

D'où venons-nous ?

Une quête sur l'origine du cerveau humain

Cégep du Vieux-Montréal

4 avril 2022



LE CERVEAU À TOUS LES NIVEAUX!



- Mode d'emploi
- Visite guidée
- Plan du site
- Diffusion
- Présentations
- Nouveautés
- **English**

Recherche -> site + bloque

www.lecerveau.mcgill.ca

Principes fondamentaux



Du simple au complexe

- Anatomie des niveaux d'organisation
- Fonction des niveaux d'organisation



Le bricolage de l'évolution

- Notre héritage évolutif



Le développement de nos facultés

- De l'embryon à la morale



Le plaisir et la douleur

- La quête du plaisir
- Les paradis artificiels
- L'évitement de la douleur



Les détecteurs sensoriels

- La vision



Le corps en mouvement

- Produire un mouvement volontaire

Fonctions complexes



Au coeur de la mémoire

- Les traces de l'apprentissage
- Oubli et amnésie



Que d'émotions

- Peur, anxiété et angoisse
- Désir, amour, attachement



De la pensée au langage

- Communiquer avec des mots



Dormir, rêver...

- Le cycle éveil - sommeil - rêve
- Nos horloges biologiques



L'émergence de la conscience

- Le sentiment d'être soi

Dysfonctions



Les troubles de l'esprit

- Dépression et maniaque-dépression
- Les troubles anxieux
- La démence de type Alzheimer

Nouveau! "L'école des profs"

LE CERVEAU À TOUS LES NIVEAUX!

[Retour à l'accueil](#)

Niveau d'explication

Débutant
Intermédiaire
Avancé



Niveau d'organisation

- △ Social
- Psychologique
- Cérébral
- Cellulaire
- ▽ Moléculaire

Thème

Le plaisir et la douleur



Sous-thème

- La quête du plaisir
- Les paradis artificiels
- L'évitement de la douleur

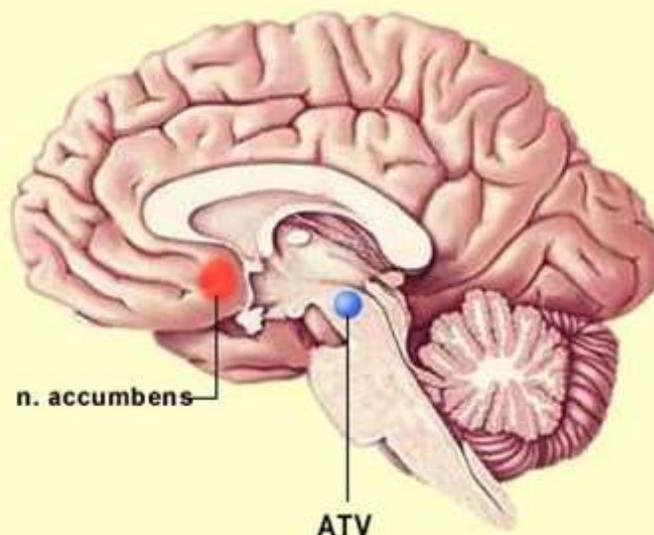


Un stimulus sensoriel qui n'apporte ni récompense ni punition est rapidement ignoré et oublié. C'est le phénomène de l'habituation qui nous fait oublier le contact de nos vêtements avec notre peau ou le tic tac de l'horloge du bureau.

LES CENTRES DU PLAISIR

1

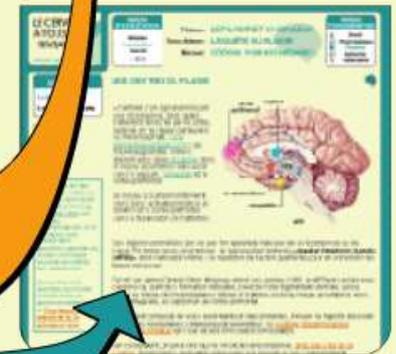
Pour qu'une espèce survive, ses individus doivent en premier lieu assurer leurs fonctions vitales comme se nourrir, réagir à l'agression et se reproduire. L'évolution a donc mis en place dans notre cerveau des régions dont le rôle est de "récompenser" l'exécution de ces fonctions vitales par une sensation agréable.



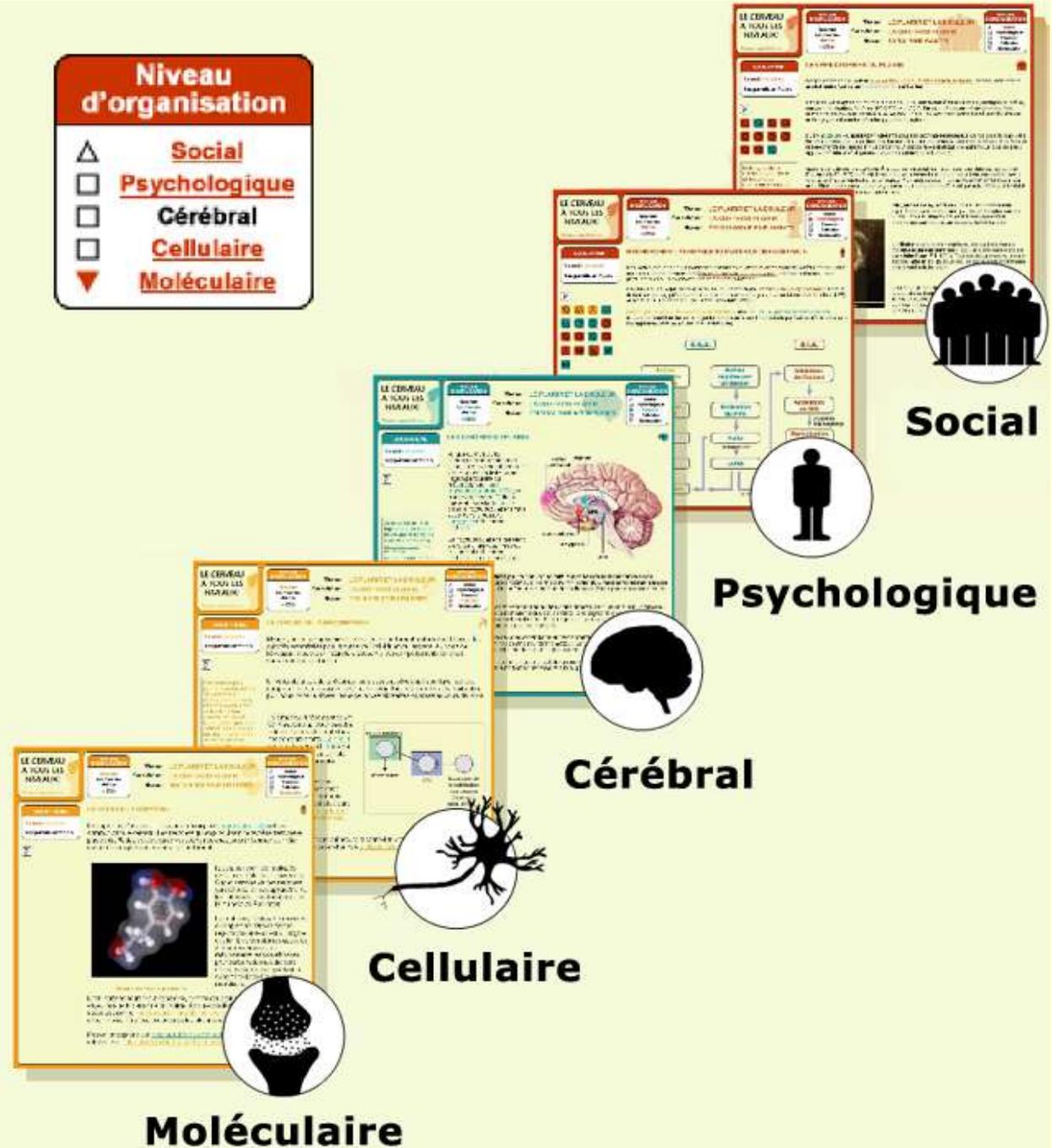
Ce sont ces régions, interconnectées entre elles, qui forment ce que l'on appelle le **circuit de la récompense**.

L'aire tegmentale ventrale (ATV), un groupe de neurones situés en plein centre du cerveau, est particulièrement importante dans ce circuit. Elle reçoit de l'information de plusieurs autres régions qui l'informent du niveau de satisfaction des besoins fondamentaux ou plus spécifiquement humains.

3 niveaux d'explication



5 niveaux d'organisation



LE CERVEAU À TOUS LES NIVEAUX!

- Mode d'emploi
- Visite guidée
- Plan du site
- Diffusion
- **Présentations**
- Nouveautés
- English

Recherche -> site + blogue

www.lecerveau.mcgill.ca

Nouveau! "L'école des profs"

Principes fondamentaux



Du simple au complexe

- ➔ Anatomie des niveaux d'organisation
- ➔ Fonction des niveaux d'organisation



Le bricolage de l'évolution

- ➔ Notre héritage évolutif



Le développement de nos facultés

- ➔ De l'embryon à la morale



Le plaisir et la douleur

- ➔ La quête du plaisir
- ➔ Les paradis artificiels
- ➔ L'évitement de la douleur



Les détecteurs sensoriels

- ➔ La vision



Le corps en mouvement

- ➔ Produire un mouvement volontaire

Fonctions complexes



Au coeur de la mémoire

- ➔ Les traces de l'apprentissage
- ➔ Oubli et amnésie



Que d'émotions

- ➔ Peur, anxiété et angoisse
- ➔ Désir, amour, attachement



De la pensée au langage

- ➔ Communiquer avec des mots



Dormir, rêver...

- ➔ Le cycle éveil - sommeil - rêve
- ➔ Nos horloges biologiques



L'émergence de la conscience

- ➔ Le sentiment d'être soi

Dysfonctions



Les troubles de l'esprit

- ➔ Dépression et maniaque-dépression
- ➔ Les troubles anxieux
- ➔ La démence de type Alzheimer

Le BLOGUE du CERVEAU À TOUS LES NIVEAUX

Accueil du site

Recherche -> blogue

Billets par catégorie



Abonnez-vous !

NOUVELLES RÉCENTES SUR LE CERVEAU



Lundi, 5 septembre 2016

« La cognition incarnée », séance 1 : Survol historique des sciences cognitives et présentation du cours



Comme promis il y a deux semaines, voici donc un bref aperçu du premier cours sur la

« cognition incarnée » que je donnerai mercredi à 18h au local A-1745 du pavillon Hubert-Aquin de l'UQAM. Et

Faire un don

nous permet de continuer

Après nous avoir appuyés pendant plus de dix ans, des resserrements budgétaires ont forcé l'INSMT à interrompre le financement du Cerveau à tous les niveaux le 31 mars 2013.

Malgré tous nos efforts (et malgré la reconnaissance de notre travail par les organismes approchés), nous ne sommes pas parvenus à trouver de nouvelles sources de

OFFRES DE PRÉSENTATIONS SUR LE CERVEAU

Cliquez ici pour une sélection de conférences que je peux présenter dans votre école.



[Dix cours gratuits sur le « cerveau-corps » avec du contenu publié sur ce blogue !](#)



"L'école des profs"

Cours intensifs de perfectionnement en neurosciences cognitives

2014

[École des profs](#)
[École des profs](#)
[Université du](#)

(cliquez ici pour les détails)

2015

[École des profs](#)
[École des profs](#)
[École des profs](#)
[École des profs](#)
[Université du](#)
[École des profs](#)

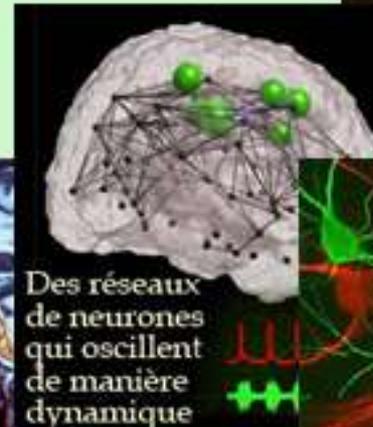
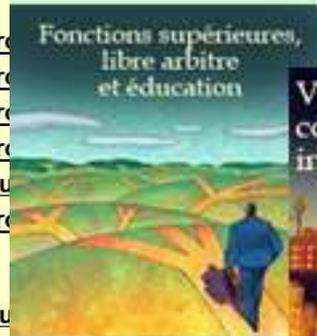
2016

[Université du](#)
[École des profs](#)
[École des profs](#)
[École des profs](#)
[École des profs](#)

2017

[Université du troisième âge de Vaudreuil-Dorion \(14 février - 4 avril 2017\)](#)
[École des profs du centre d'ostéopathie du Québec \(17 février 2017\)](#)
[UPop Montréal : Pourquoi le cerveau a besoin du corps et de l'environnement pour penser \(6 juin 2017\)](#)
[École des profs du cégep Édouard-Montpetit \(6 juin 2017\)](#)
[Université du troisième âge de St-Bruno et Longueuil \(18 septembre - 13 novembre 2017\)](#)

2018



Des réseaux de neurones qui oscillent de manière dynamique



2:40 / 4:43

<https://www.youtube.com/watch?v=9lyJ3uoDMsg>



“ASSIGNMENT: EARTH”



J'avais oublié comment
ça pouvait être cool,
des humains...

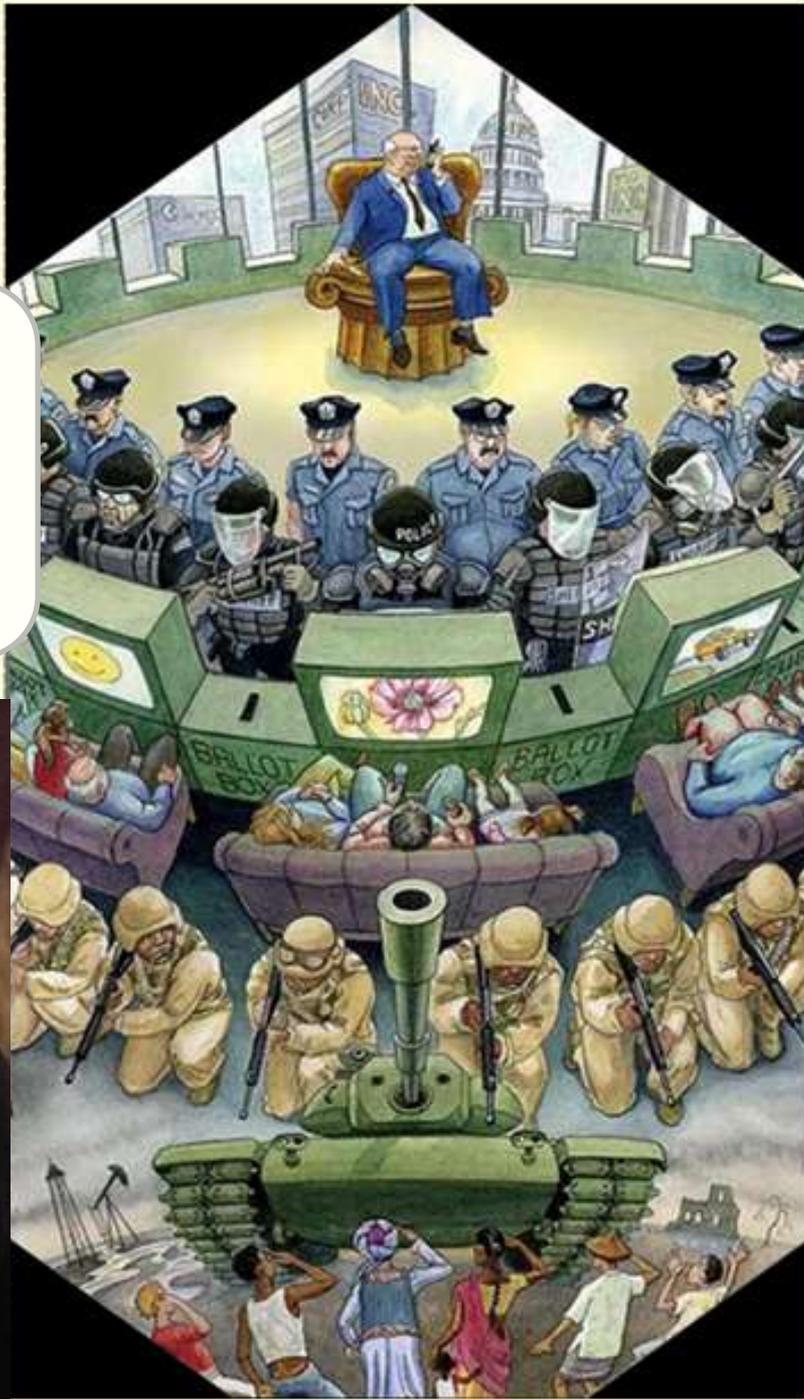


Capitaine, vous êtes influencé émotionnellement par ce que vous voyez.

Vous savez très bien que cette espèce n'est pas toujours si gentille...



Il y a des individus
égoïstes, violents,
apathiques,
conditionnés, soumis
ou exploités...



Et le plus étonnant dans tout ça, c'est qu'ils possèdent tous un cerveau humain !





