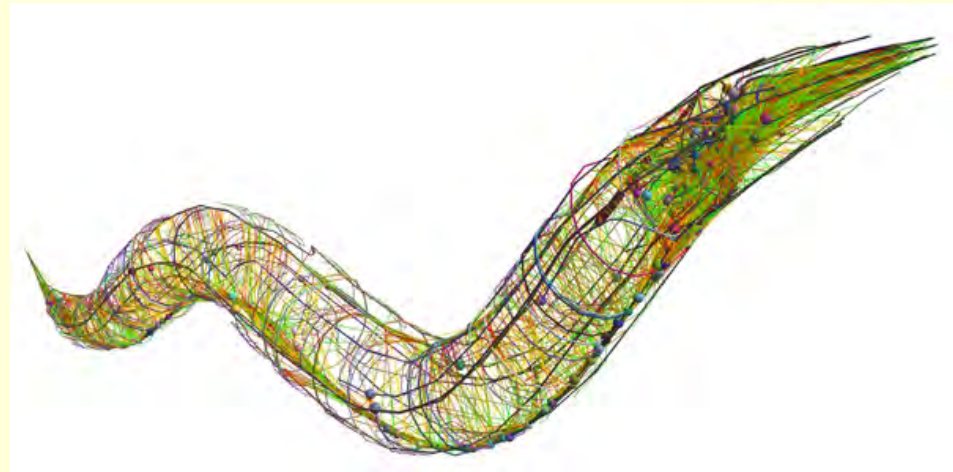
Systemes nerveux !



C. elegans :

302 neurones et 7000 synapses

- environ 1/3 de neurones **sensoriels**;
- environ 1/3 de neurones **moteurs**;
- environ 1/3 de neurones ayant des inputs et des output, suggérant un rôle dans **l'intégration**.

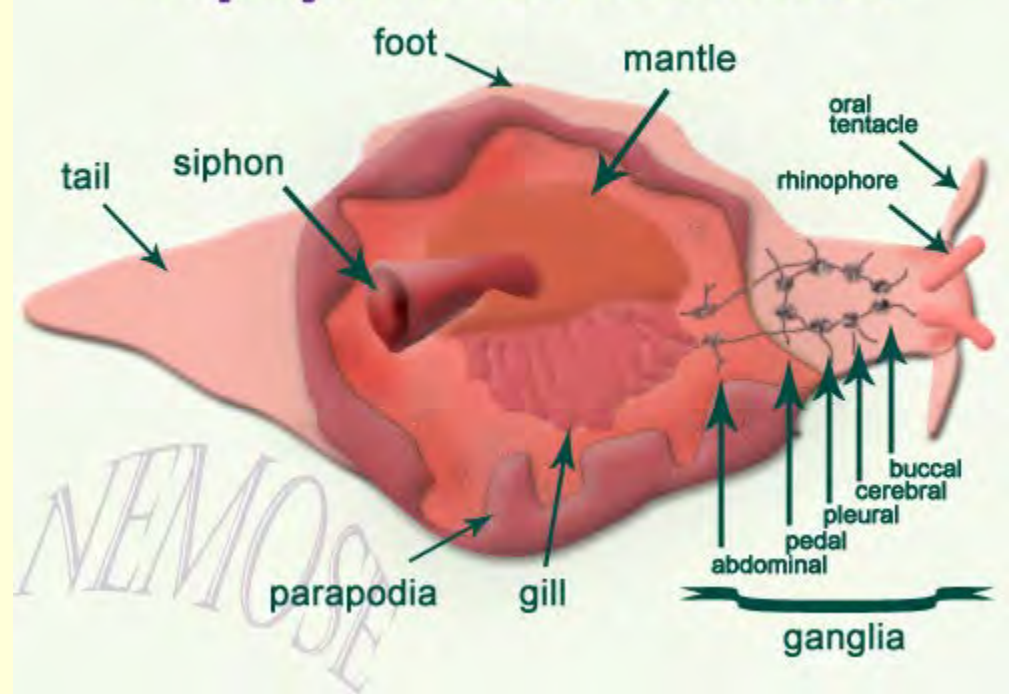


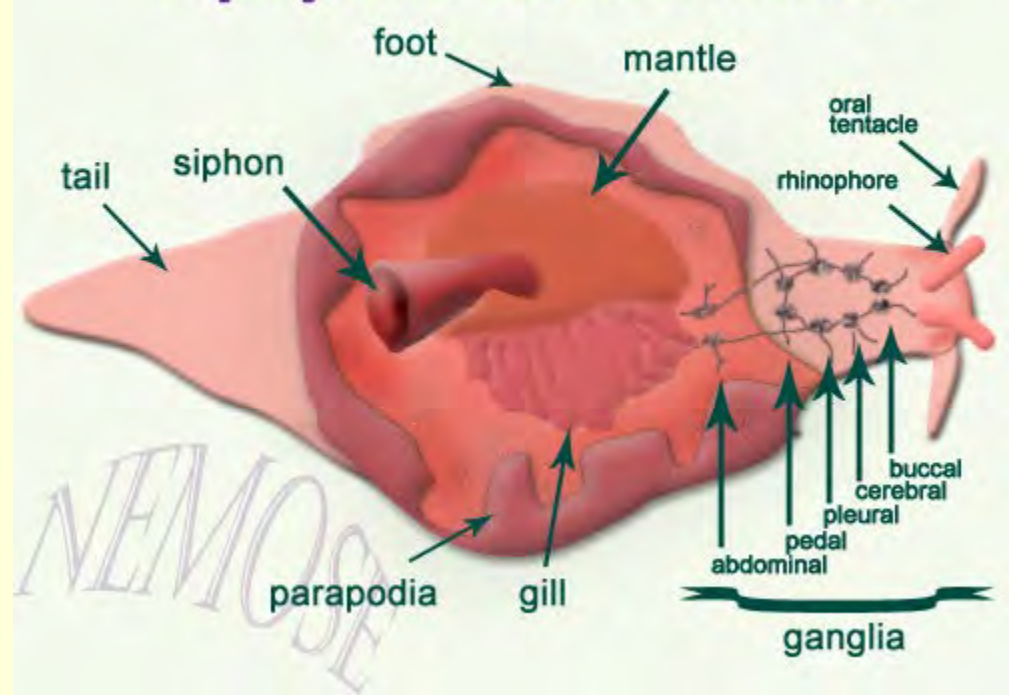
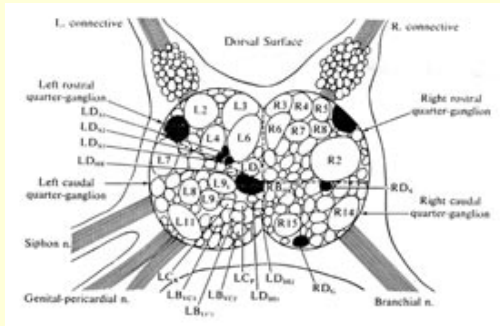
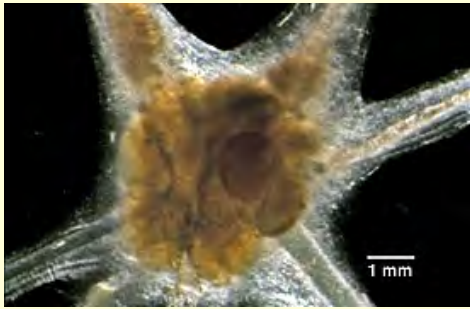
<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/bies.201100185/full#fig1>

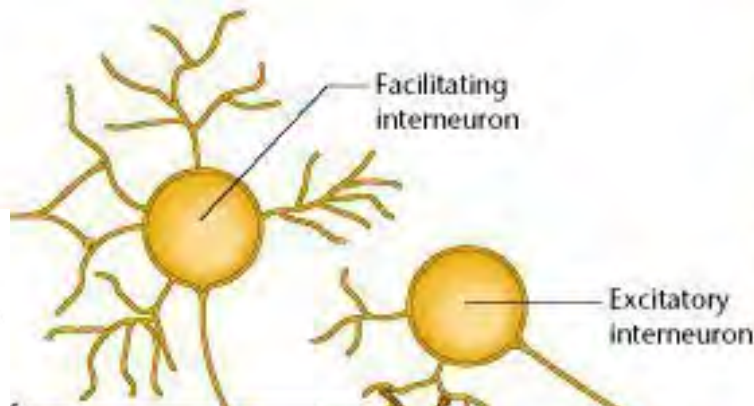
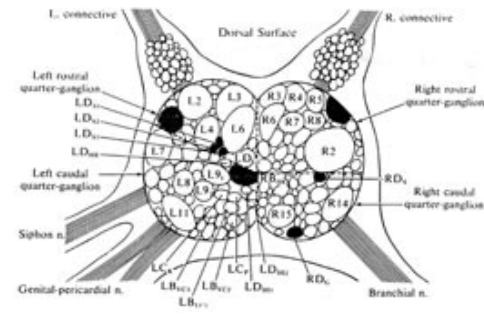
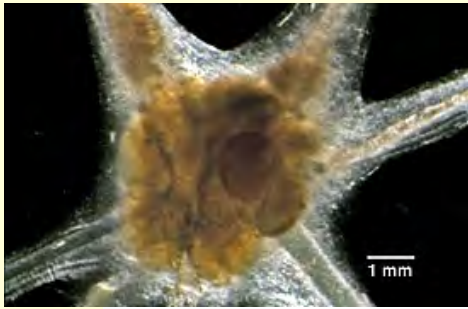


Aplysie
(mollusque marin)

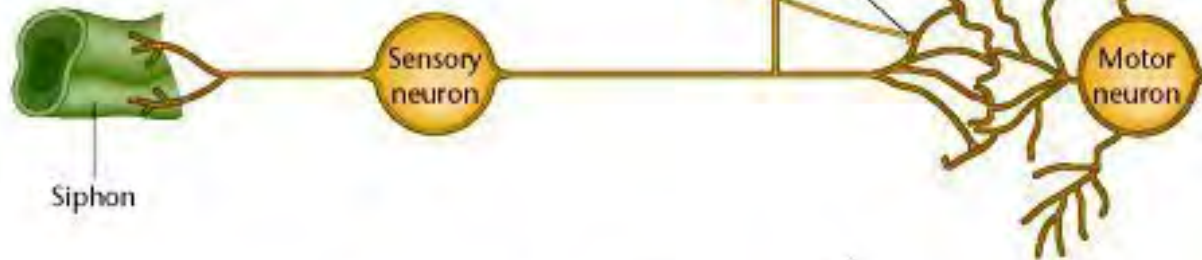
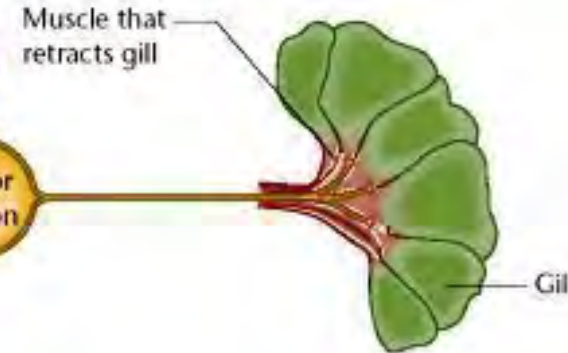
20 000 neurones