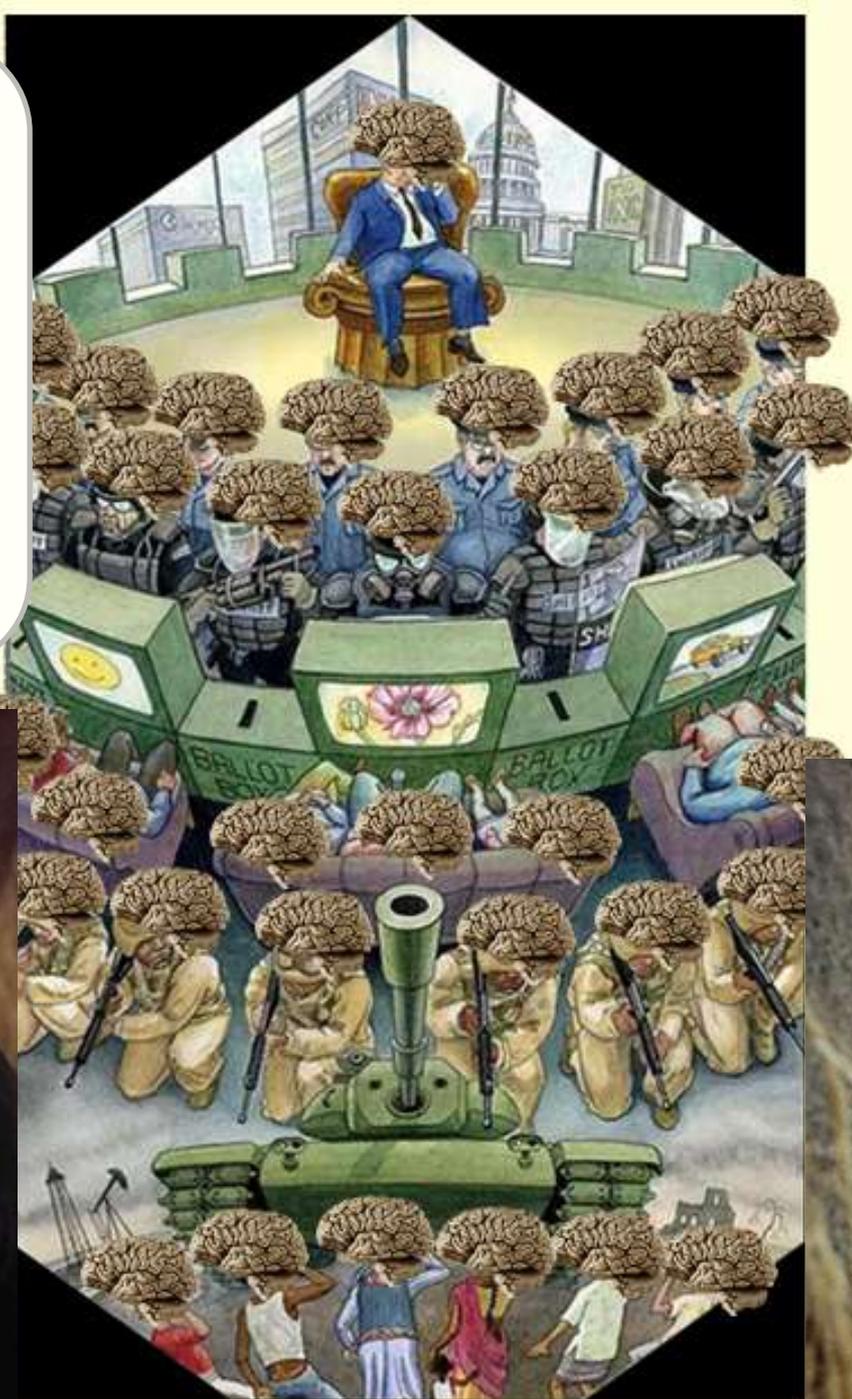
Comment expliquer ça,
monsieur Spock ?

D'où vient cette étrange
espèce ?



Le cerveau humain a une longue histoire, capitaine.

Pour répondre à votre question, il faudrait au minimum évoquer les grands moments de cette histoire.





Je veux comprendre,
monsieur Spock.

Racontez-moi...



D'accord. Mais pour faire un récit rationnel du système nerveux humain, il va falloir remonter très loin dans le temps...



Et pour être certain de ne rien manquer, on va remonter au tout début de l'univers, jusqu'au... Big Bang !



Je vais retourner sur
l'Entreprise d'où je
pourrai vous montrer des
images de tout ça.

Beam me up, Scotty !





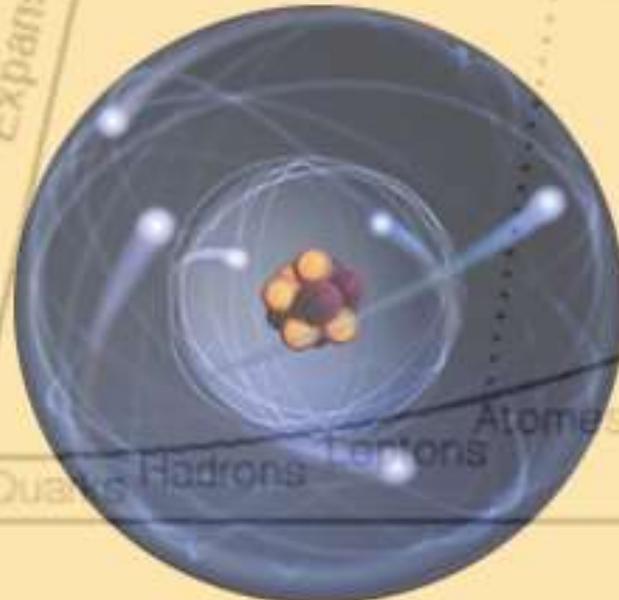
Extension spatiale

Expansion de l'Univers

Superamas Amas Galaxies Étoiles Planètes



Evolution cosmique primordiale



Quarks Hadrons Partons

Océan pré Proc

Molécules

Atomes lourds

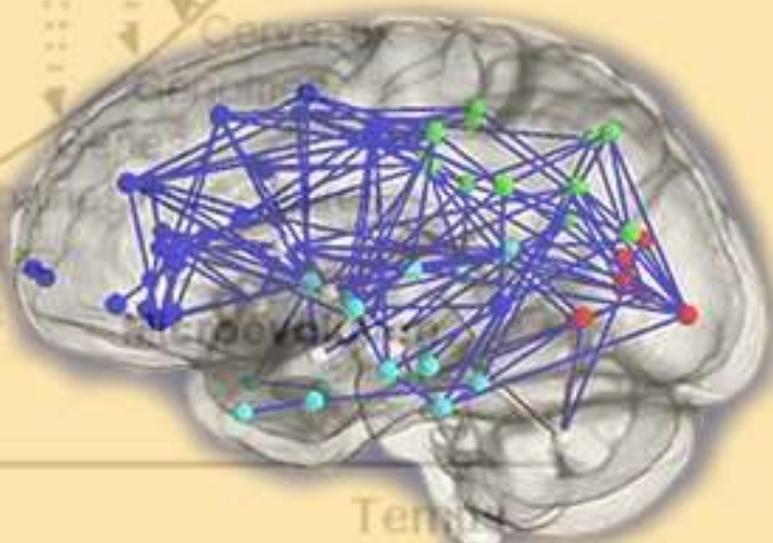
Atomes légers



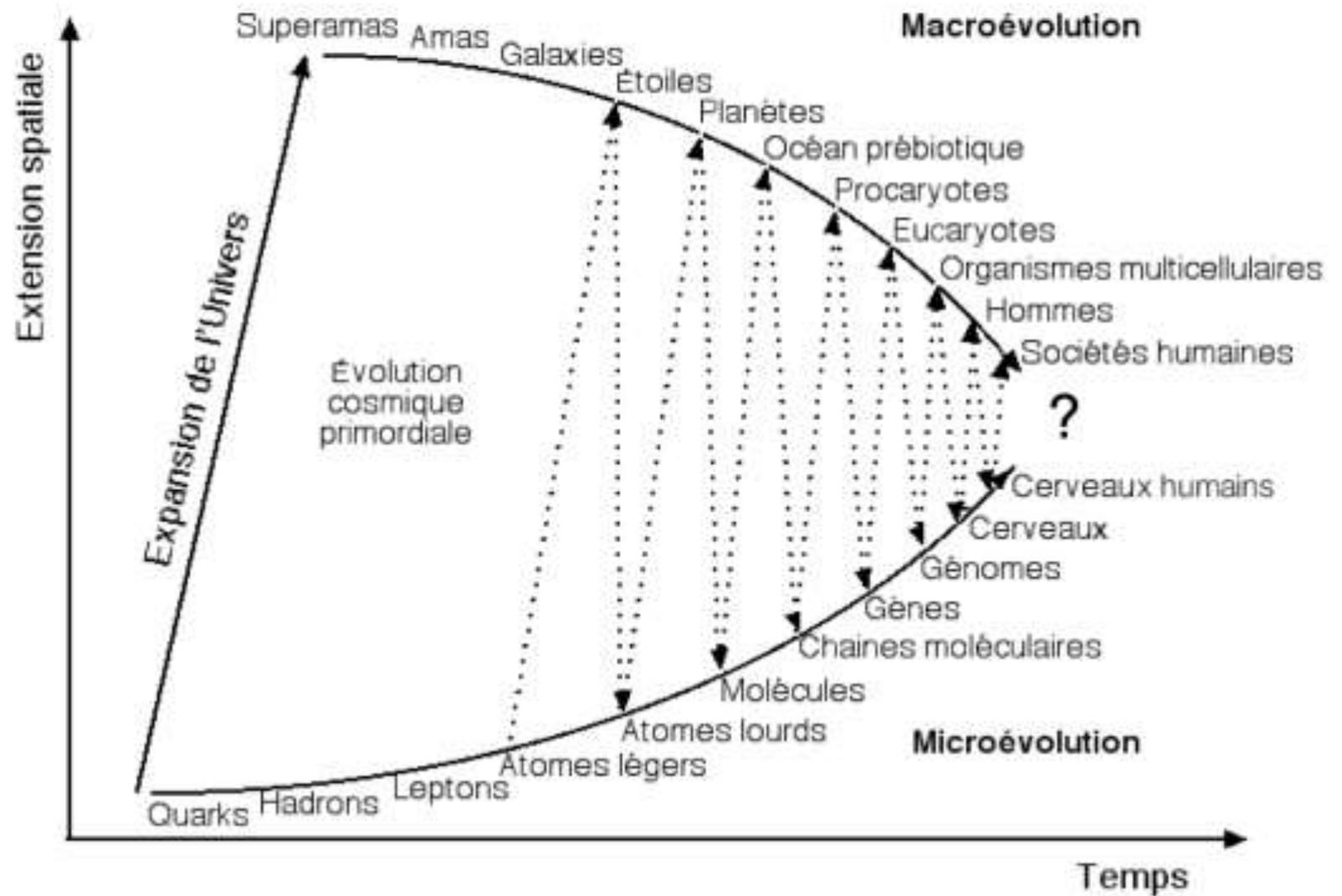
Sociétés humaines

?