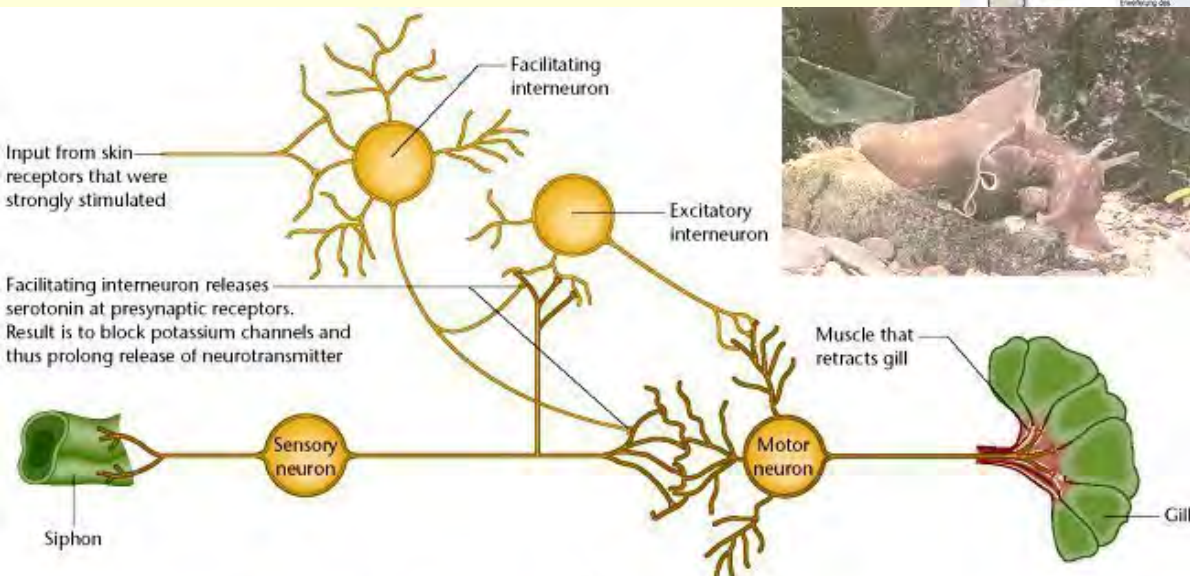
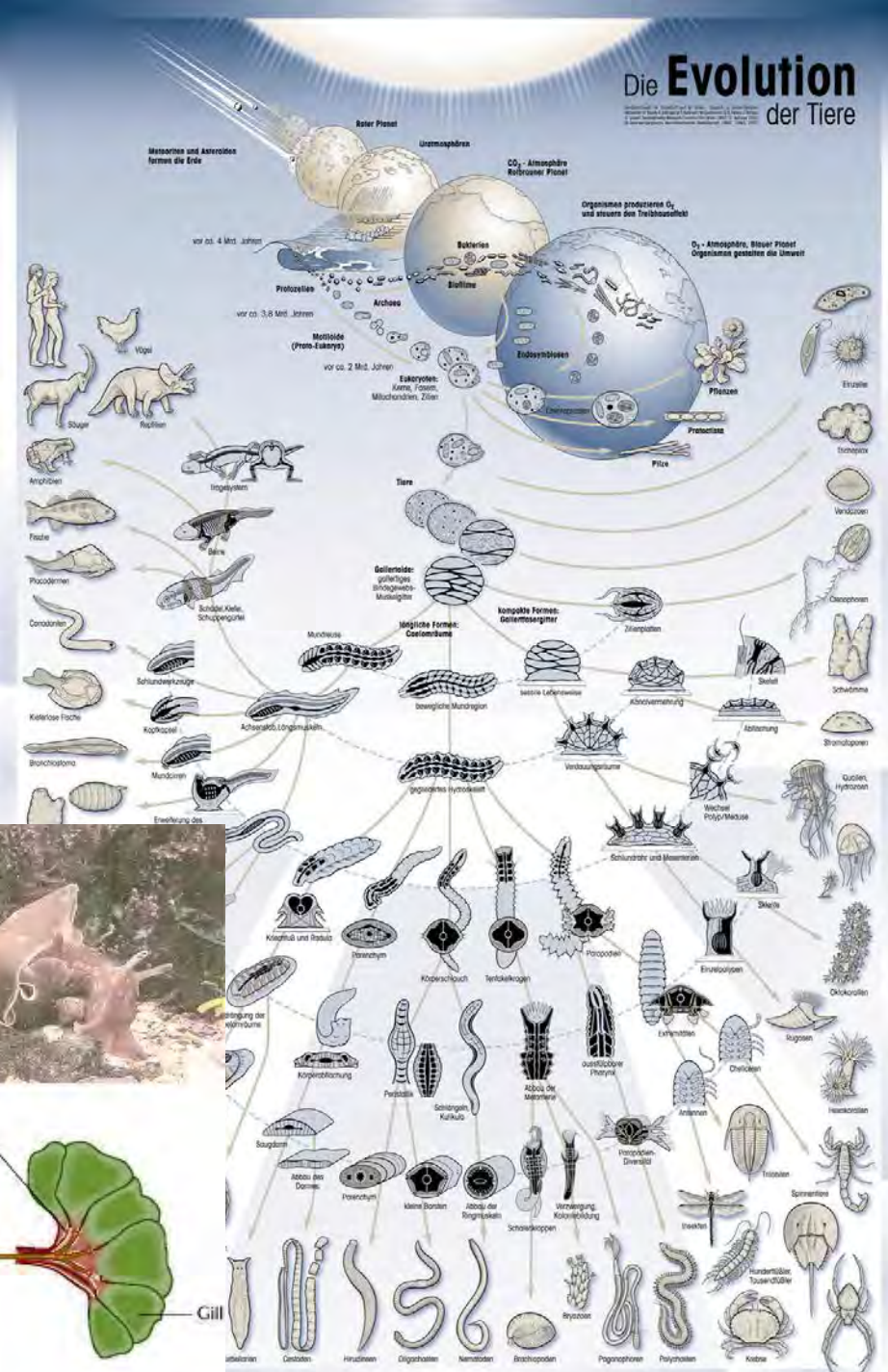


Synapses, neurotransmitter

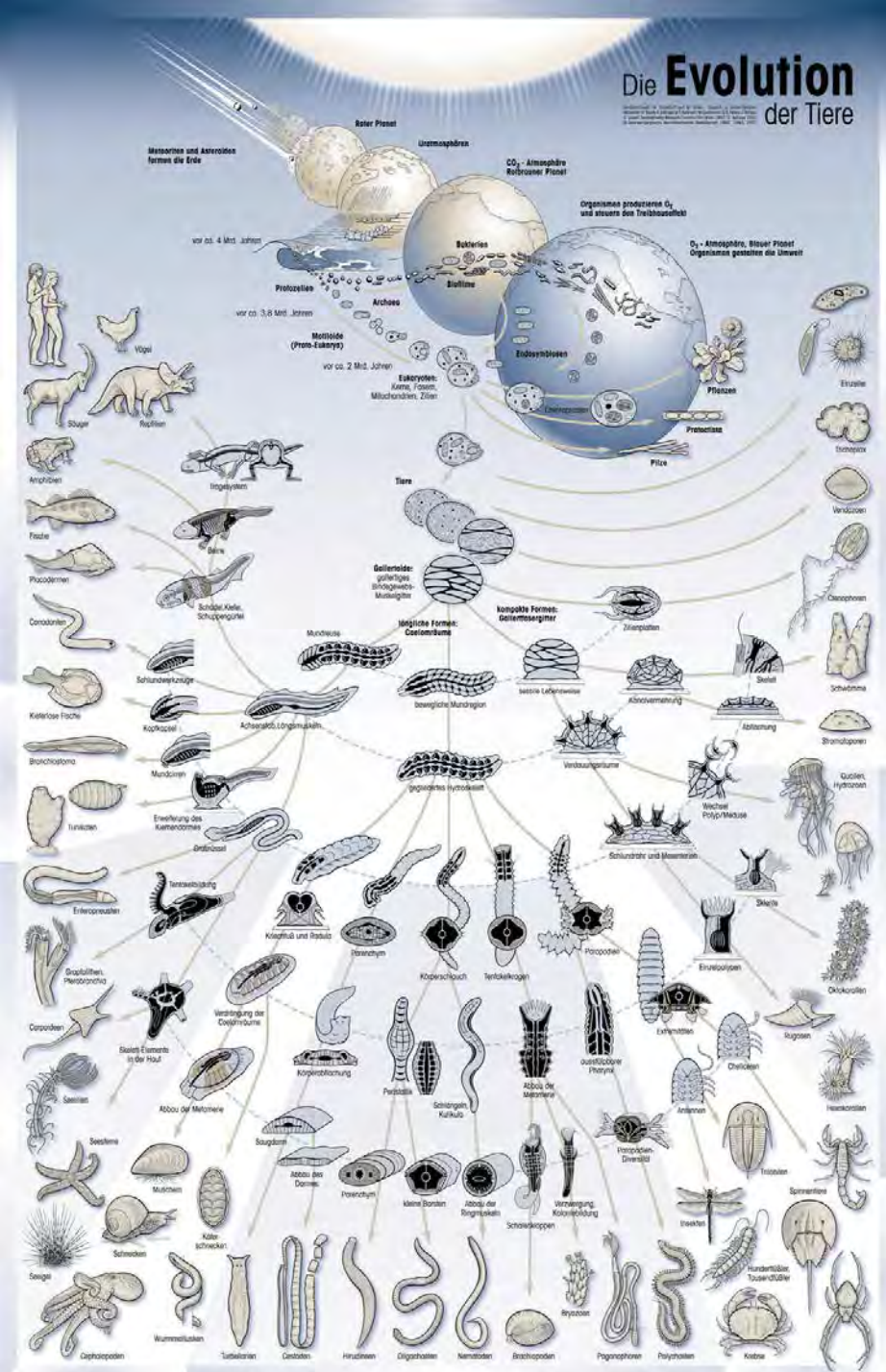
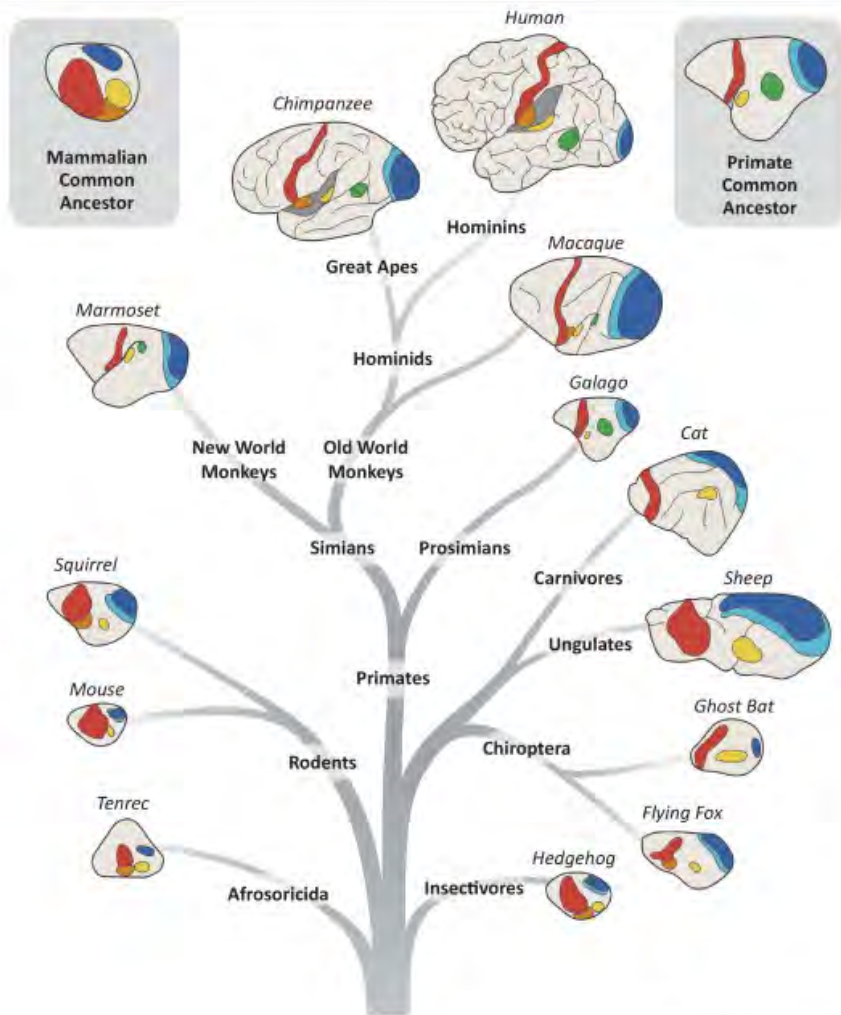


Une boucle sensori - motrice

Pendant des centaines de millions d'années, c'est cette boucle-sensorimotrice qui va se complexifier...

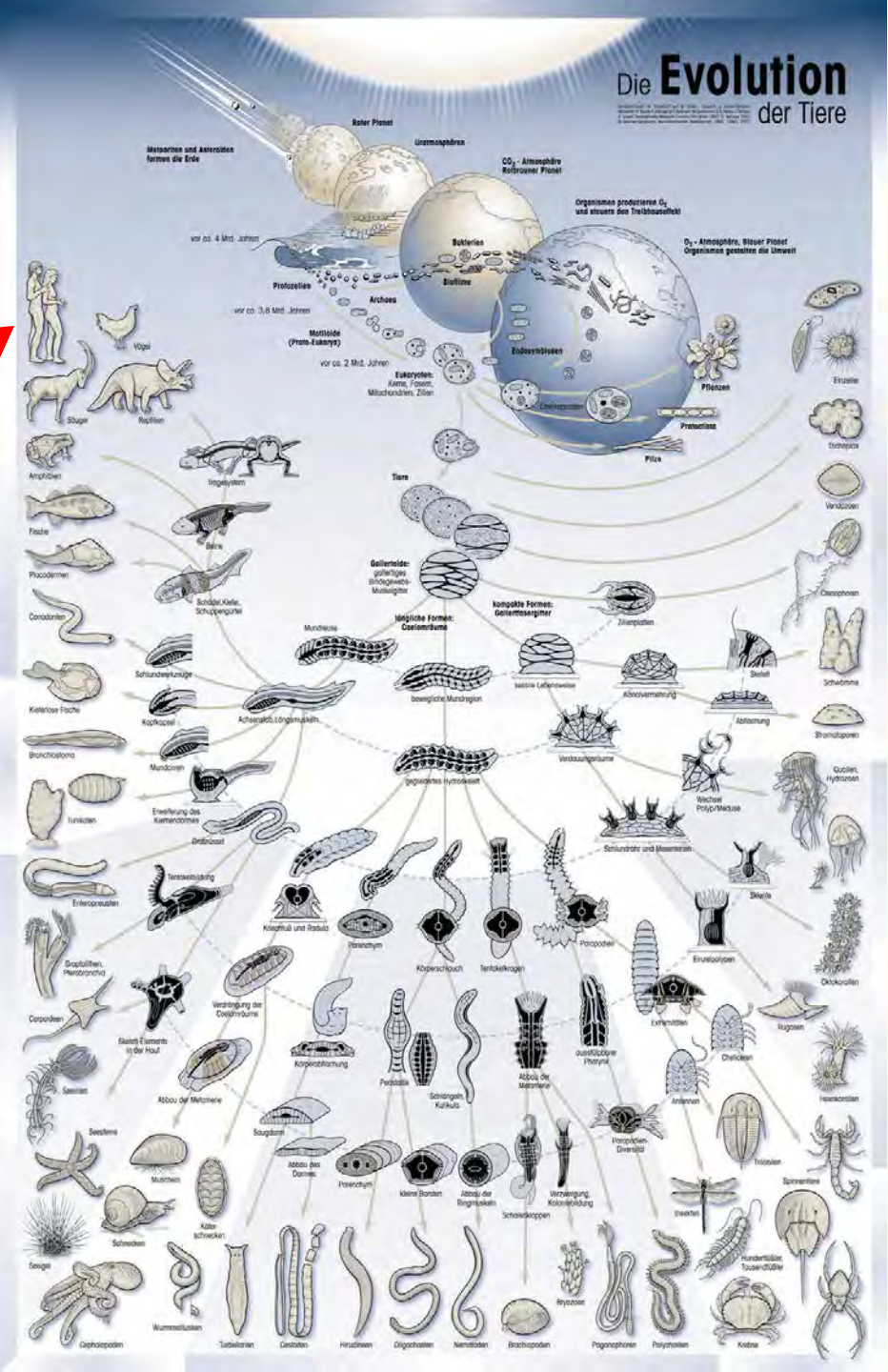
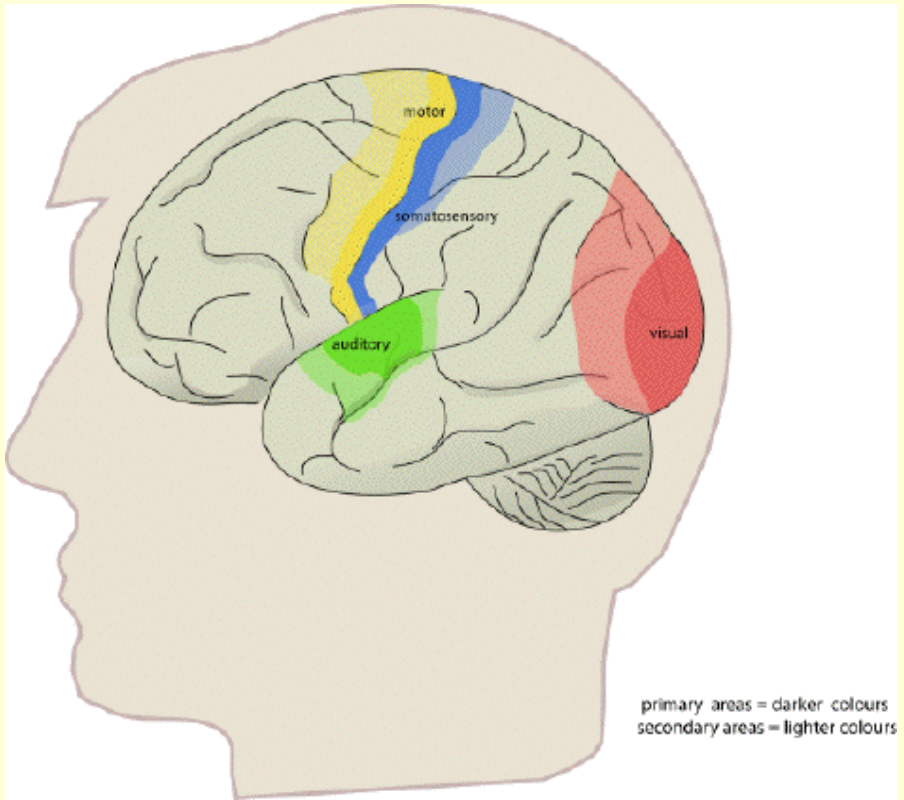


Pendant des centaines de millions d'années, c'est cette boucle-sensorimotrice qui va se complexifier...



Pendant des centaines de millions d'années, c'est cette boucle-sensorimotrice qui va se complexifier...

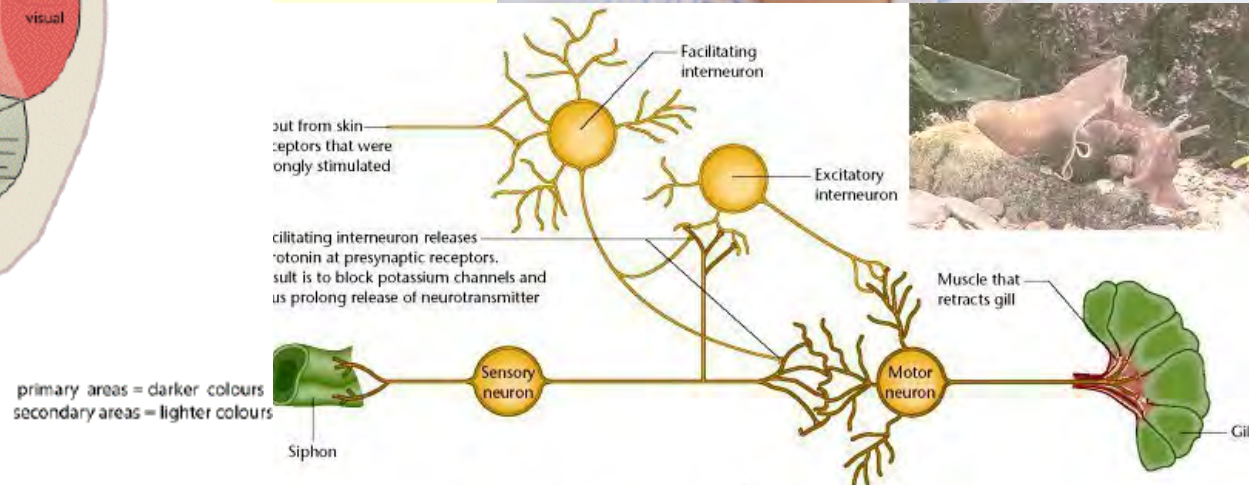
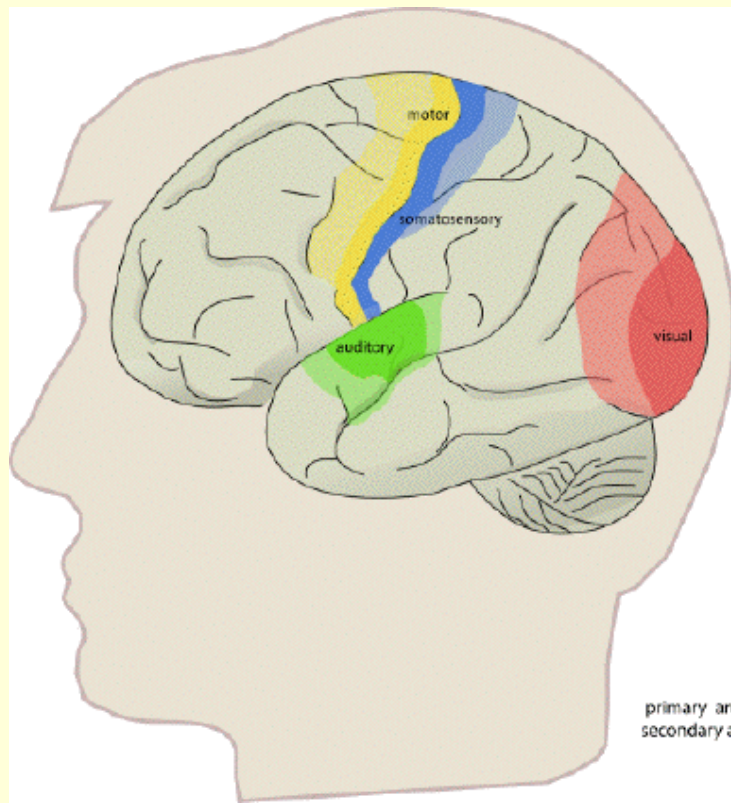
...et l'une des variantes sera nous !