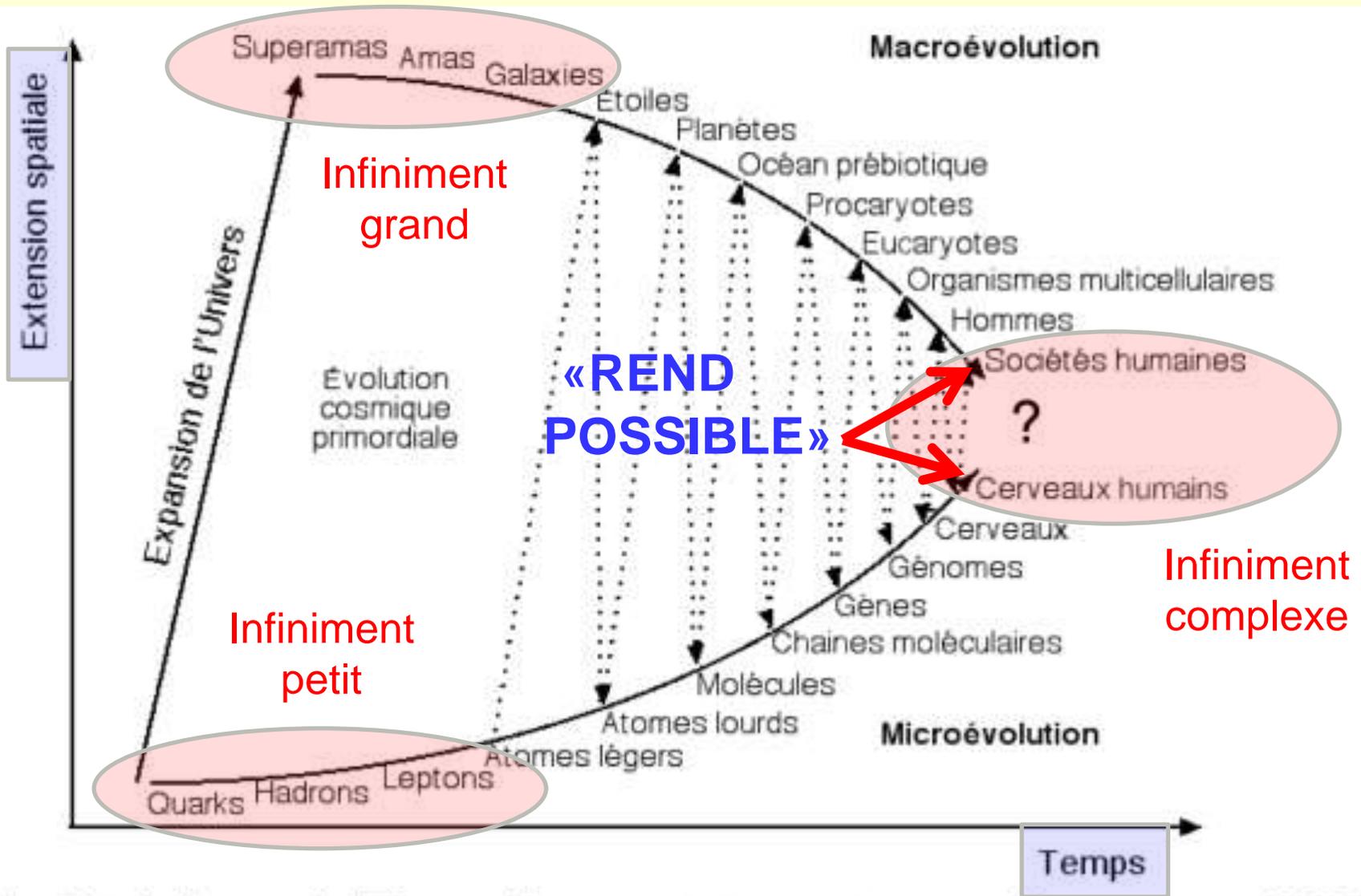
Cerveaux humains



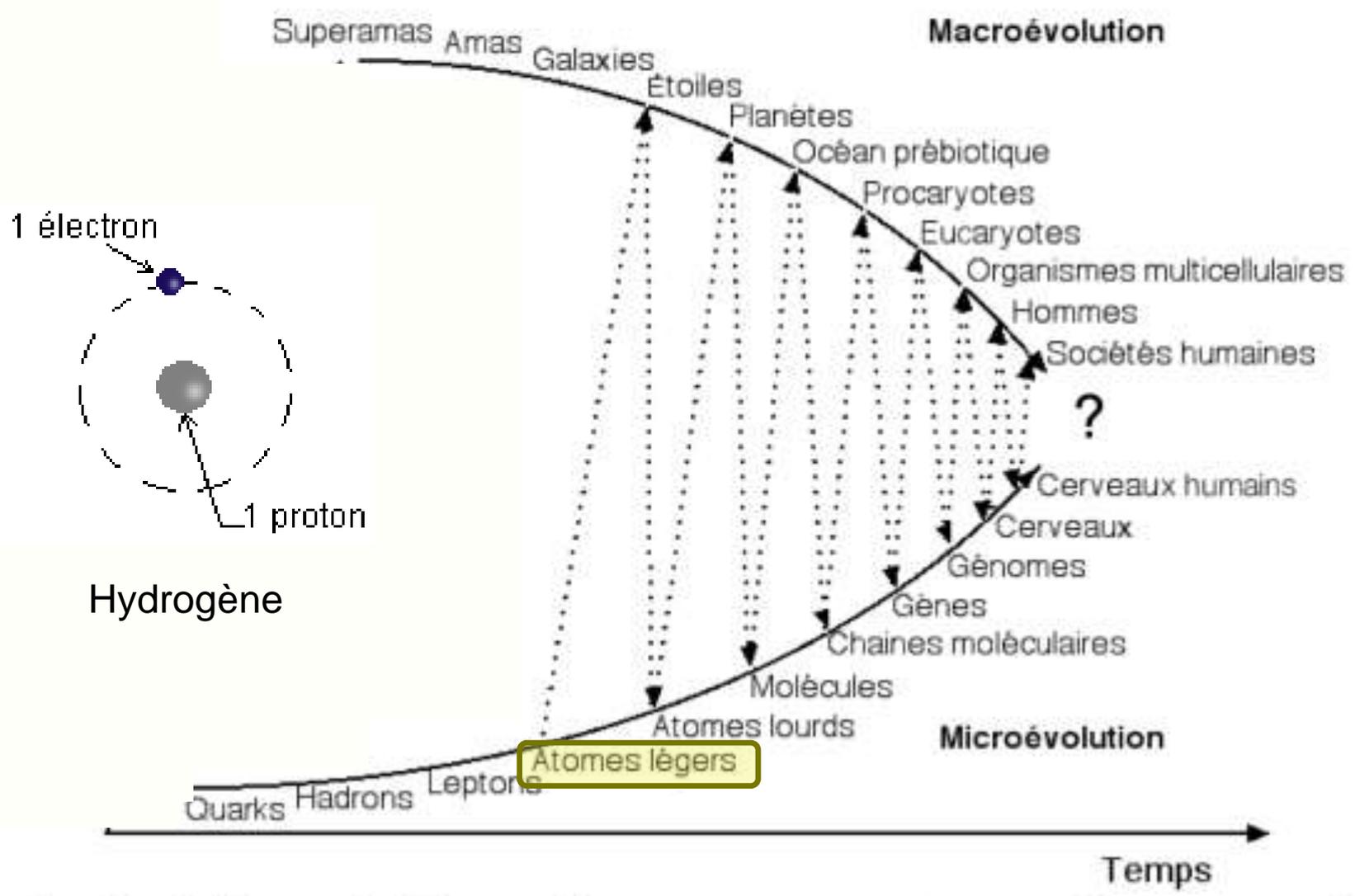
Temps

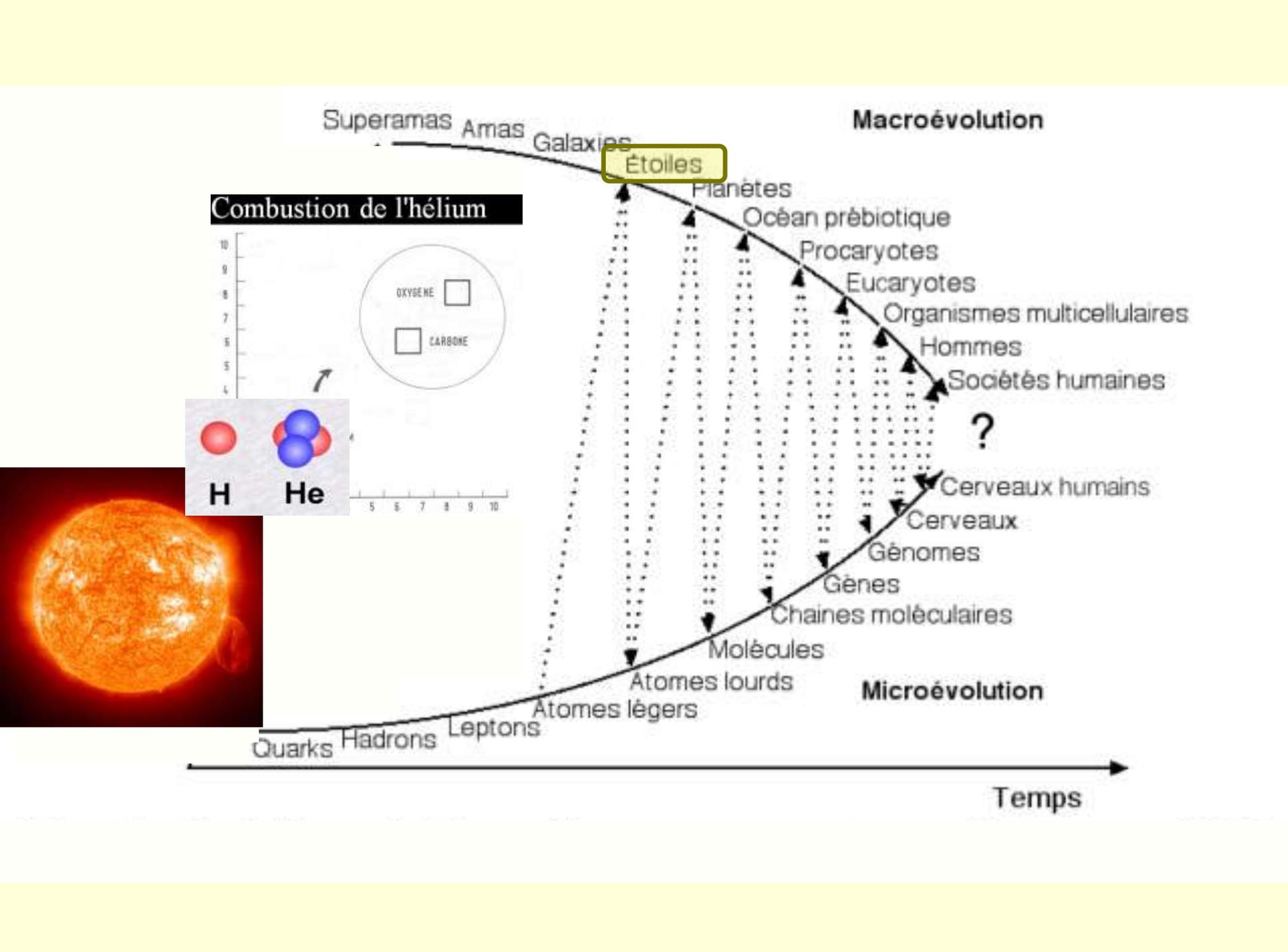


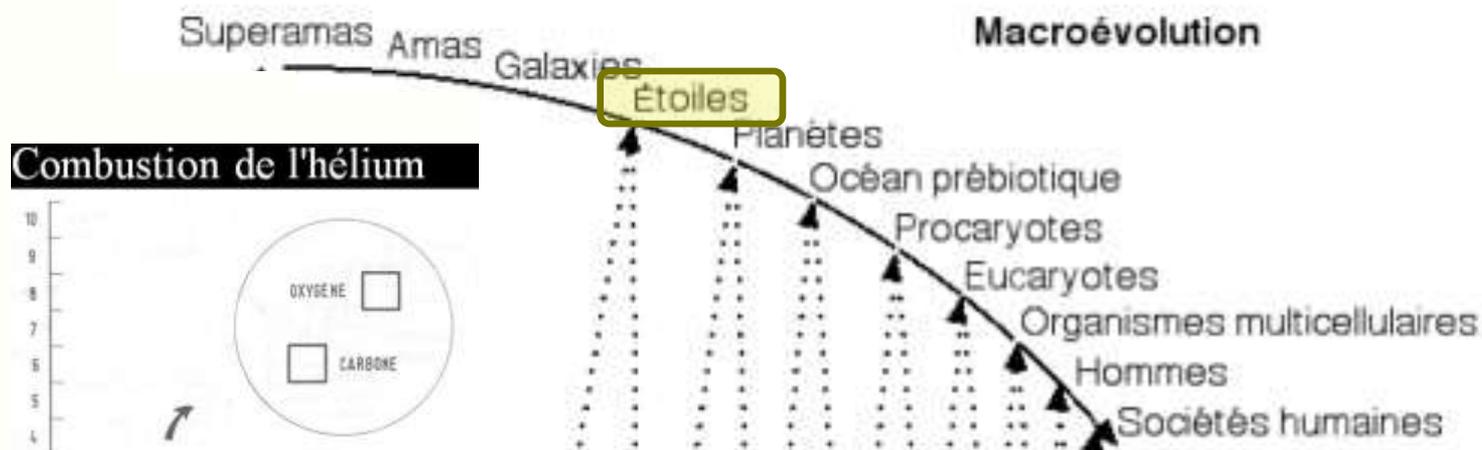
D'après Erich Jantsch, *The self-organizing universe*, Pergamon, 1980.



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







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

Temps





Macroévolution

Superamas Amas Galaxies Étoiles Planètes

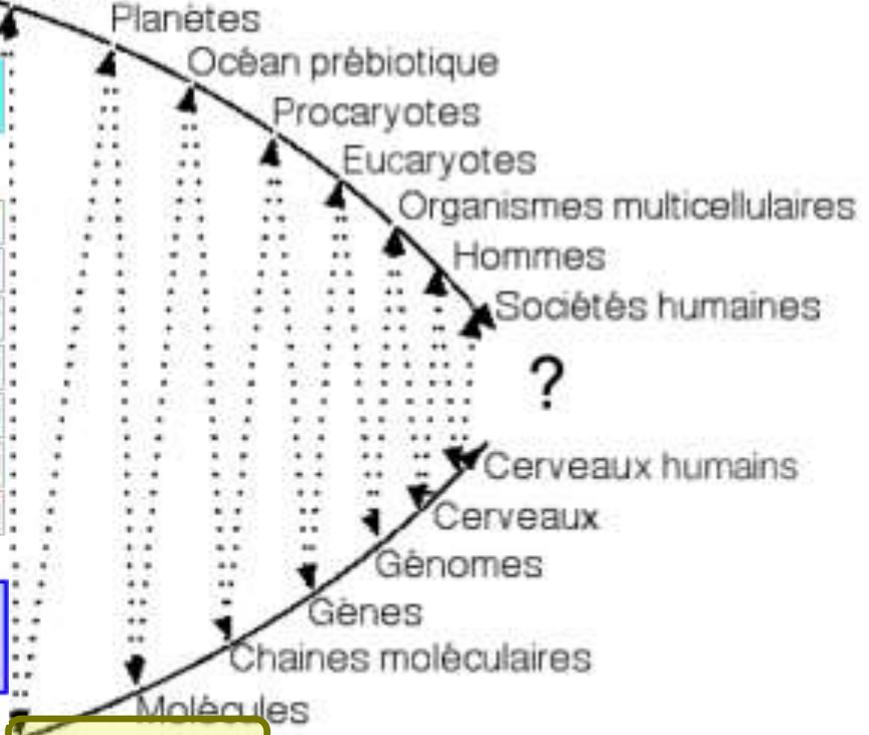
Tableau Périodique des Éléments

■ Métaux alcalins ■ Actinides O Solide L Liquide G Gaz ● Synthétique
■ Métaux alcalino-terreux ■ Métaux lourds H Hydrogène
■ Métaux de transition ■ Non-métaux N Neutre

1 H Hydrogène (1)
 2 He Hélium (2)
 3 Li Lithium (3) 4 Be Béryllium (4)
 5 B Bore (5) 6 C Carbone (6) 7 N Azote (7) 8 O Oxygène (8) 9 F Fluorine (9) 10 Ne Néon (10)
 11 Na Sodium (11) 12 Mg Magnésium (12) 13 Al Aluminium (13) 14 Si Silicium (14) 15 P Phosphore (15) 16 S Soufre (16) 17 Cl Chlore (17) 18 Ar Argon (18)
 19 K Potassium (19) 20 Ca Calcium (20) 21 Sc Scandium (21) 22 Ti Titane (22) 23 V Vanadium (23) 24 Cr Chrome (24) 25 Mn Manganèse (25) 26 Fe Fer (26) 27 Co Cobalt (27) 28 Ni Nickel (28) 29 Cu Cuivre (29) 30 Zn Zinc (30) 31 Ga Gallium (31) 32 Ge Germanium (32) 33 As Arsenic (33) 34 Se Sélénium (34) 35 Br Brome (35) 36 Kr Krypton (36)
 37 Rb Rubidium (37) 38 Sr Strontium (38) 39 Y Yttrium (39) 40 Zr Zirconium (40) 41 Nb Niobium (41) 42 Mo Molybdène (42) 43 Tc Technétium (43) 44 Ru Ruthénium (44) 45 Rh Rhodium (45) 46 Pd Palladium (46) 47 Ag Argent (47) 48 Cd Cadmium (48) 49 In Indium (49) 50 Sn Étain (50) 51 Sb Bismuth (51) 52 Te Tellure (52) 53 I Iode (53) 54 Xe Xénon (54)
 55 Cs Césium (55) 56 Ba Baryum (56) 57 La Lanthane (57) 58 Ce Cérium (58) 59 Pr Praseodyme (59) 60 Nd Néodyme (60) 61 Pm Prométhée (61) 62 Sm Samarium (62) 63 Eu Europium (63) 64 Gd Gadolinium (64) 65 Tb Terbium (65) 66 Dy Dysprosium (66) 67 Ho Holmium (67) 68 Er Erbium (68) 69 Tm Thulium (69) 70 Yb Ytterbium (70) 71 Lu Lutécium (71)
 72 Hf Hafnium (72) 73 Ta Tantalum (73) 74 W Wolfram (74) 75 Re Rhenium (75) 76 Os Osmium (76) 77 Ir Iridium (77) 78 Pt Platine (78) 79 Au Or (79) 80 Hg Mercure (80) 81 Tl Thallium (81) 82 Pb Plomb (82) 83 Bi Bismuth (83) 84 Po Polonium (84) 85 At Astatine (85) 86 Rn Radon (86)
 87 Fr Francium (87) 88 Ra Radium (88) 89 Ac Actinium (89) 90 Th Thorium (90) 91 Pa Protactinium (91) 92 U Uranium (92) 93 Np Neptunium (93) 94 Pu Plutonium (94) 95 Am Américium (95) 96 Cm Curium (96) 97 Bk Bériquelium (97) 98 Cf Californium (98) 99 Es Éinsteinium (99) 100 Fm Fermium (100) 101 Md Mendelevium (101) 102 No Nobeélium (102) 103 Lr Lawrencium (103)
 104 Rf Rutherfordium (104) 105 Db Dubnium (105) 106 Sg Seaborgium (106) 107 Bh Bohrium (107) 108 Hs Hassium (108) 109 Mt Meitnerium (109) 110 Ds Dsérium (110) 111 Rg Roentgenium (111) 112 Copernicium (112) 113 Nh Nihonium (113) 114 Fl Flerovium (114) 115 Lv Livermorium (115) 116 Ts Tennessine (116) 117 Og Oganesson (117)

Atoms masses in parentheses and those of the most stable or common isotope
 108 La Lanthane (138.905) 109 Ce Cérium (140.12) 110 Pr Praseodyme (140.908) 111 Nd Néodyme (144.24) 112 Pm Prométhée (144.913) 113 Sm Samarium (150.36) 114 Eu Europium (151.964) 115 Gd Gadolinium (157.25) 116 Tb Terbium (158.925) 117 Dy Dysprosium (162.50) 118 Ho Holmium (164.930) 119 Er Erbium (167.259) 120 Tm Thulium (168.930) 121 Yb Ytterbium (173.054) 122 Lu Lutécium (174.967)

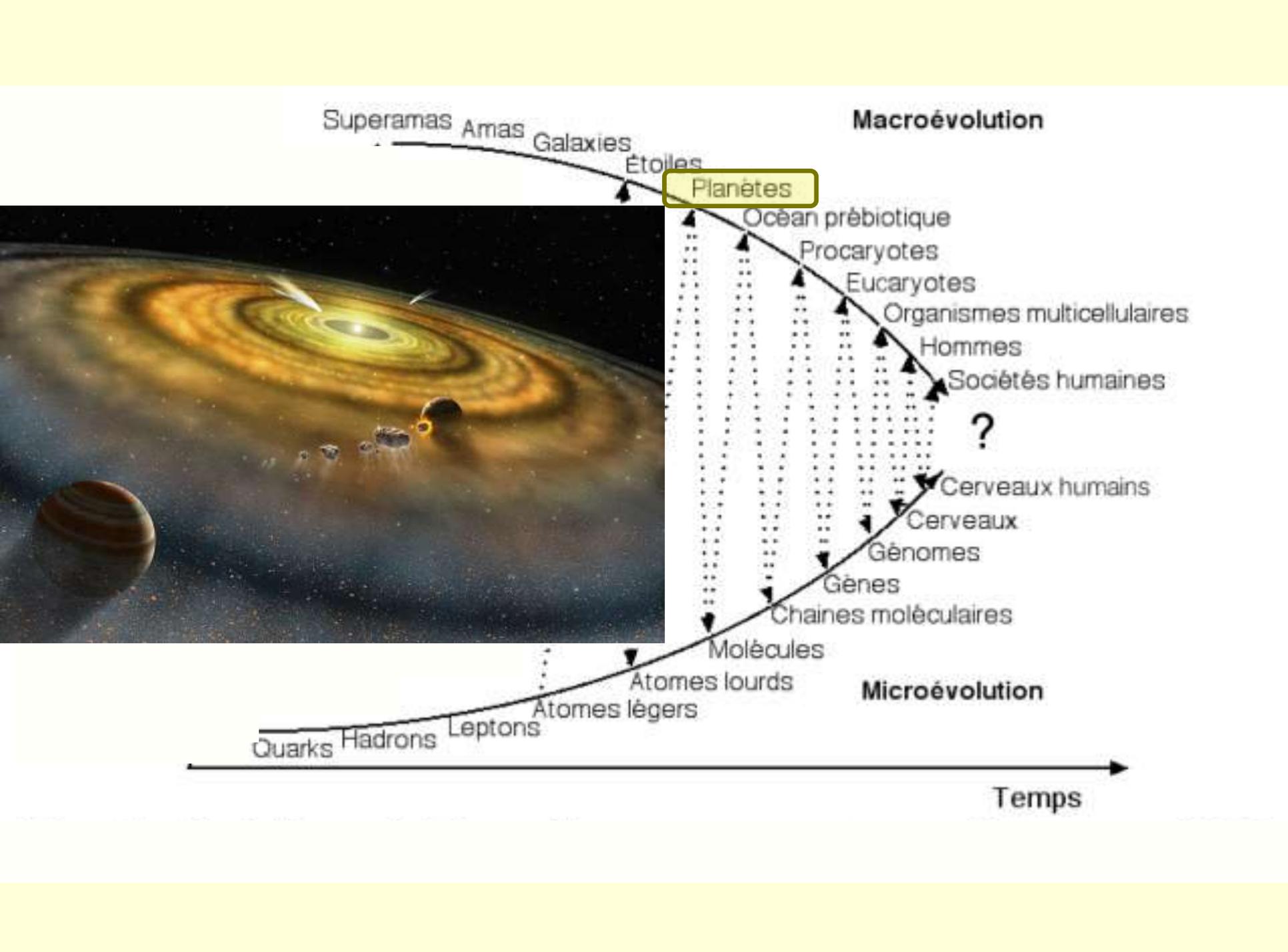
Note: The IUPAC nomenclature for elements 113-118 was adopted in 2016 by the International Union of Pure and Applied Chemistry. The names of elements 113-118 are the IUPAC-approved names.