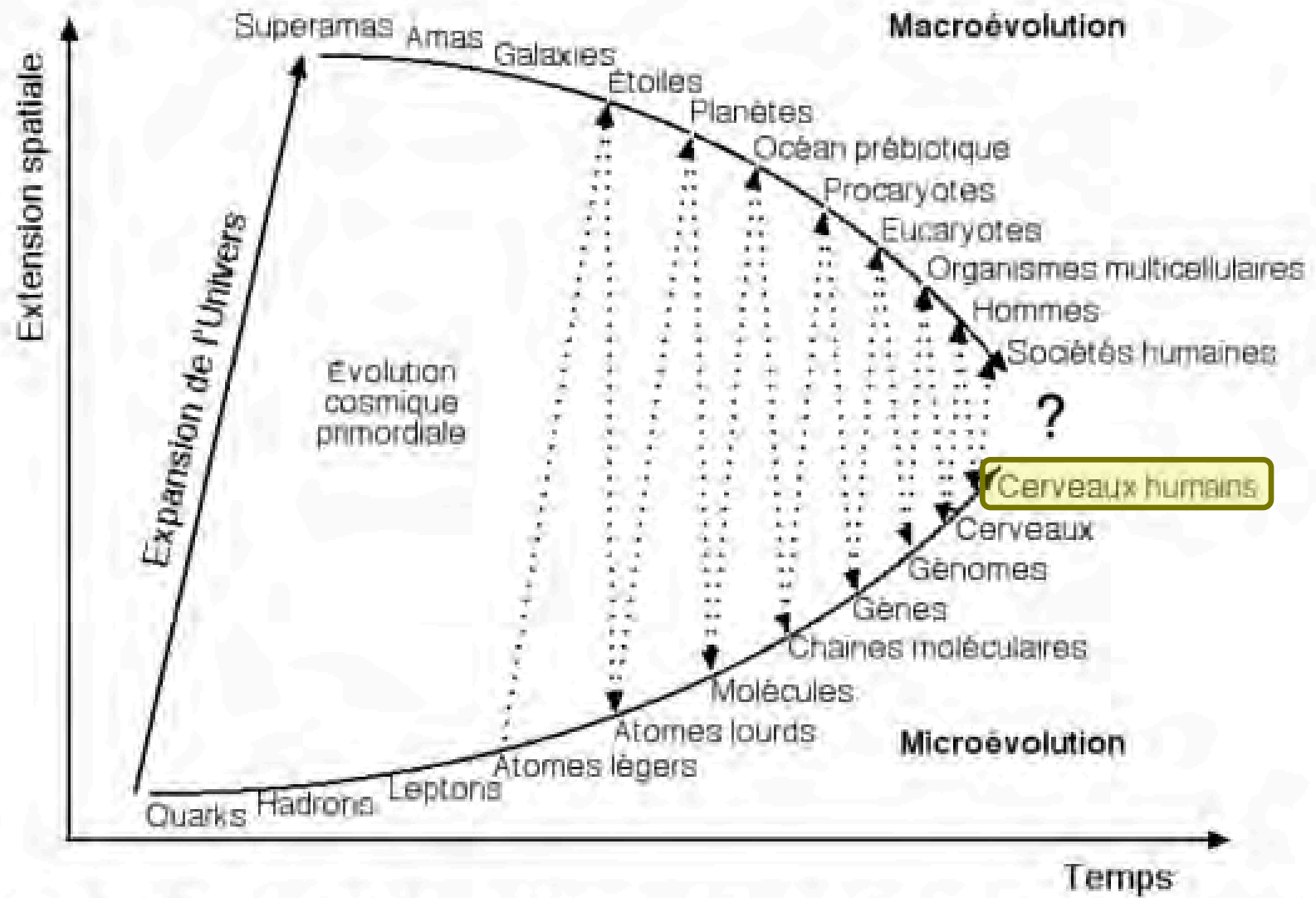


Le cerveau humain est encore construit sur cette **boucle perception – action**,

mais la plus grande partie du cortex humain va essentiellement **moduler cette boucle**,

comme les inter-neurones de l'aplysie.



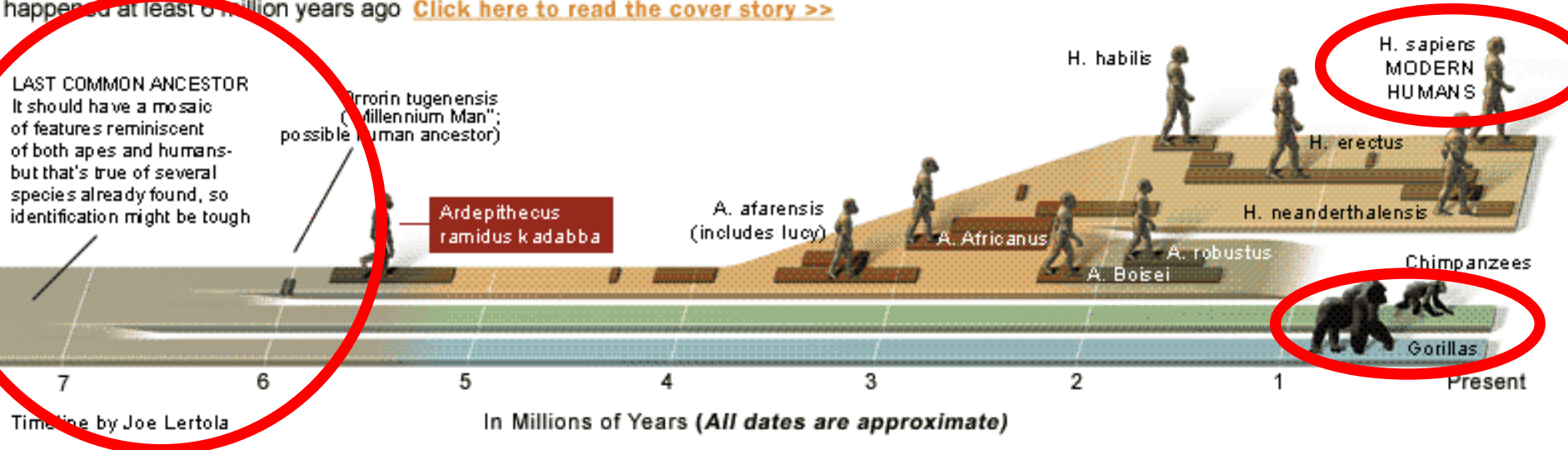


D'après Erich Jantsch, *The self-organizing universe*, Pergamon, 1980.

A WALK THROUGH HUMAN EVOLUTION

The newest fossils have brought scientists tantalizingly close to the time when humans first walked upright—splitting off from the chimpanzees. Their best guess now is that it happened at least 6 million years ago [Click here to read the cover story >>](#)

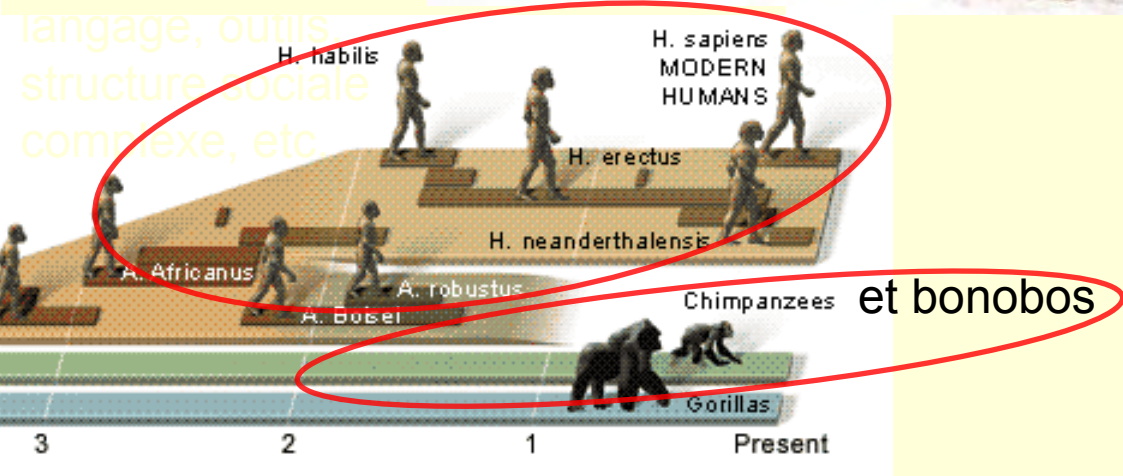
LAST COMMON ANCESTOR
It should have a mosaic of features reminiscent of both apes and humans—but that's true of several species already found, so identification might be tough



Voir aussi :
L'hominisation, ou l'histoire de la lignée humaine.
http://lecerveau.mcgill.ca/flash/capsules/histoire_bleu03.html

Mais rien de comparable aux transformations cognitives chez les hominidés durant à peine plus longtemps (3 millions d'années)

- langage, outils, structure sociale complexe, etc.



CHIMPANZEE VS BONOBO

WHICH TEAM ARE YOU ON?

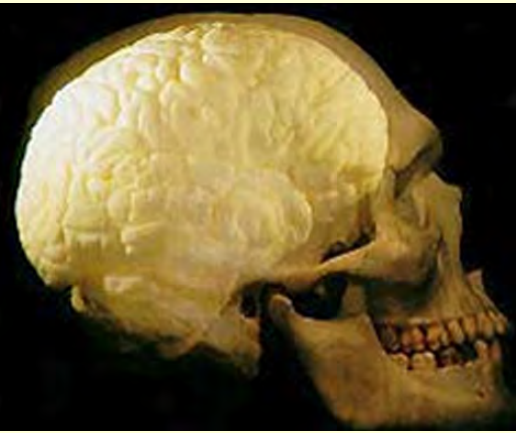
War, violence & **MEN** rule

Peace, love & **WOMEN** rule

A graphic comparing a chimpanzee and a bonobo. The chimpanzee is on the left, holding a stick, with the text 'WHICH TEAM ARE YOU ON?' and 'War, violence & MEN rule'. The bonobo is on the right, with the text 'WHICH TEAM ARE YOU ON?' and 'Peace, love & WOMEN rule'.

Évolution divergente chimpanzés / bonobos
il y a 1-2 millions d'année a donné :

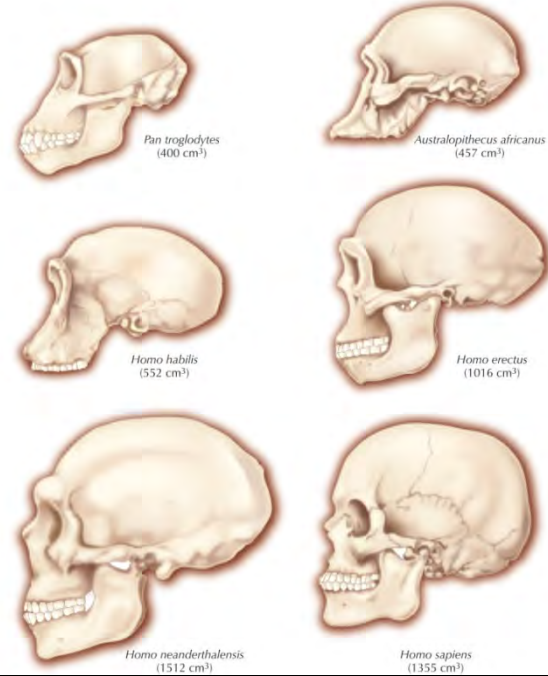
- organisation sociale différente (bonobos: matriarcale; chimpanzé: dominée par mâle alpha)
- utilisation d'outils présente chez l'un (chimpanzé) mais pas chez l'autre.



L'expansion cérébrale

qui nous sépare des grands singes
peut être une part de l'explication
derrière ces changements cognitifs
spectaculaires.

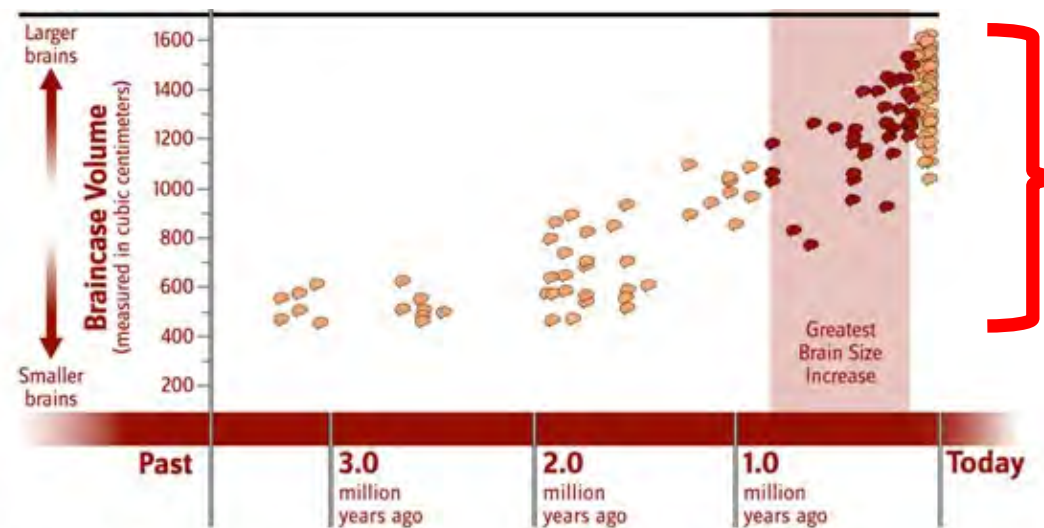
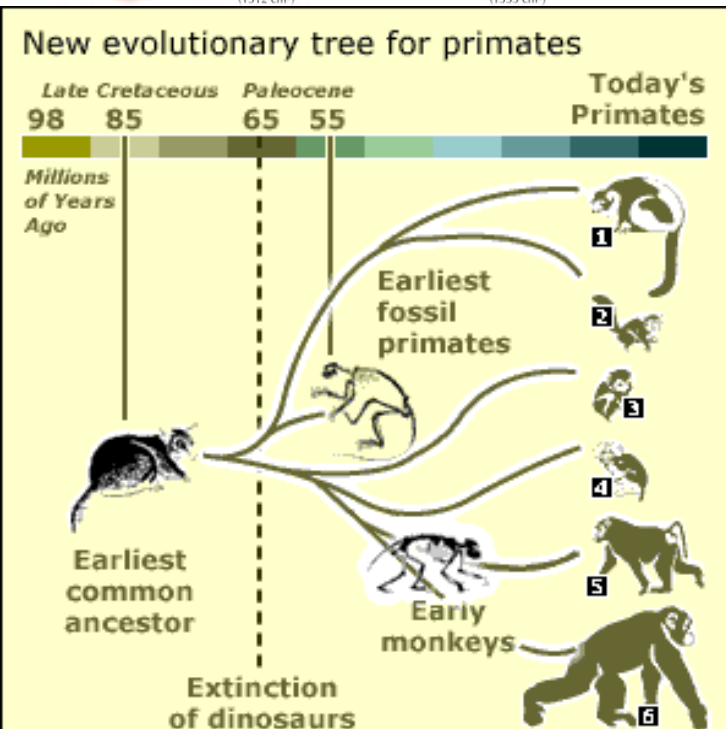
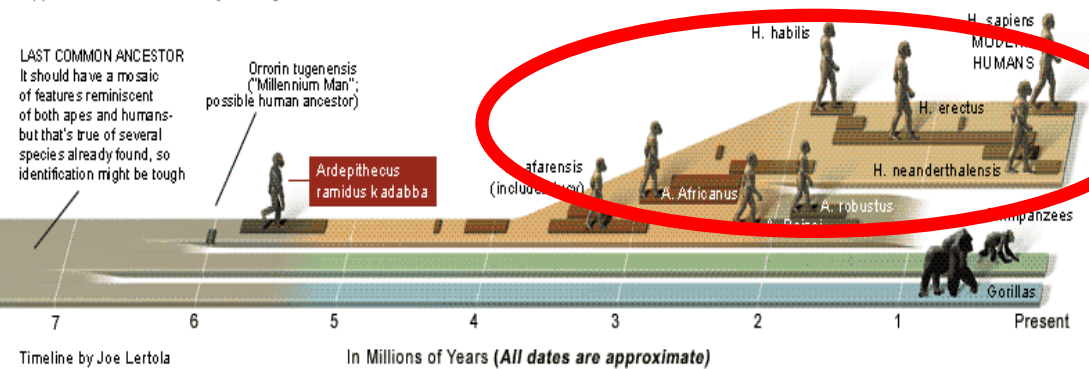




En moins de 4 millions d'années, un temps relativement court à l'échelle de l'évolution, le cerveau des hominidés va **tripler** de volume par rapport à celui qu'il avait acquis en 60 millions d'années d'évolution des primates.

A WALK THROUGH HUMAN EVOLUTION

The newest fossils have brought scientists tantalizingly close to the time when humans first walked upright—splitting off from the chimpanzees. Their best guess now is that it happened at least 6 million years ago [Click here to read the cover story >>](#)



Graphs showing changes in climate and changes in braincase volume.

Plusieurs hypothèses pouvant avoir agi de concert sont encore débattues pour expliquer l'origine de cette expansion cérébrale spectaculaire :

[hypothèses à interpréter dans le cadre de la **sélection naturelle**, moteur important de l'évolution... (mais pas le seul !)]



1 Chimpanzé 2 A. africanus 3 H. habilis 4 KNM-ER 1470 5 Homme de Java 6 Homme de Pékin 7 H. saldensis 8 H. saldensis 9 « Broken Hill » 10 Homme de Néanderthal 11 H. sapiens sapiens

Plusieurs hypothèses pouvant avoir agi de concert sont encore débattues pour expliquer l'origine de cette expansion cérébrale spectaculaire :

la **fabrication d'outils** (car elle nécessite précision motrice, mémoire et planification);

la **chasse** (suivre et prédire le parcours du gibier est facilité par la mémoire fournie par un gros cerveau);

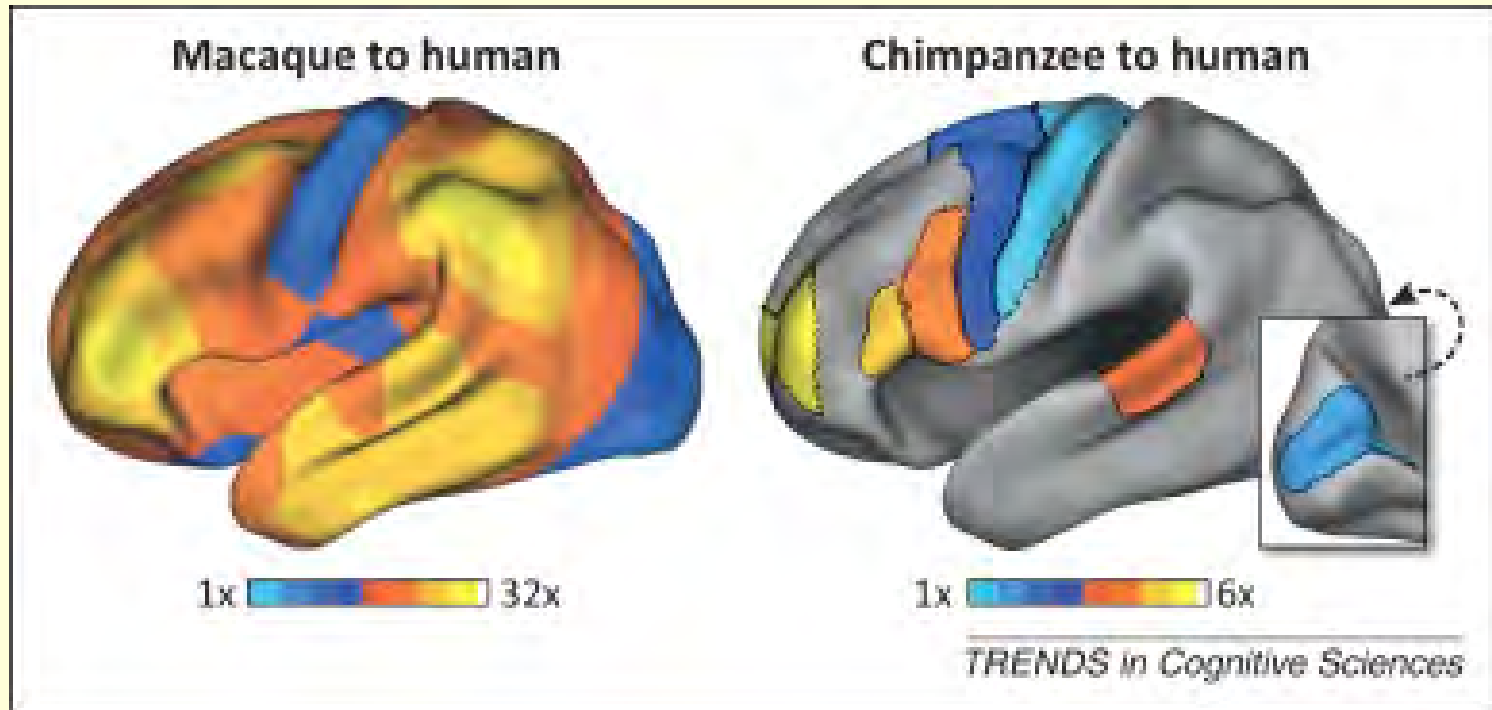
les **règles sociales complexes** (un plus gros cerveau aide à assimiler des conduites sociales complexes);

le **langage** (plusieurs pensent qu'il s'agit d'une adaptation survenue très tôt chez les hominidés).