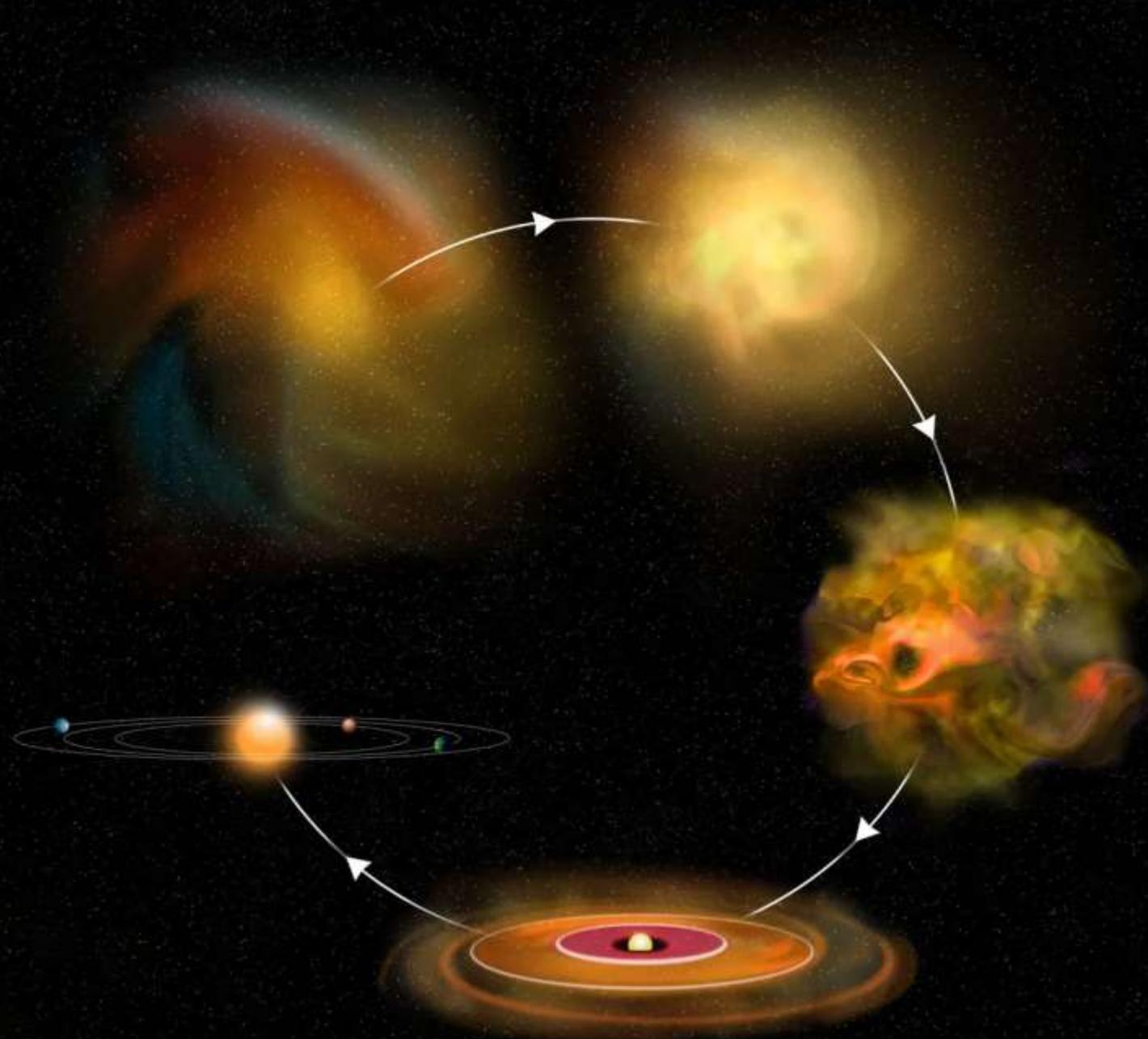


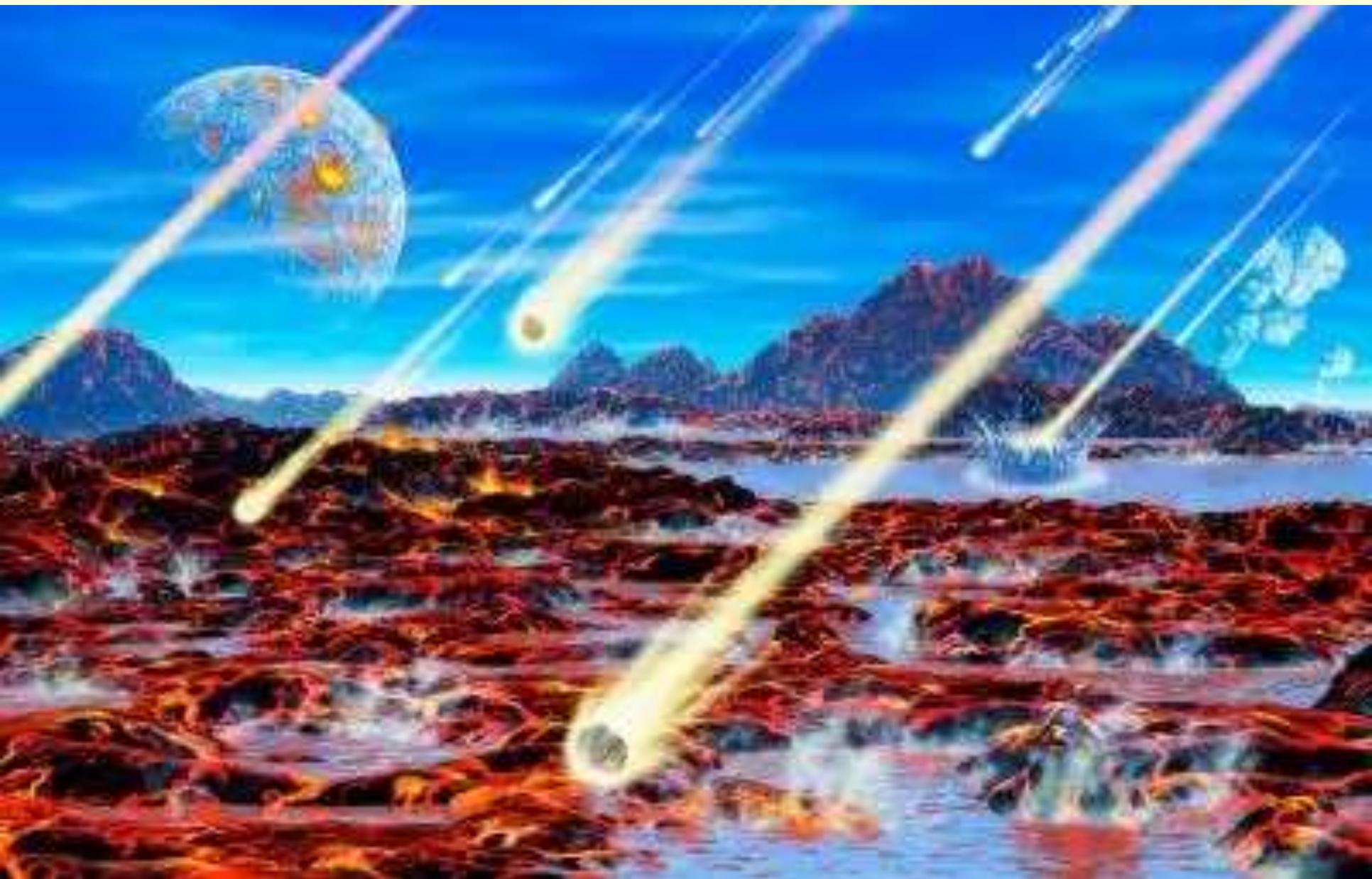
Microévolution

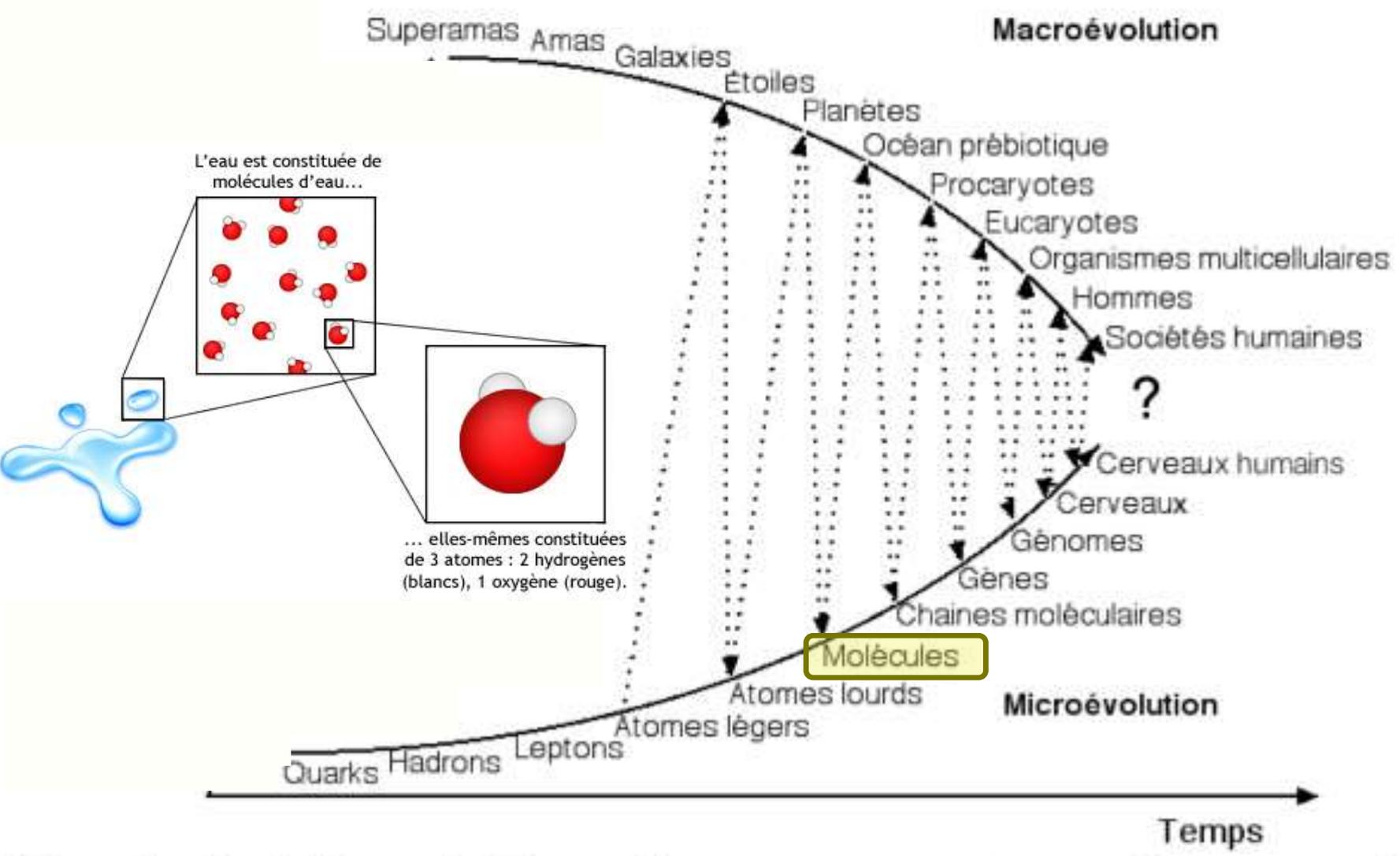
Quarks Hadrons Leptons

Temps

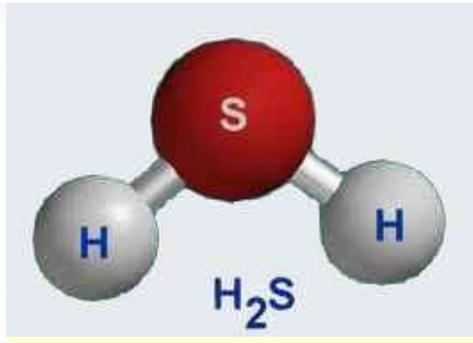
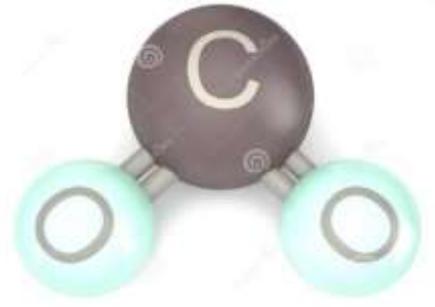
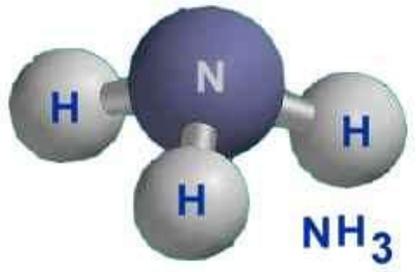
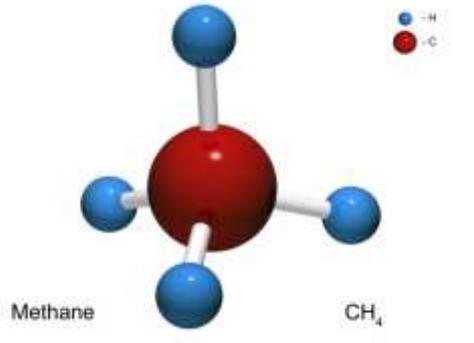
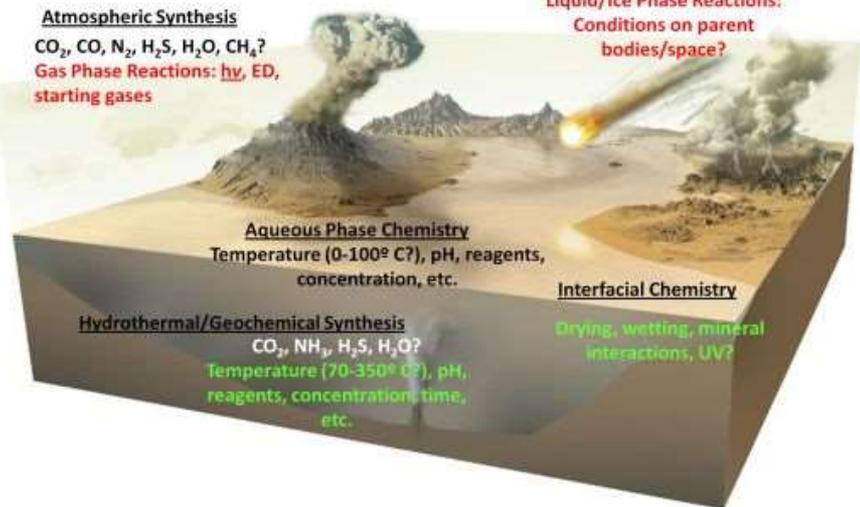
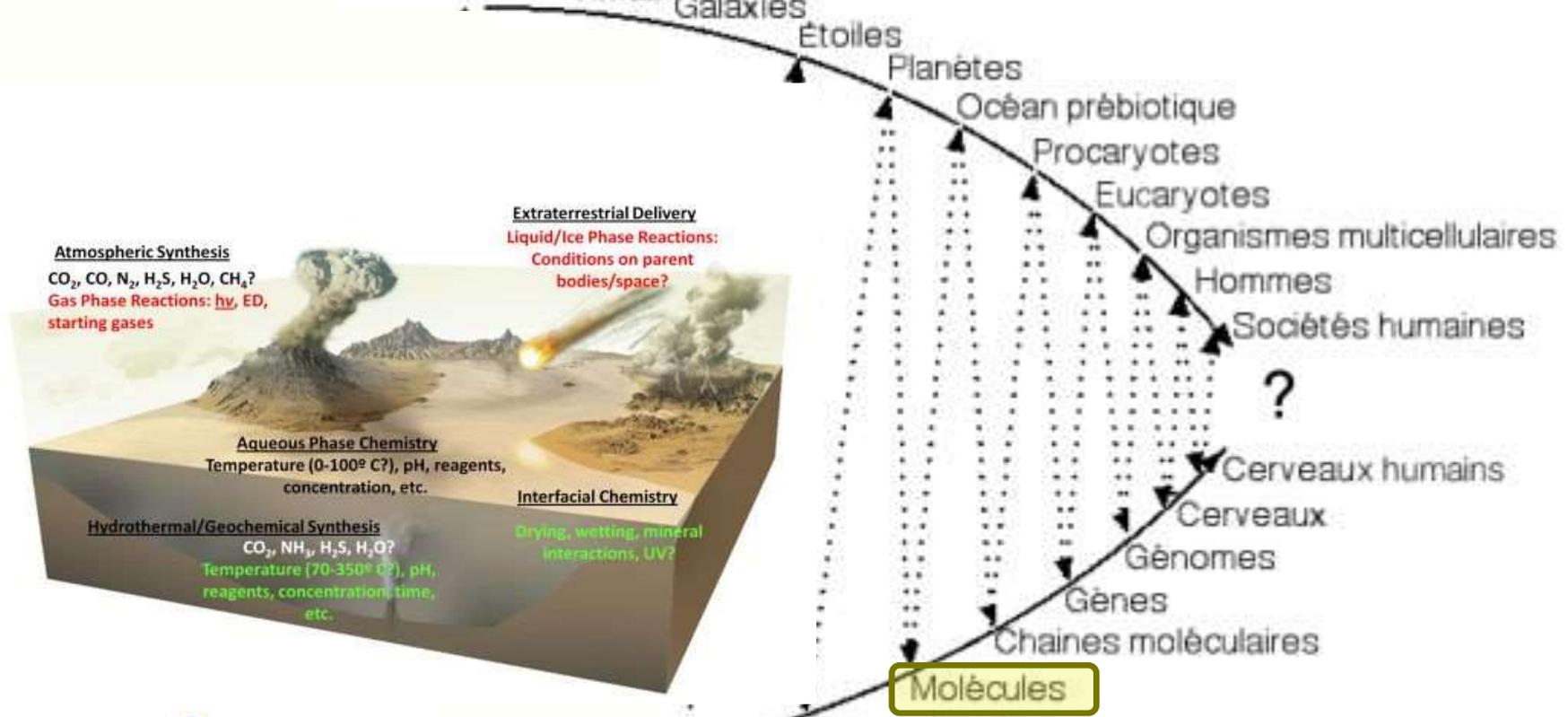