1 Chimpanzé 2 A. africanus 3 H. habilis 4 KNM-ER 1470 5 Homme de Java 6 Homme de Pékin 7 H. saldensis 8 H. saldensis 9 « Broken Hill » 10 Homme de Néanderthal 11 H. sapiens sapiens

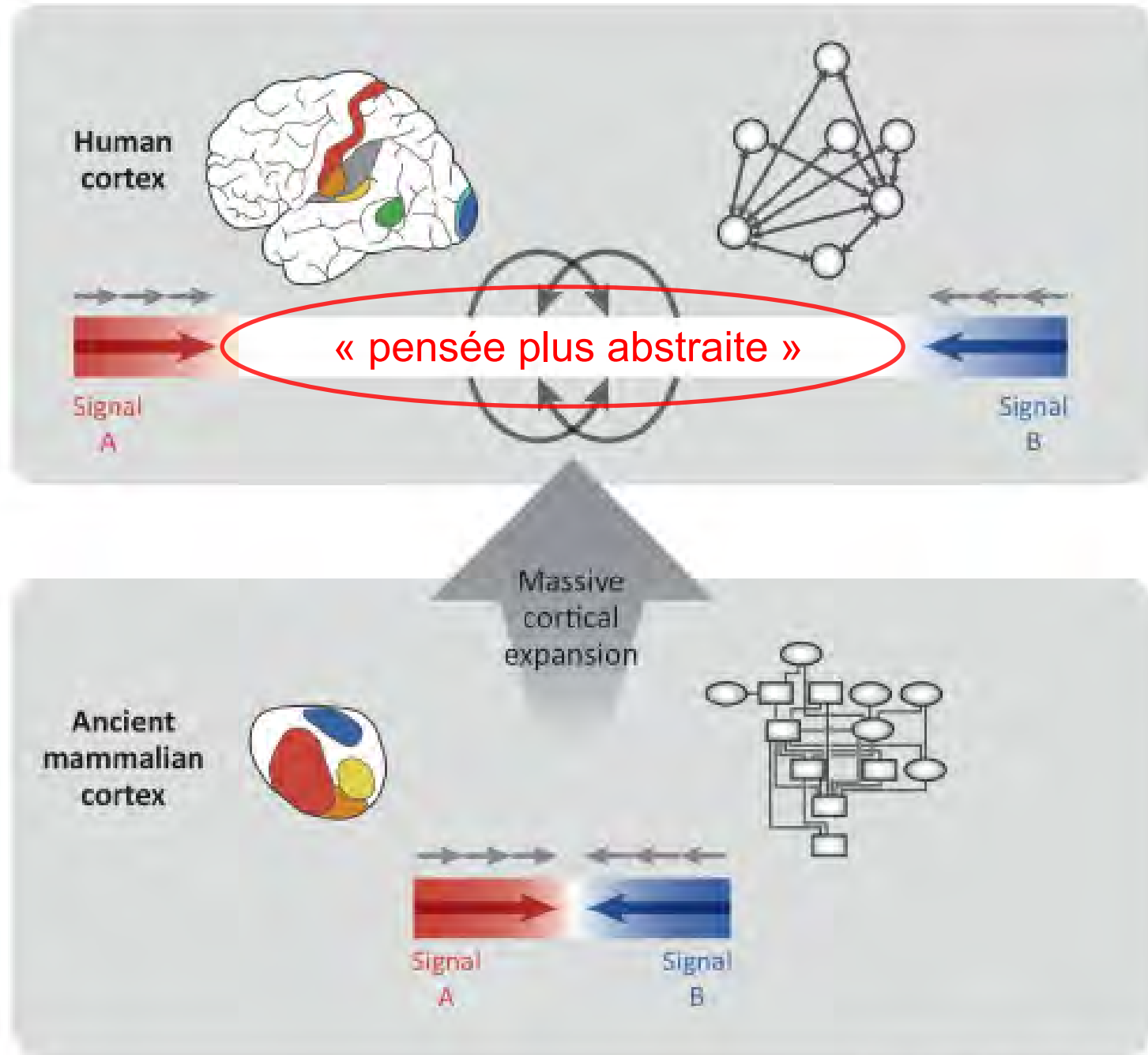
Si l'on revient à la transition des primates à l'humain, on constate que c'est le **cortex dit « associatif »** qui s'est **le plus développé**.

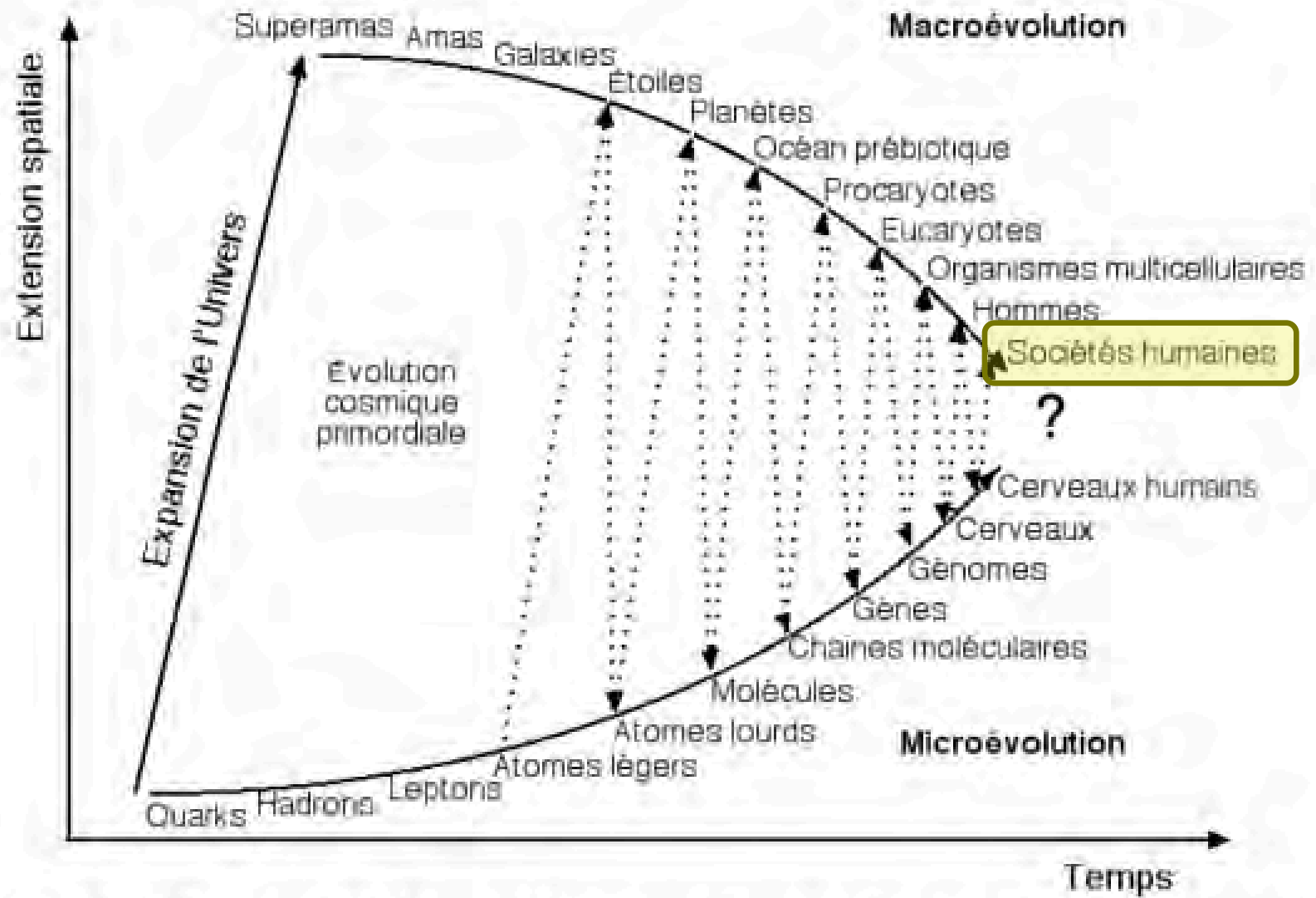


Les couleurs représentent ici la valeur de l'augmentation de surface nécessaire pour que chaque région soit transposée du cerveau de **macaque** et du cerveau de **chimpanzé** au **cerveau humain**.

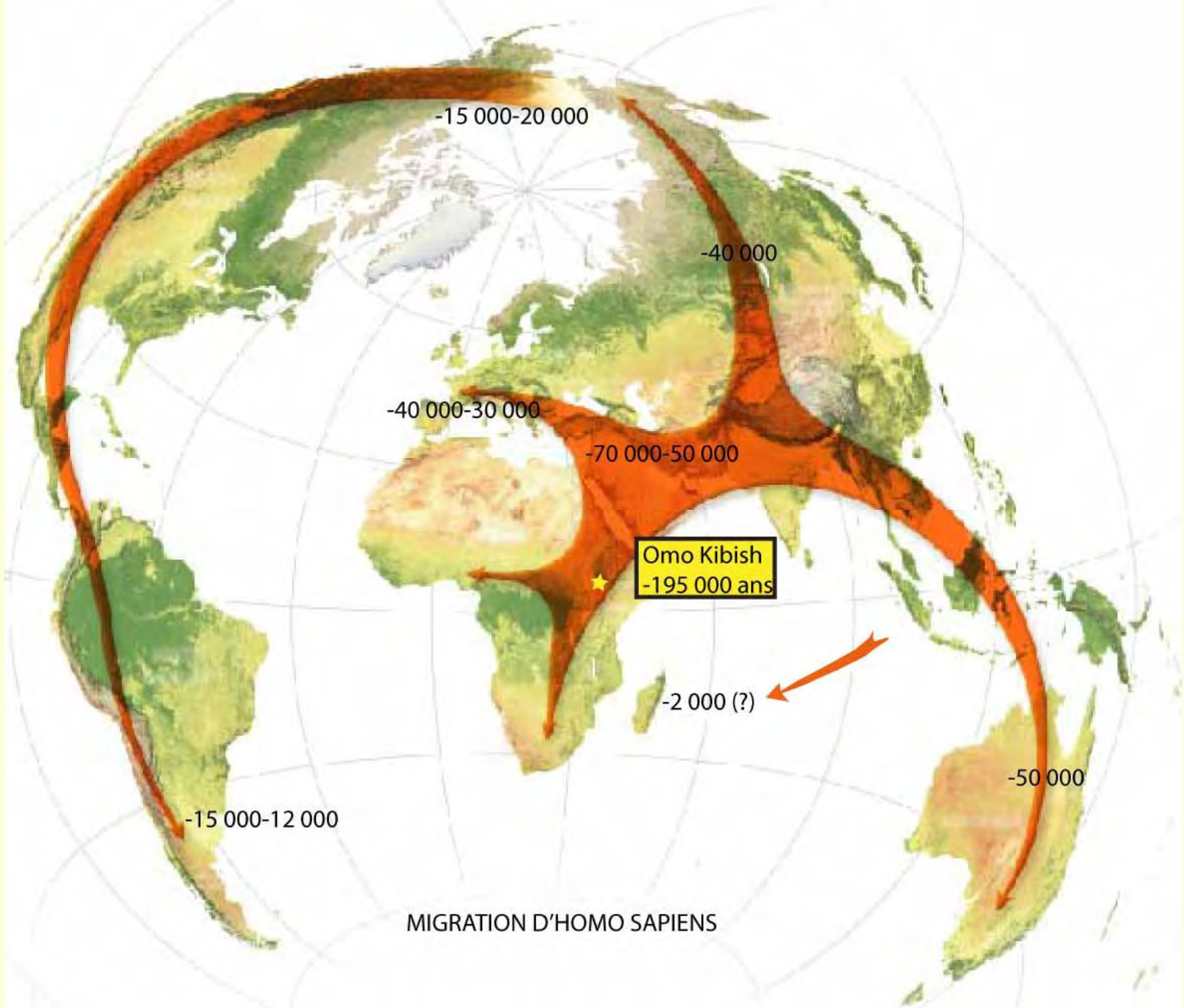
(dont notre ancêtre commun avec le premier auraient vécu il y a environ 25 millions d'années et 5-7 millions d'années pour le second).