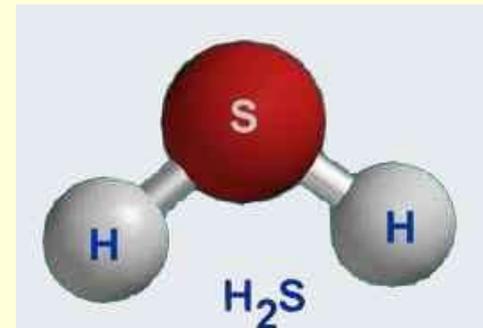
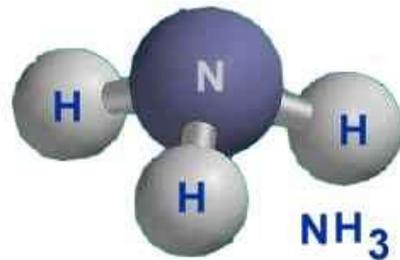
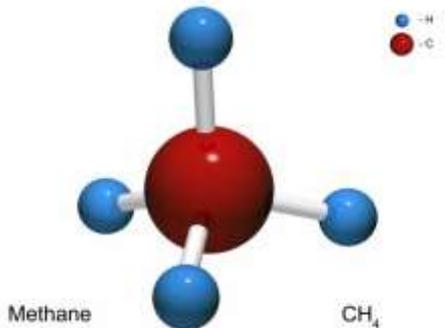
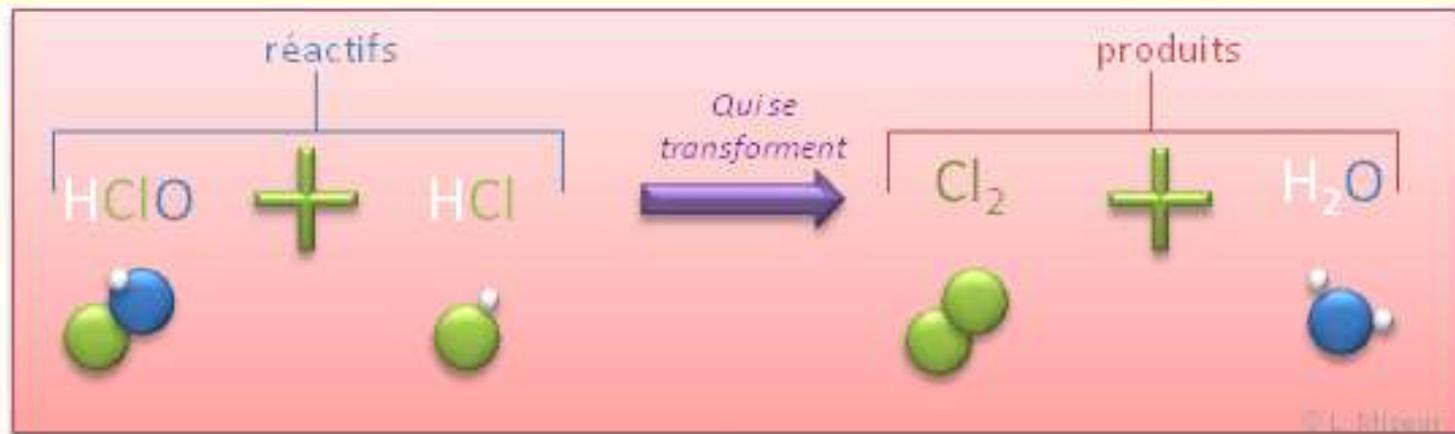


Superamas Amas Galaxies Étoiles Planètes Macroévolution



L'assemblage d'atomes constituant une molécule **n'est pas définitif**.

Il est susceptible de subir des modifications; on a alors une **réaction chimique**.



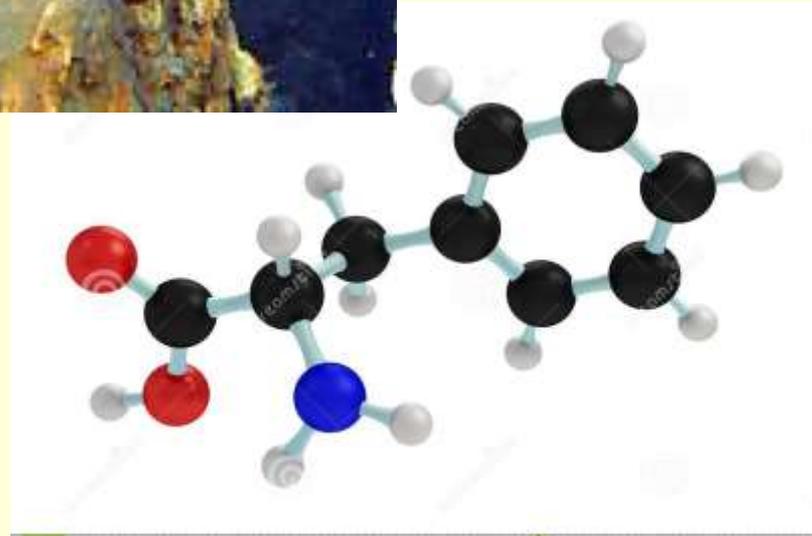
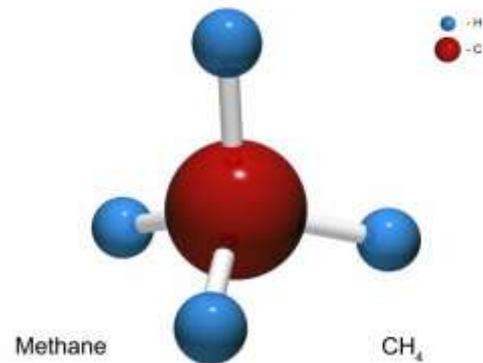


Et l'on va passer de...

Évolution cosmique, chimique



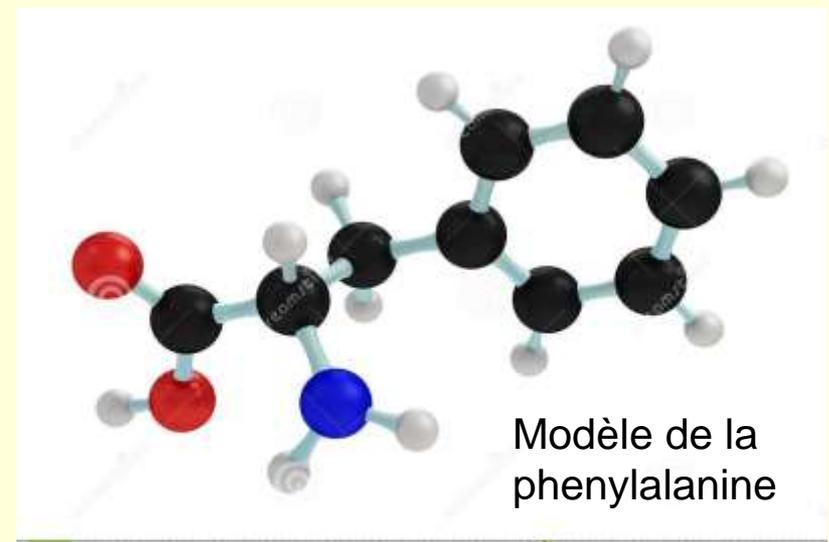
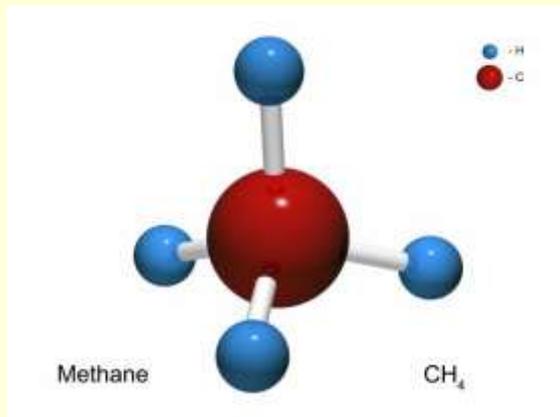
(Crédit : modifié de Robert Lamontagne)



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

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

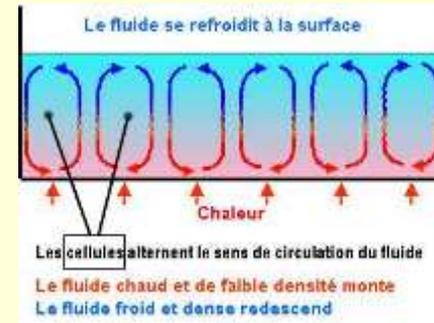
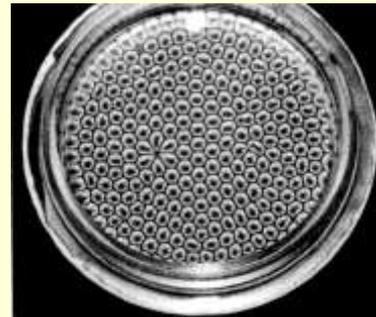
c'est-à-dire qu'ils vont former "**spontanément**", sans l'intervention de forces extérieures, les formes moléculaires **les plus stables** pour les conditions physico-chimiques qui sont réunies.



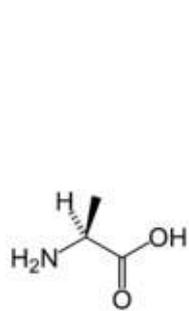
La notion d'**auto-organisation** permet de comprendre comment **de l'ordre peut apparaître spontanément au sein du désordre [...]**

Exemples :

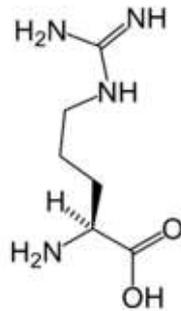
- l'apparition de **motifs périodiques** dans un liquide chauffé par le dessous (cellules de convection)
- la formation des **dunes** (par l'interaction du sable et du vent)
- un nuage de gaz et de poussière qui va former, grâce à la gravité, une **étoile**
- Les interactions moléculaires qui vont donner lieu aux **processus du vivant...**



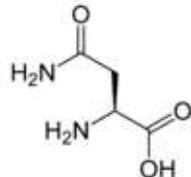
Plusieurs molécules plus complexe essentielles à la vie telles que les acides aminés vont ainsi se former sur la Terre.



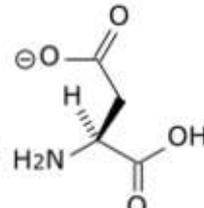
L-Alanine



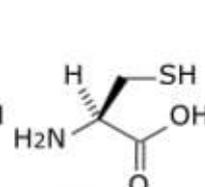
L-Arginine



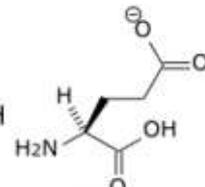
L-Asparagine



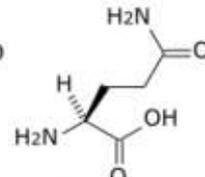
L-Aspartate



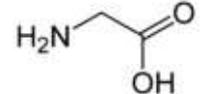
L-Cystéine



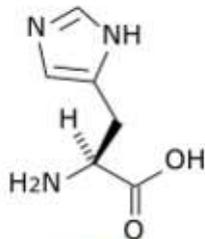
L-Glutamate



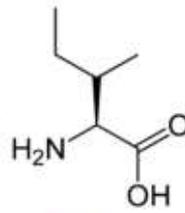
L-Glutamine



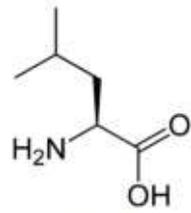
Glycine



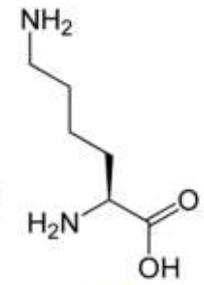
L-Histidine



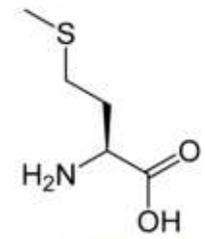
L-Isoleucine



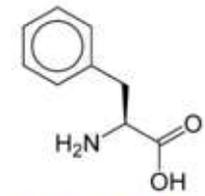
L-Leucine



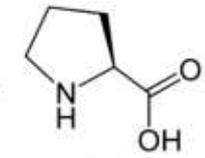
L-Lysine



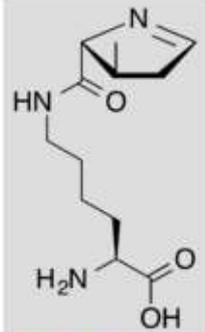
L-Méthionine



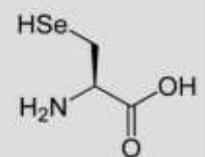
L-Phénylalanine



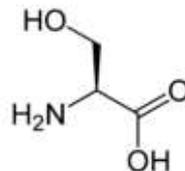
L-Proline



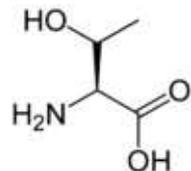
L-Pyrrolysine



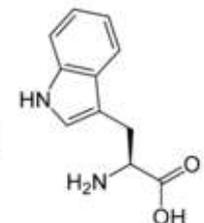
L-Sélocystéine



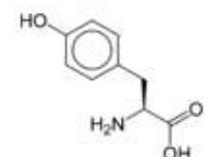
L-Sérine



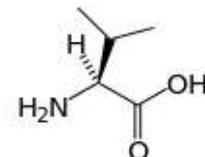
L-Thréonine



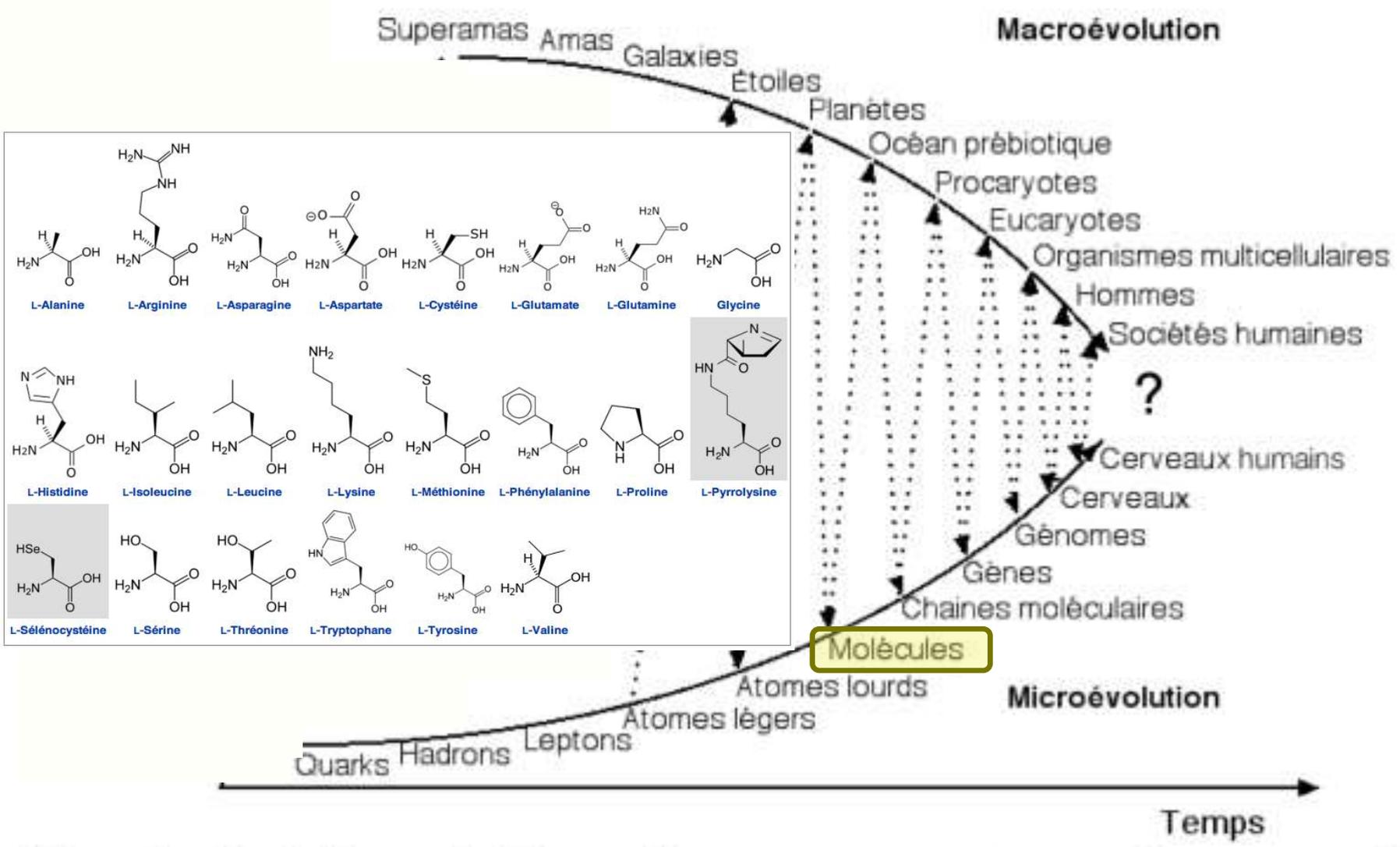
L-Tryptophane

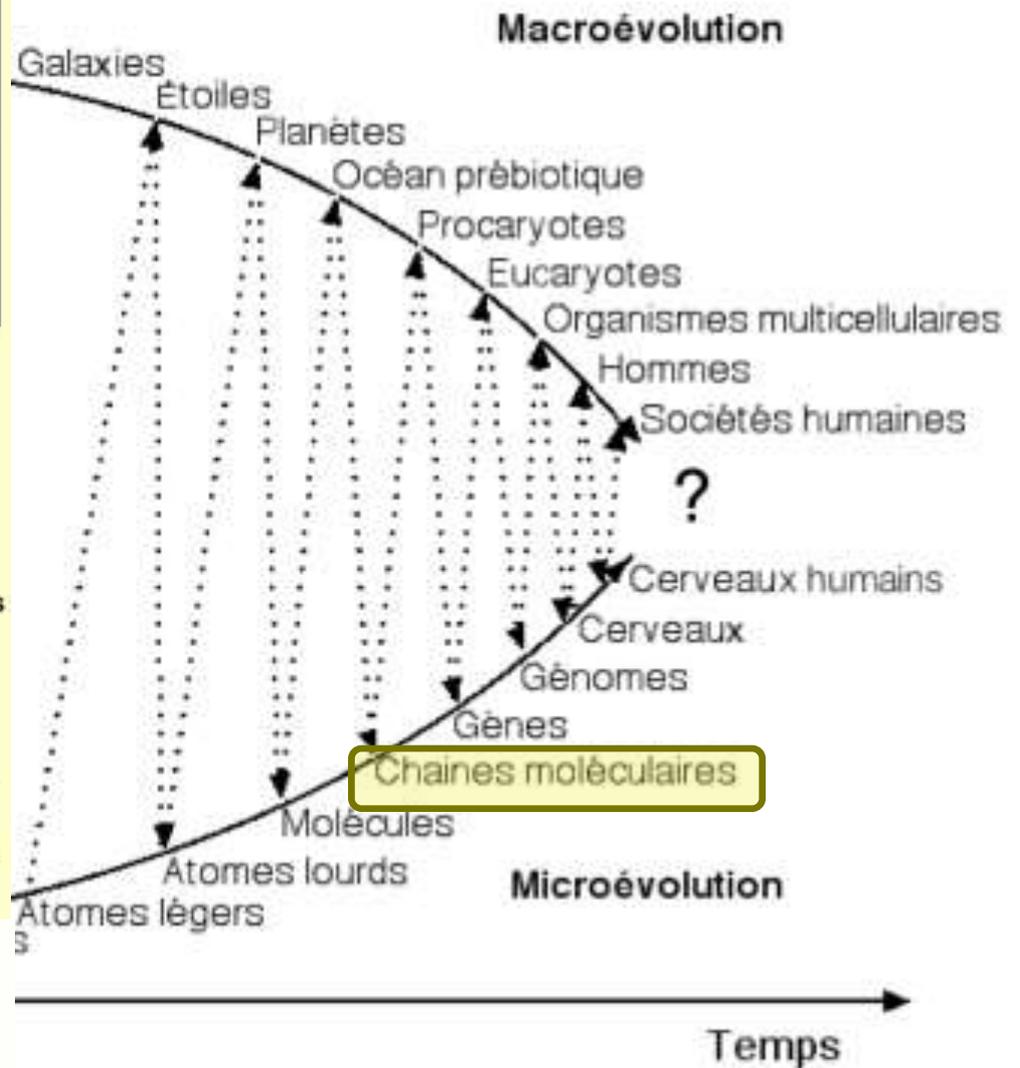
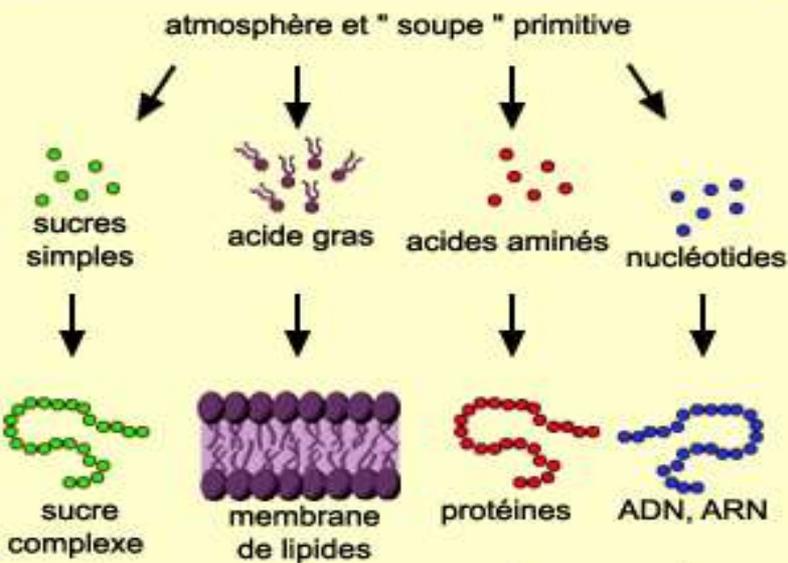


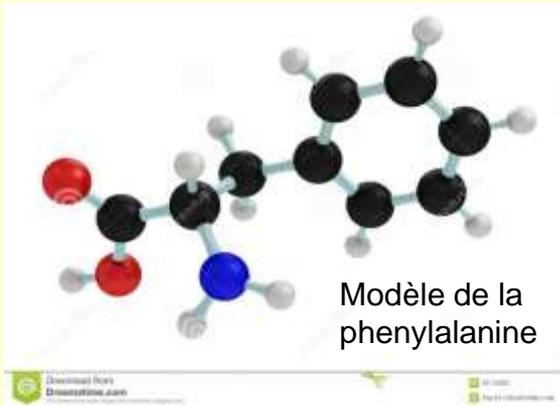
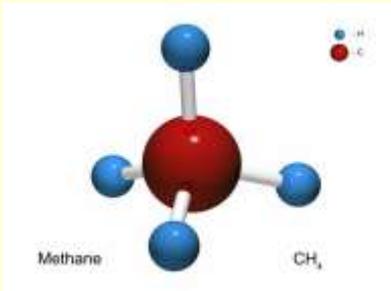
L-Tyrosine



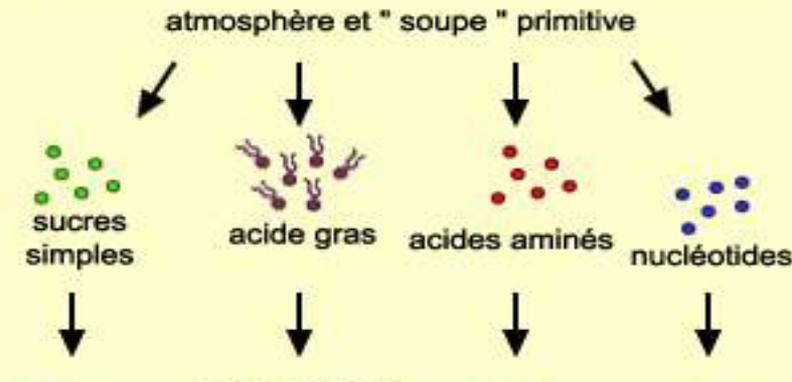
L-Valine







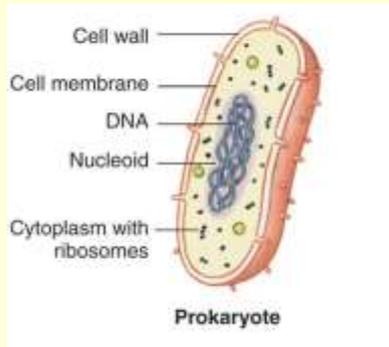
Non



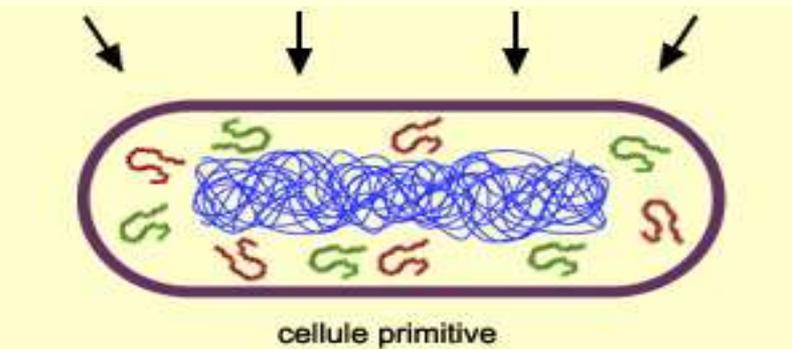
Qu'est-ce qui se passe entre les deux ?

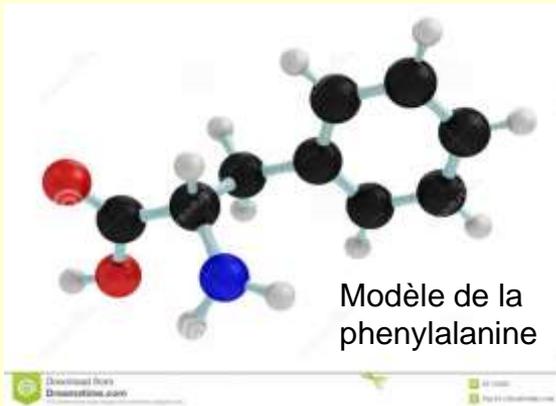
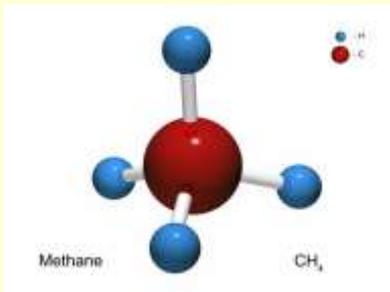
?

????????????



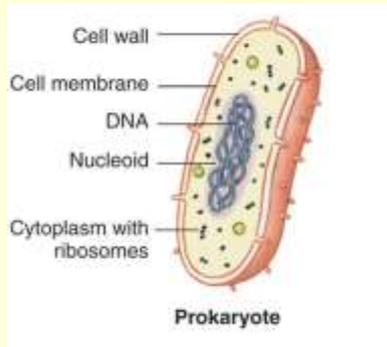
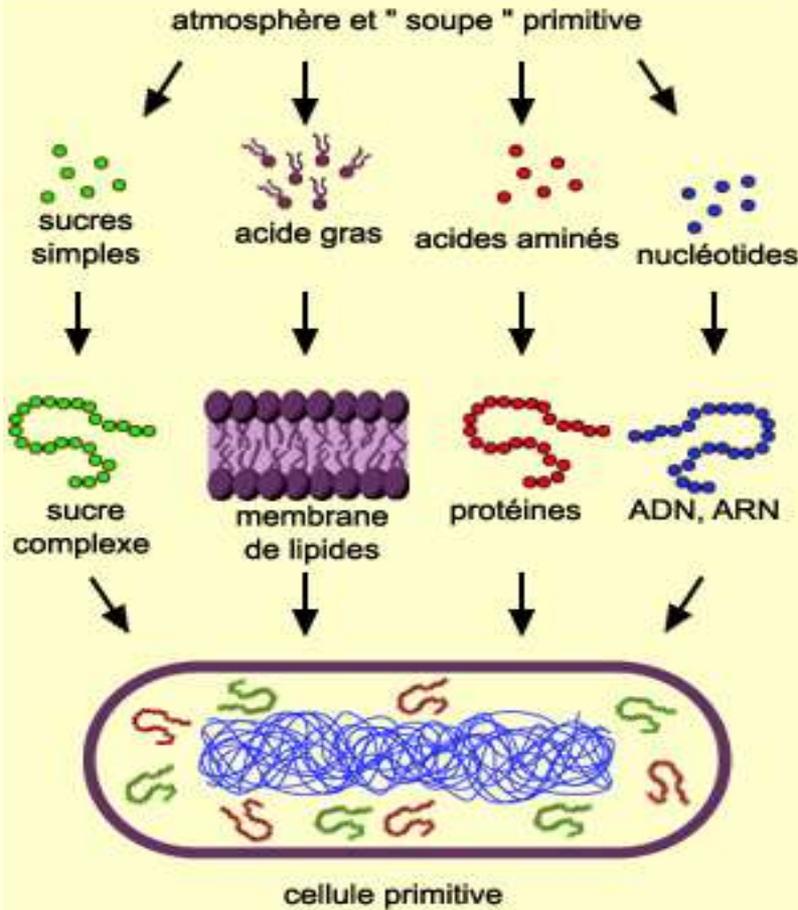
Oui





Non

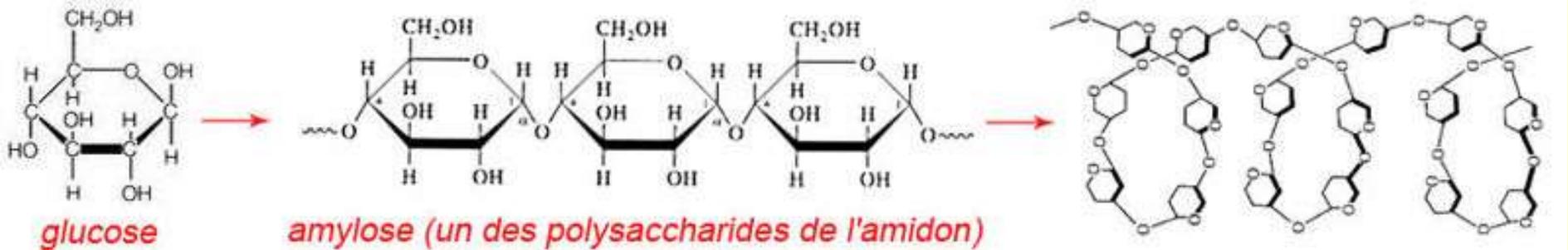
On va voir apparaître des « chaînes de molécules simples »



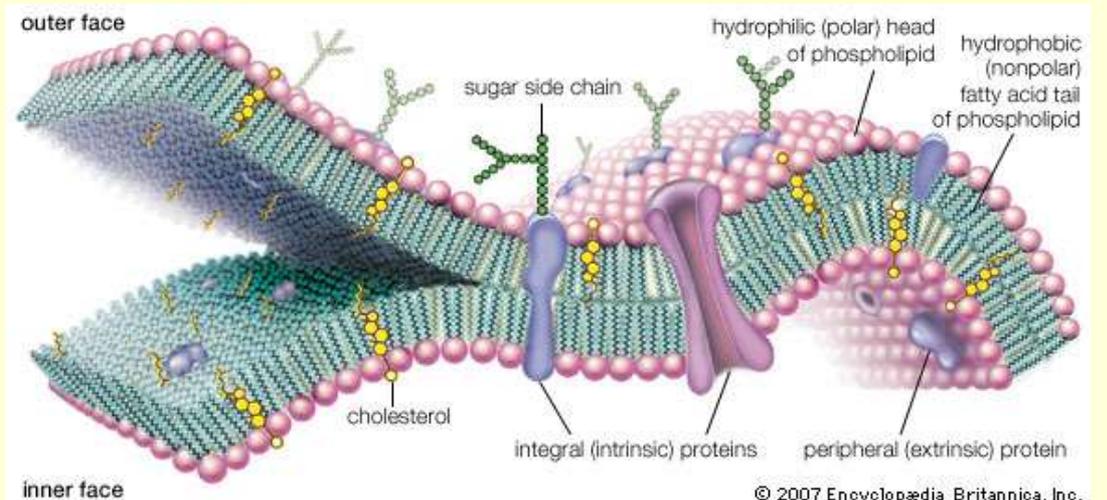
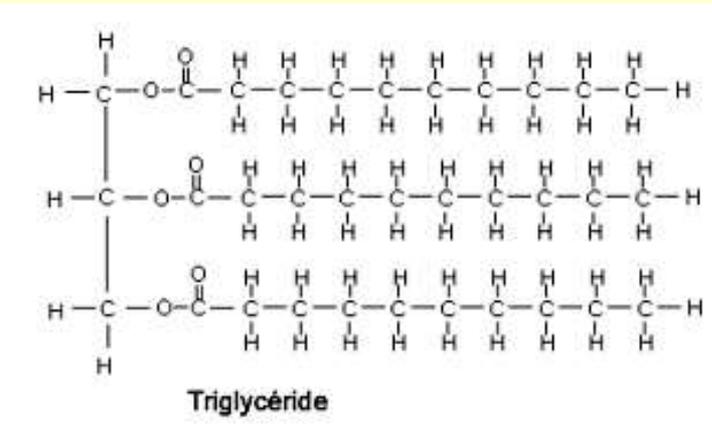
Oui