L'expansion rapide du cortex chez l'humain a fait émerger de large portions de **cortex dit « associatif »** plus ou moins détachées des cortex sensoriels.





D'après Erich Jantsch, *The self-organizing universe*, Pergamon, 1980.



Apparition du langage :

Nouvelles régions ? Agrandissement d'anciennes régions ?

Réutilisation de certaines régions ou parties de réseaux cérébraux ?

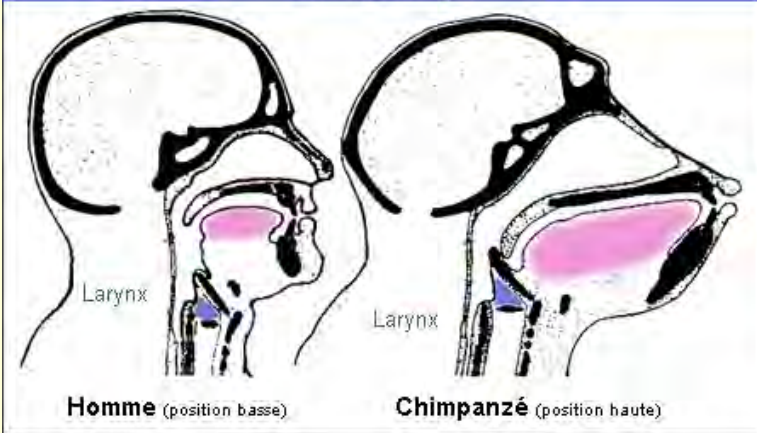


TALKING THE TALK

Macaques diverged from human ancestors 30 million years ago, and their brains have simple language regions. Chimps split off 7 million years ago and have better speech centers

TOP OF THE LINE

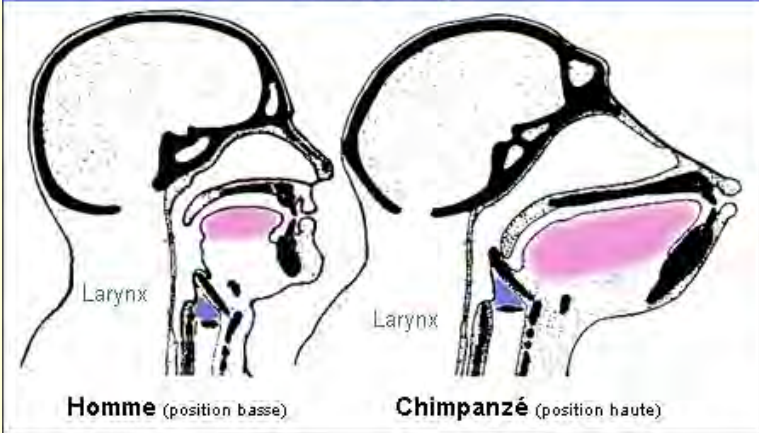
Nothing drives complex societies like language, and the key to human prolixity is the arcuate fasciculus, which weaves together the various brain regions that govern speech



C'est l'***Homo habilis***, il y a plus de deux millions d'années, qui pourrait être le plus ancien préhumain à avoir employé un langage articulé, ce qui ne signifie pas pour autant que son langage était comparable au nôtre.

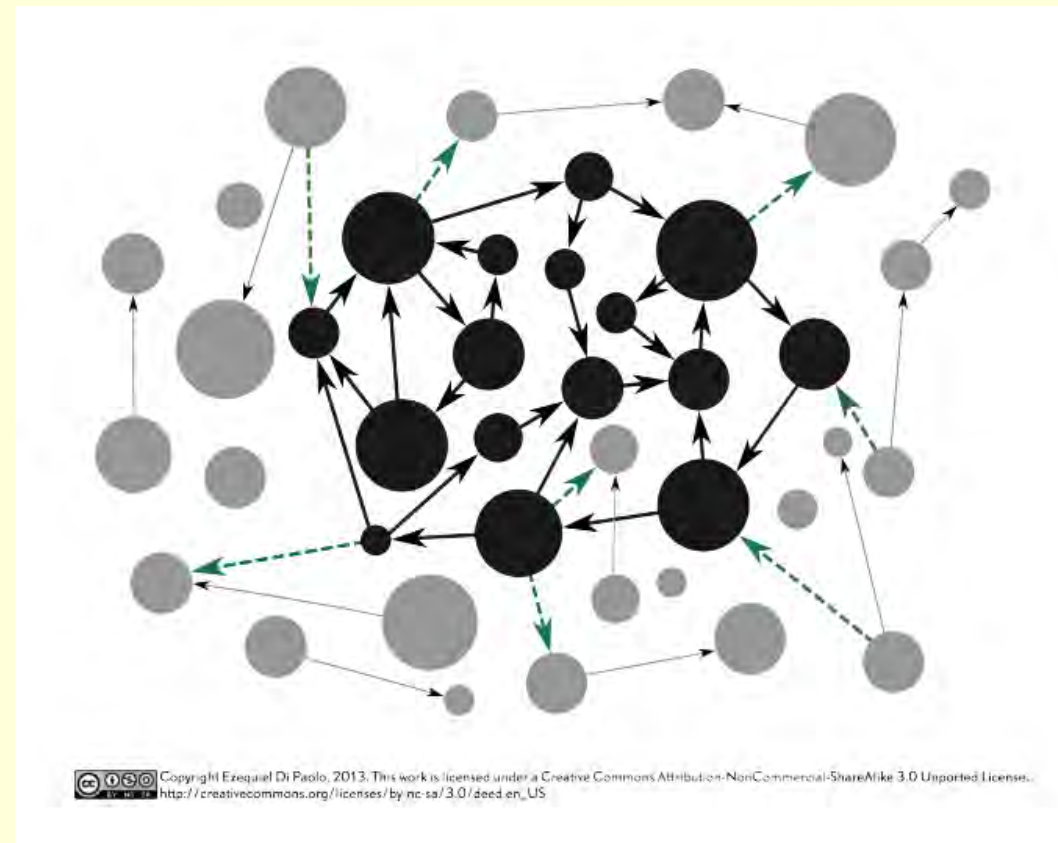
On suppose aussi la présence d'une proto-langue chez l'homme et la femme de **Néandertal** qui, au niveau actuel des connaissances, ne possédait pas de syntaxe.

Avec **Homo sapiens** apparaît l'aire de Broca sur une circonvolution frontale gauche, et celle de Wernicke sur une circonvolution temporale gauche, suivant la mutation génétique d'un ou de plusieurs gènes (FOXP2 ...), il y a cent à deux cent mille ans, donnant la capacité de passer des mots à la syntaxe.



« Les mots [...] sont des indices pour coordonner des actions par le langage. »
(L'arbre de la connaissance, p.228)

« Ce qui est pertinent est la **coordination d'actions** [que les langues] provoquent



Copyright Ezequiel Di Paolo, 2013. This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 3.0 Unported License. http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/deed_en_US

En noir : ~~une cellule~~ ~~un organisme~~ **un groupe humain**



Mais le soir, quand la **maîtrise du feu** a permis d'allonger le temps d'éveil, on peut utiliser le langage pour se raconter des histoires...



samedi 18 juillet **2015**

La glace et le feu

<http://www.franceinter.fr/emission-sur-les-epaules-de-darwin-la-glace-et-le-feu-0>

Argile du passé (2)

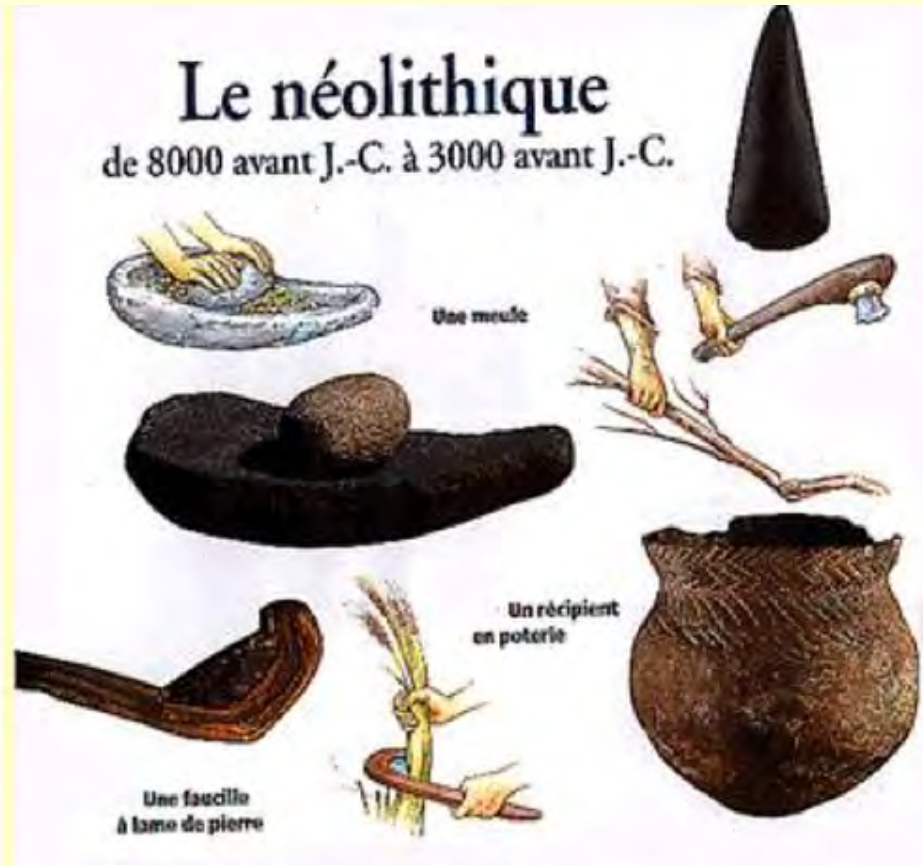
<http://www.franceinter.fr/player/reecouter?play=1188741>

...et représenter ces récits par des peintures.