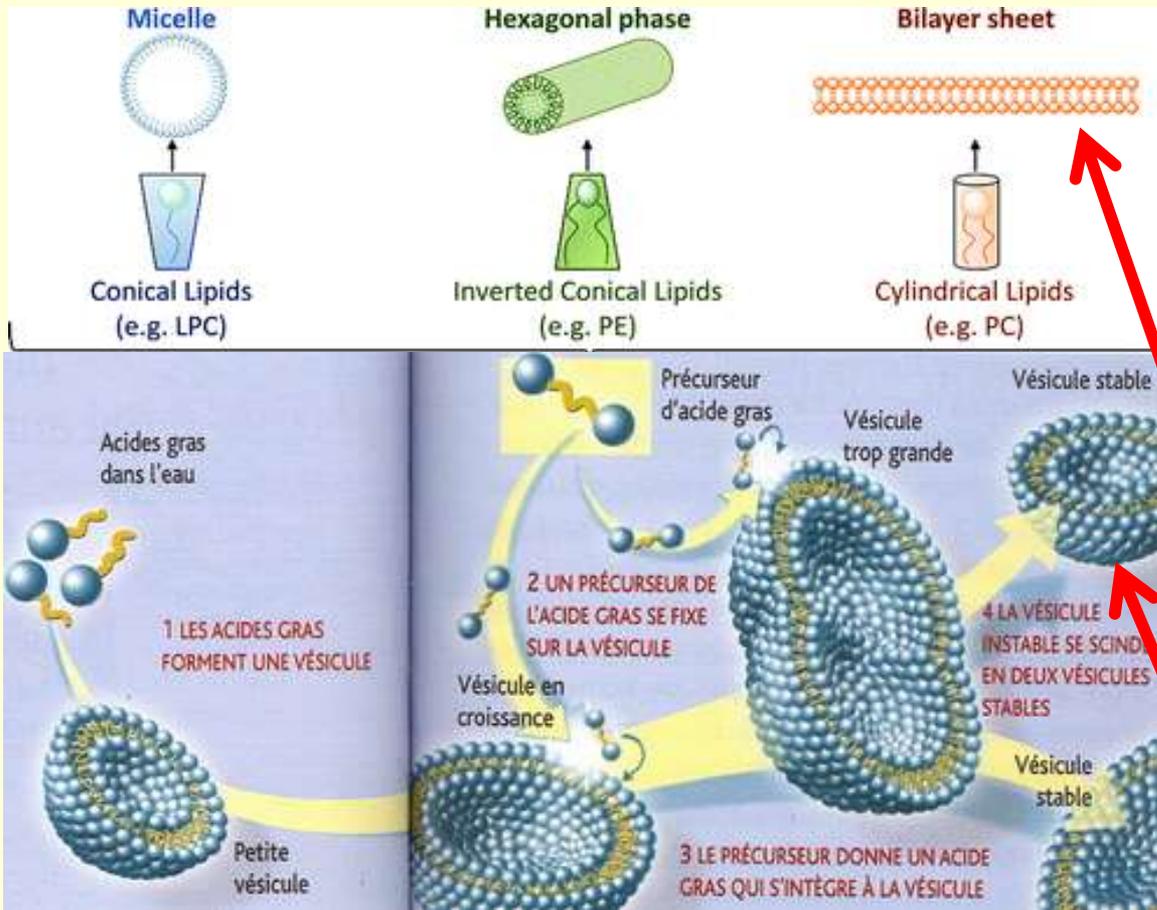
Les molécules organiques ont ainsi tendance à former des chaînes moléculaires de :

- Glucides



- Lipides

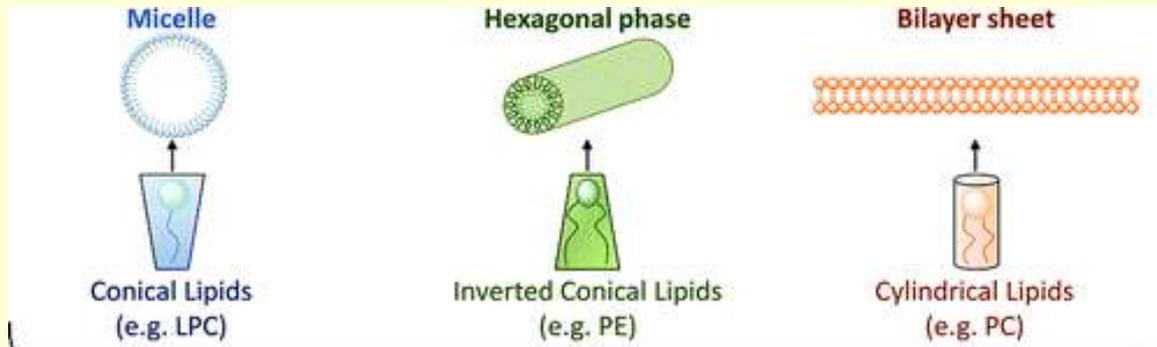




Ces chaînes de lipides vont donner lieu à des phénomènes **d'auto-organisation** mais cette fois-ci au niveau **supra-moléculaires** :

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

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



« Pas de membrane, pas de cellules.

Pas de cellules, pas de neurones.

Pas de neurones, pas de cerveaux.

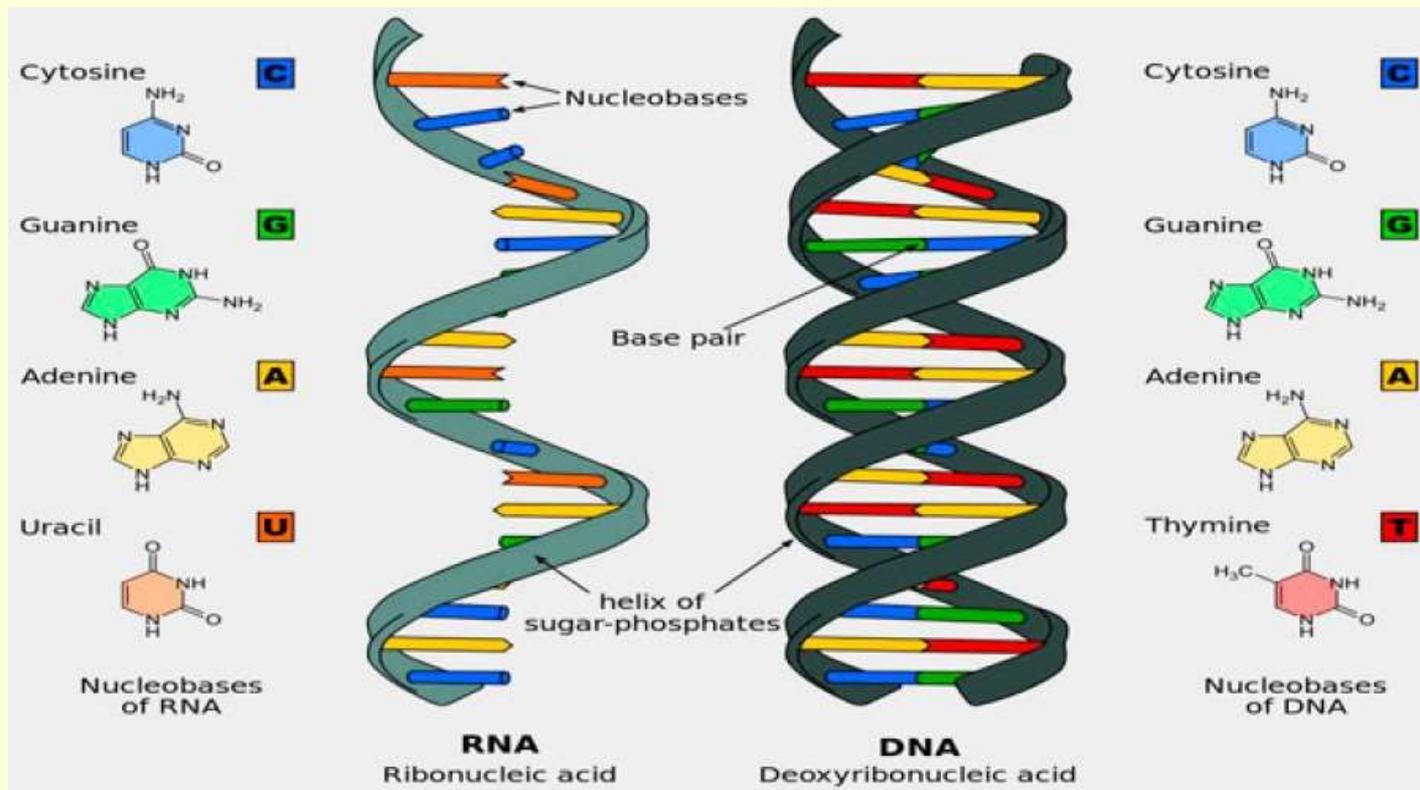
Pas de cerveaux, pas d'humains ! »



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

Les molécules organiques ont ainsi tendance à former des chaînes moléculaires de :

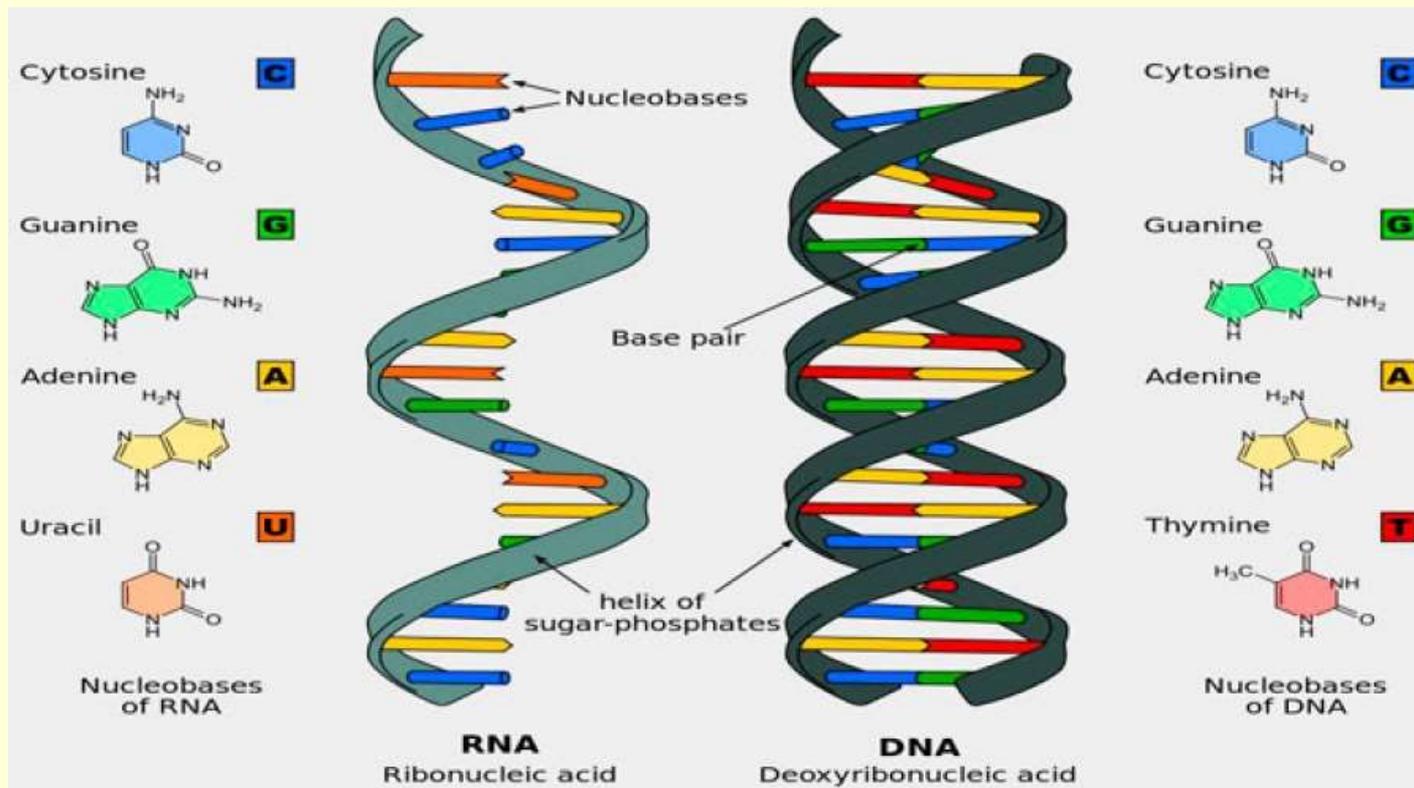
- Glucides
- Lipides
- **Bases nucléiques**



→ Structure découverte en 1953

Les molécules organiques ont ainsi tendance à former des chaînes moléculaires de :

- Glucides
- Lipides
- **Bases nucléiques**

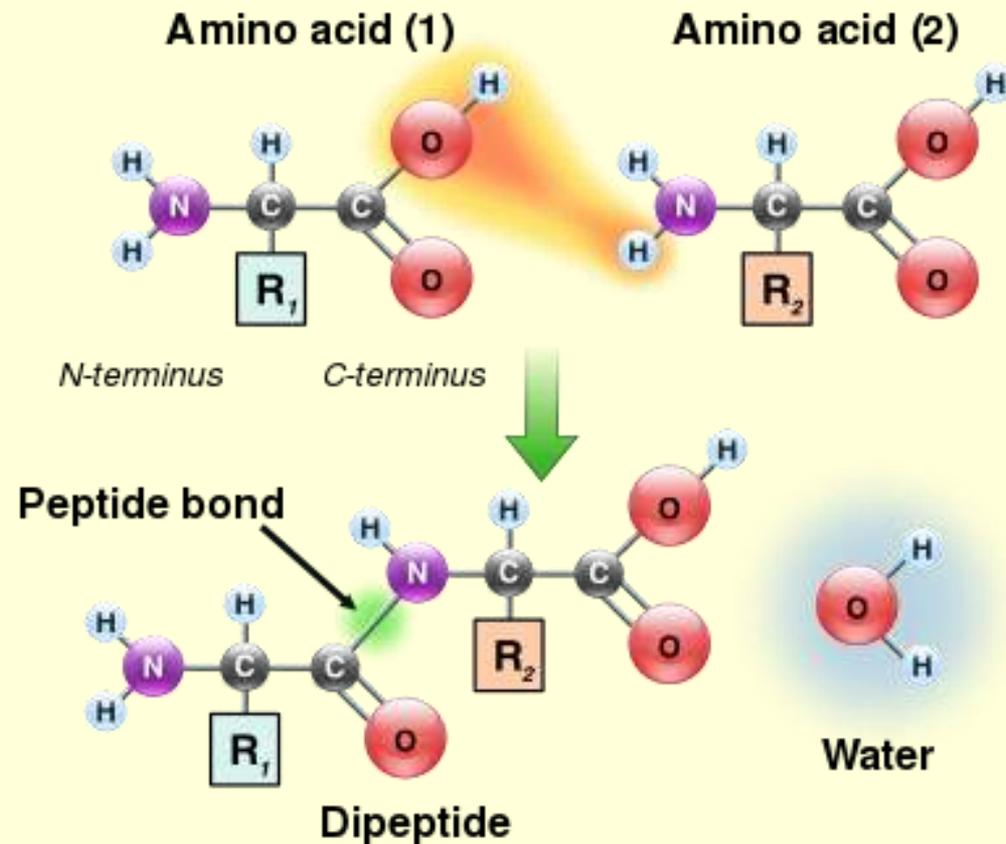


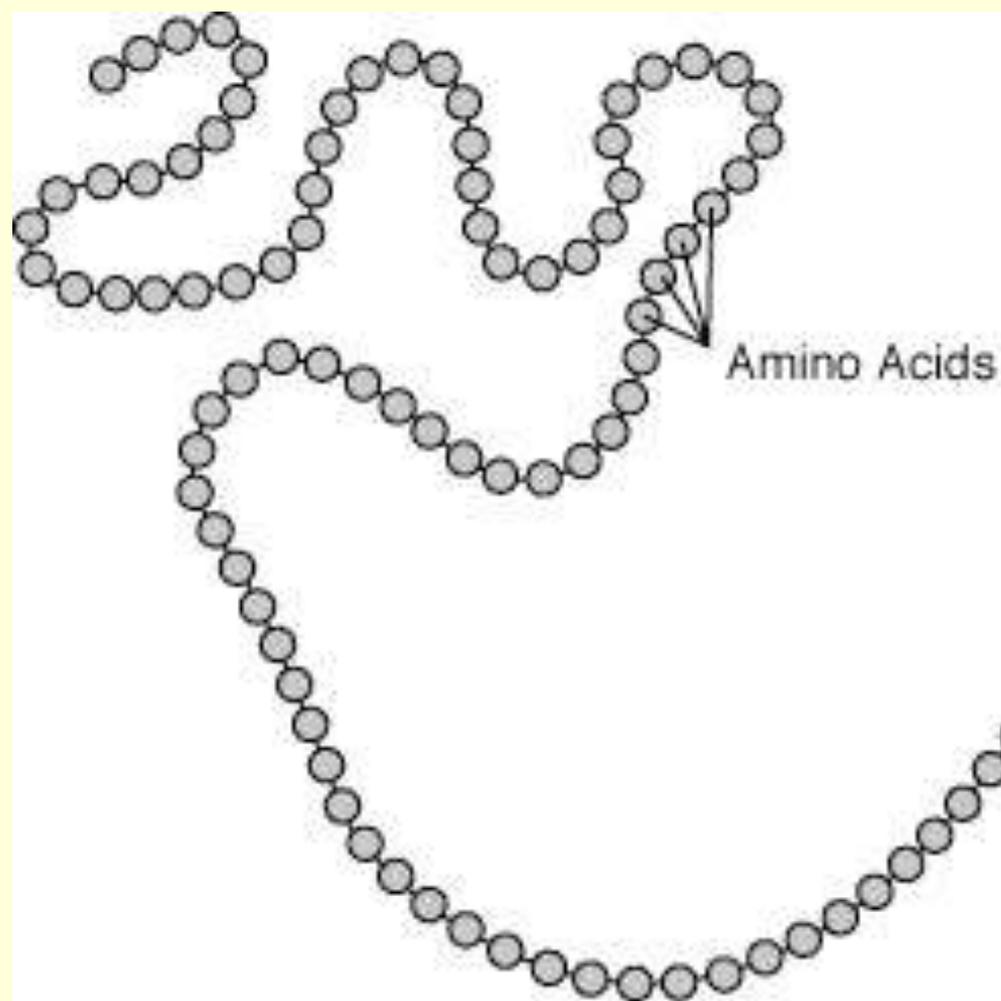
Même principe d'organisation que pour les lipides:

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...