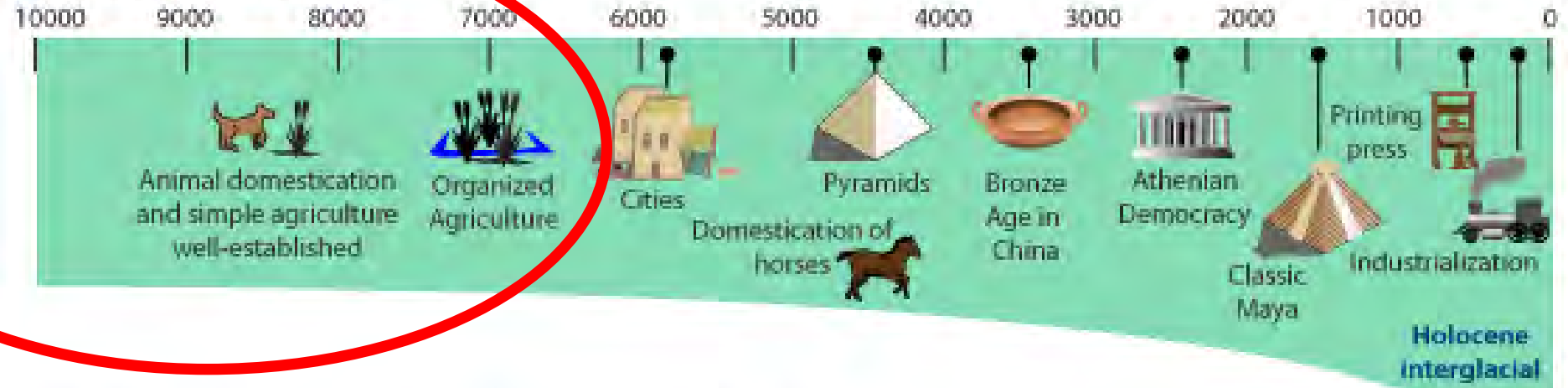
Jusqu'à il y a 8000 – 10 000 ans,
on était dans :

Puis c'est la fixation au sol
avec la « révolution » du
néolithique :



Global Climate, Human Evolution and Civilization

Years before present (1950)



franceinter par Jean-Claude Ameisen
le samedi de 11h05 à 12h
sur les épaules de Darwin

accueil
.....
écoutez le direct
.....
programmes
.....
émissions
.....
chroniques



A la découverte de Neandertal en nous...

<http://www.franceinter.fr/player/reecouter?play=879632>

Apprivoiser la nature

<http://www.franceinter.fr/emission-sur-les-epaules-de-darwin-apprivoiser-la-nature>

Aux origines de l'agriculture

<http://www.franceinter.fr/emission-sur-les-epaules-de-darwin-aux-origines-de-lagriculture>

Co-évolution gène-culture

Exemple classique : la pratique culturellement transmise de l'élevage qui a favorisé la transmission d'allèles de gènes pour la **tolérance au lactose** dans certaines populations humaines.

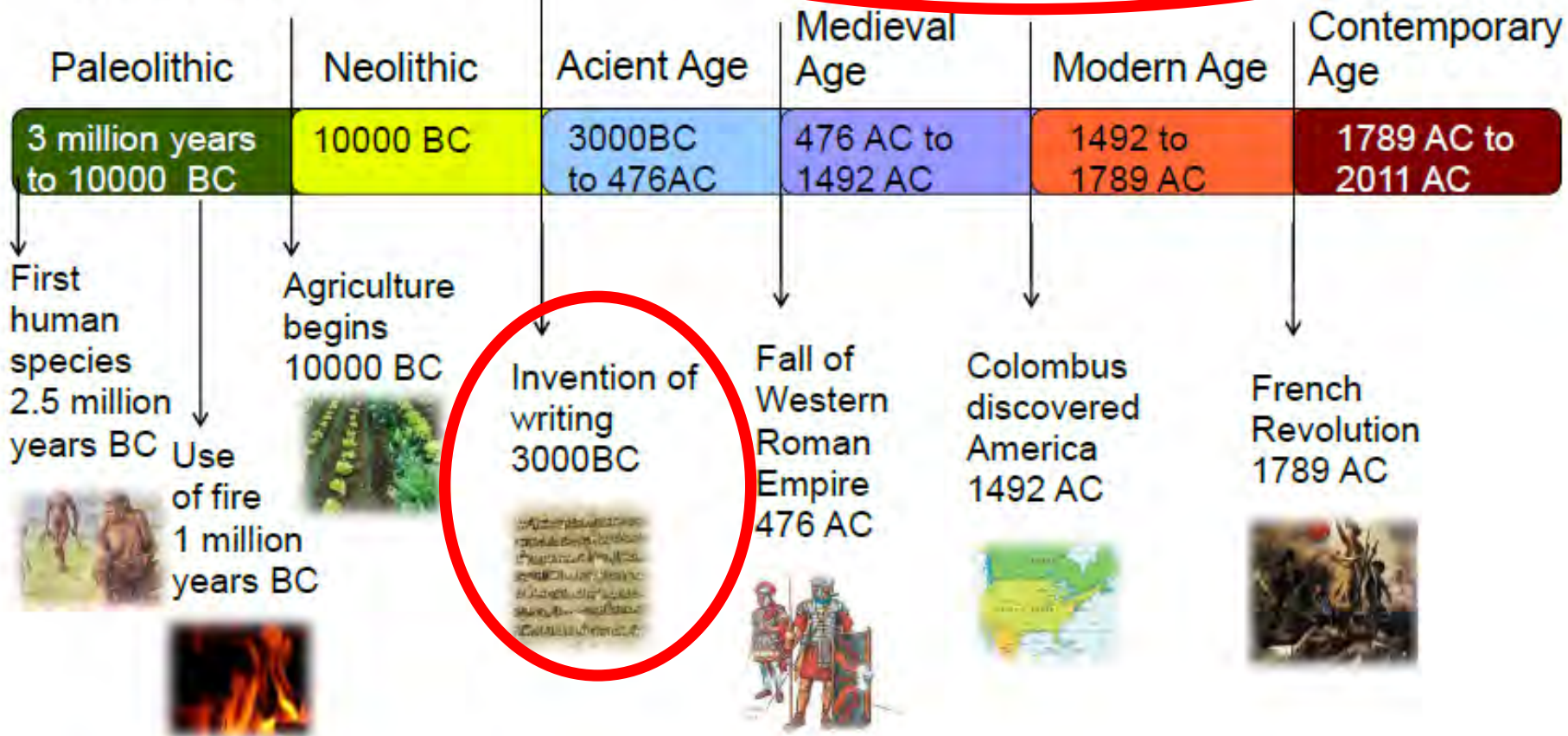
Des centaines de gènes humains **évoluent probablement encore** en réponse à une pression sélective venant de pratiques culturelles...

Prehistory

3 million years to 3000 BC

History

3000 BC to nowadays

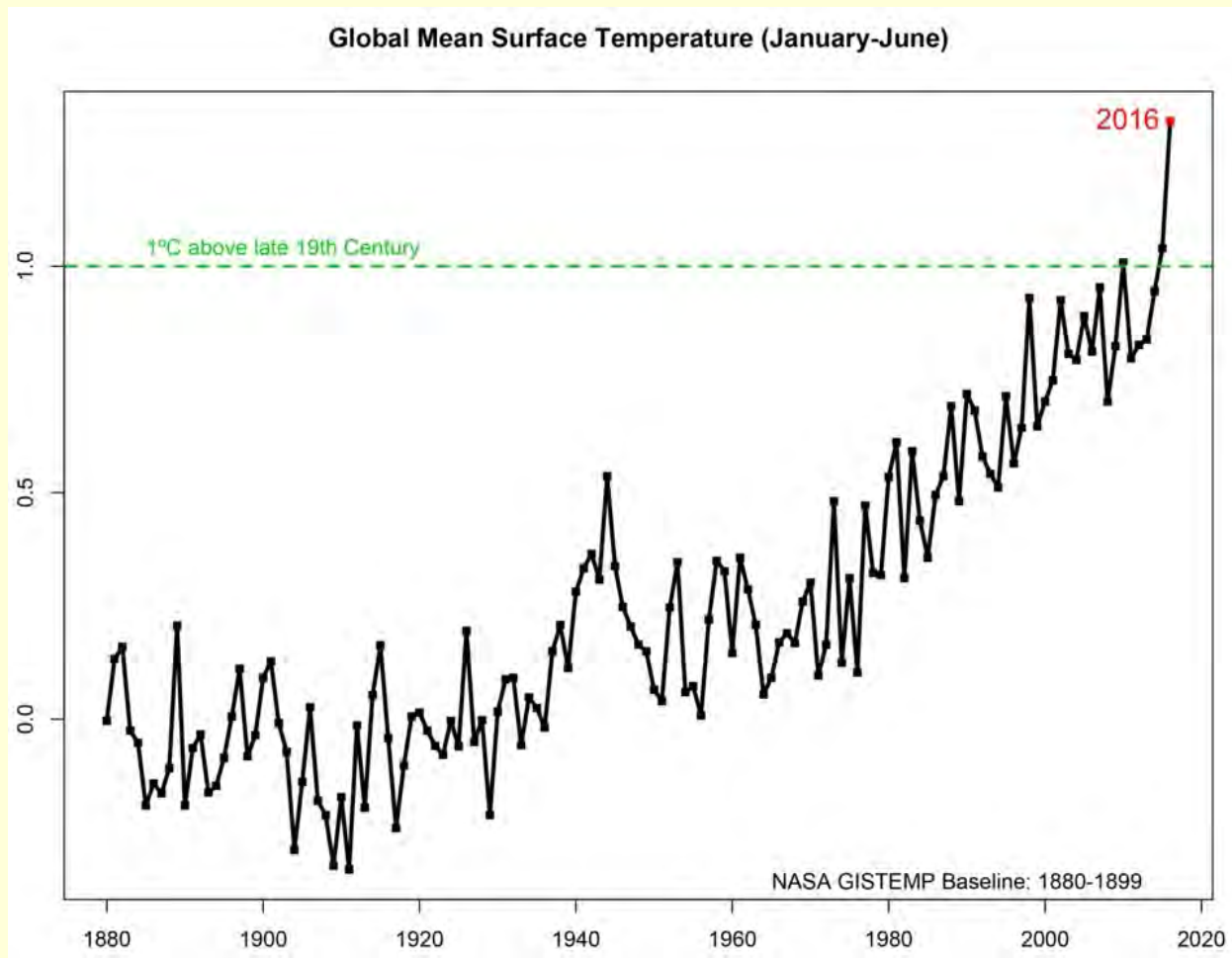


Climat : les records s'accroissent trop vite

25 juillet 2016

<http://www.sciencepresse.qc.ca/actualite/2016/07/25/climat-records-s'accroissent-trop-vite>

Ce n'est pas seulement le 14e mois d'affilée à battre un record de chaleur, le semestre le plus chaud en 130 ans et la fonte estivale des glaces de l'Arctique la plus hâtive. C'est surtout que tout cela se produit plus vite que ce qui semblait possible.





Une pénurie d'eau guette le monde si les habitudes de consommation n'évoluent pas

Publication: **20 mars 2015**

Le monde pourrait devoir composer avec une **pénurie d'eau de l'ordre de 40 % d'ici à peine 15 ans** si les États ne révisent pas profondément leur façon d'utiliser la ressource, selon un rapport de l'Organisation des Nations unies (ONU) dévoilé vendredi.

Le niveau de plusieurs nappes phréatiques est déjà inquiétant et les modèles relatifs aux précipitations pourraient devenir plus erratiques en raison des changements climatiques.

http://quebec.huffingtonpost.ca/2015/03/20/penurie-eau-monde_n_6910294.html

La question est peut-être au fond de savoir si la complexité va continuer de croître dans l'univers et si une forme de conscience sera là pour s'en rendre compte !

Ou si elle va s'arrêter avec le « summum de l'intelligence » qu'elle semble avoir atteint...