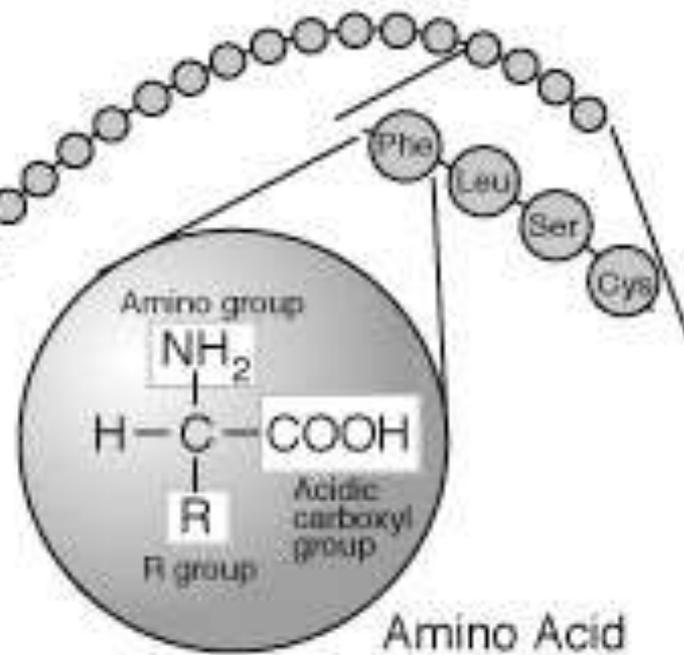
Les molécules organiques ont ainsi tendance à former des chaînes moléculaires de :

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

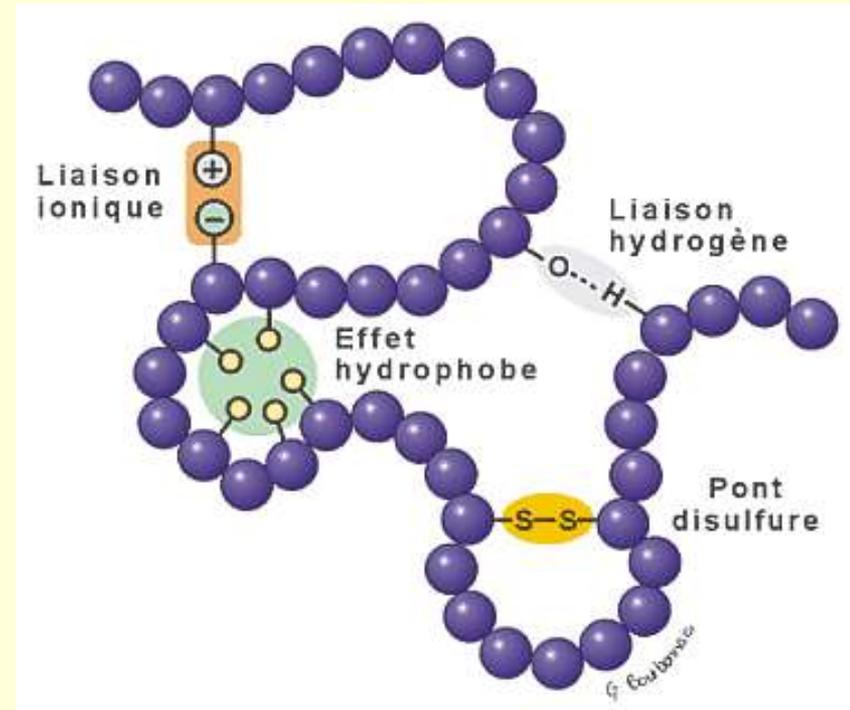
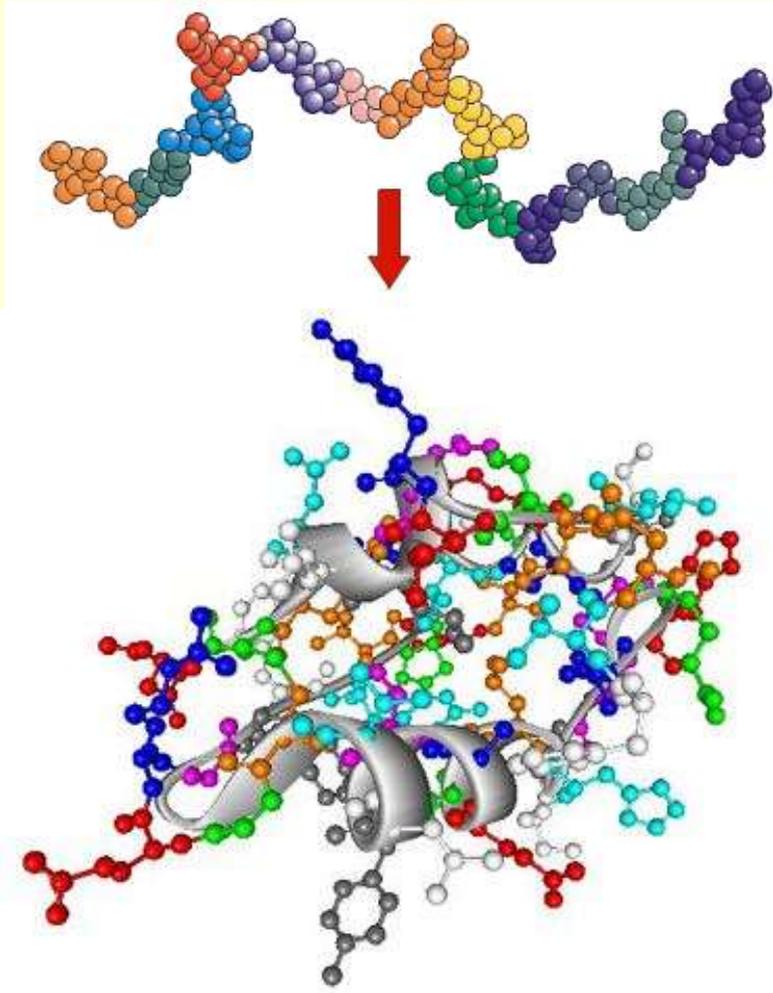




Primary protein structure
is sequence of a chain of amino acids

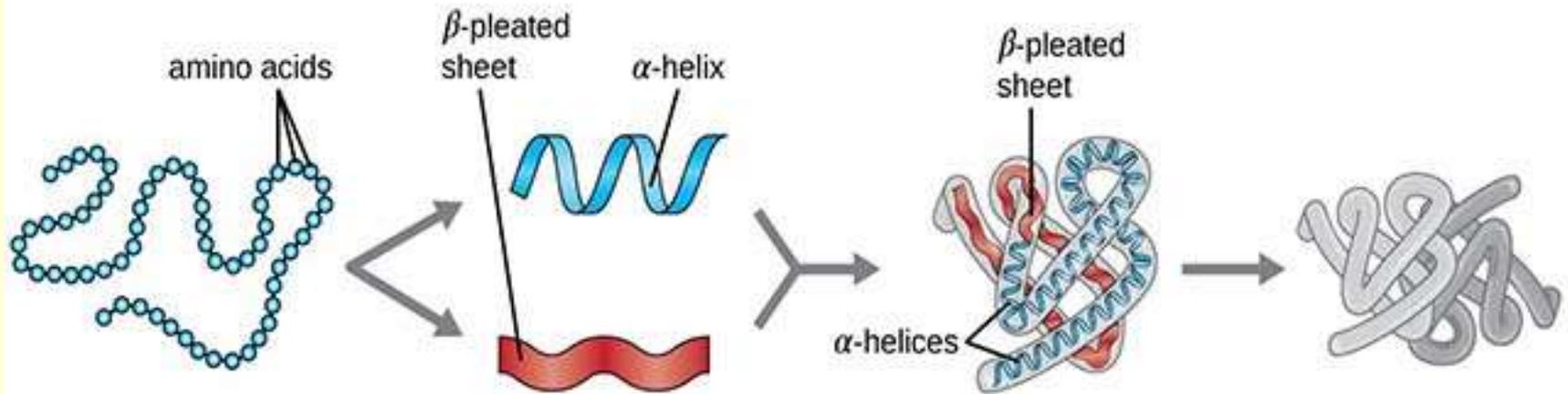


→ Vers 1953,
on comprend qu'il y a un
repliement de la chaîne
d'acides aminés



qui est déterminé par la
séquence primaire des acides
aminés de la protéine
(la suite des « perles » dans le
« collier de perles »).

Structure of Proteins



Primary Protein Structure

Sequence of a chain of amino acids

Secondary Protein Structure

Local folding of the polypeptide chain into helices or sheets

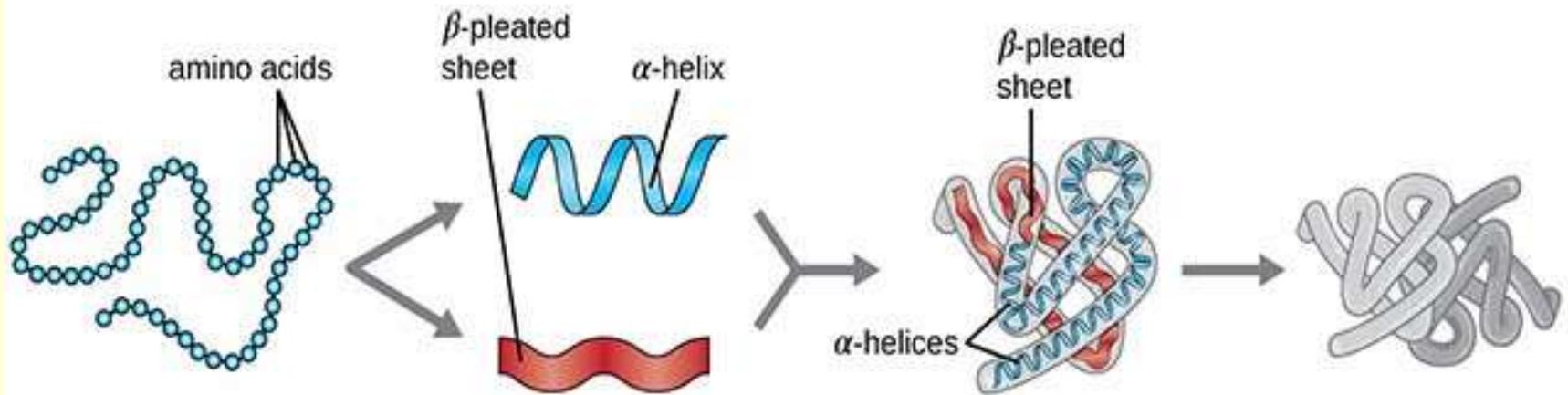
Tertiary Protein Structure

three-dimensional folding pattern of a protein due to side chain interactions

Quaternary Protein Structure

protein consisting of more than one amino acid chain

Structure of Proteins



Primary Protein Structure

Sequence of a chain of amino acids

Secondary Protein Structure

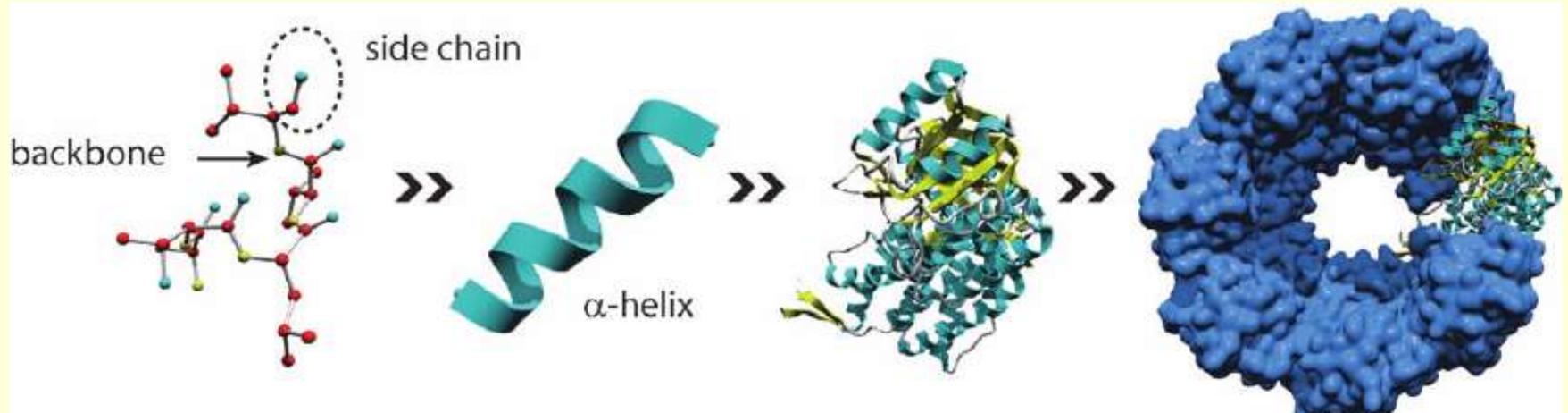
Local folding of the polypeptide chain into helices or sheets

Tertiary Protein Structure

three-dimensional folding pattern of a protein due to side chain interactions

Quaternary Protein Structure

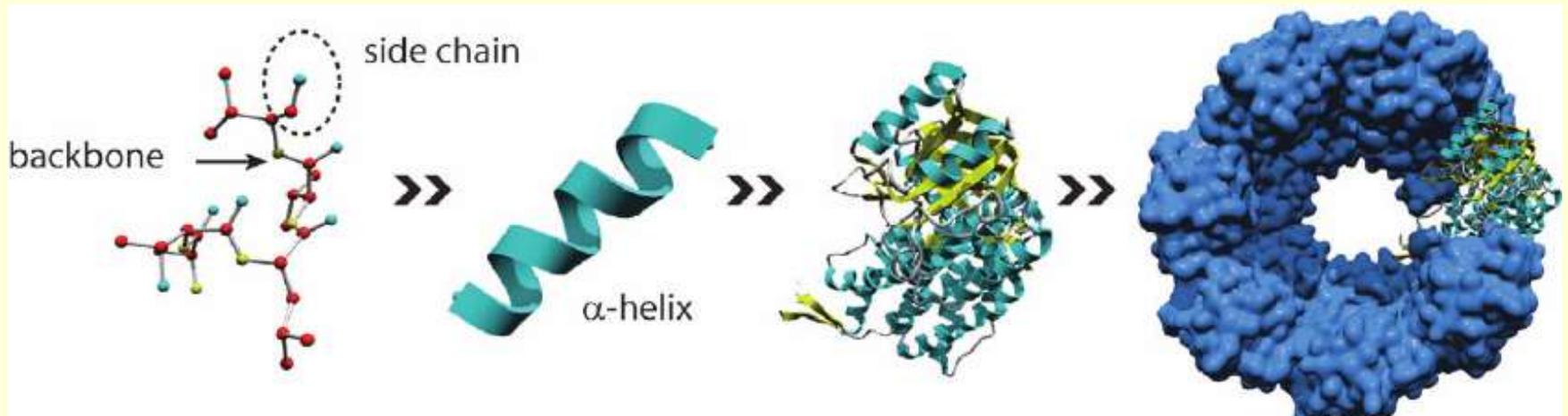
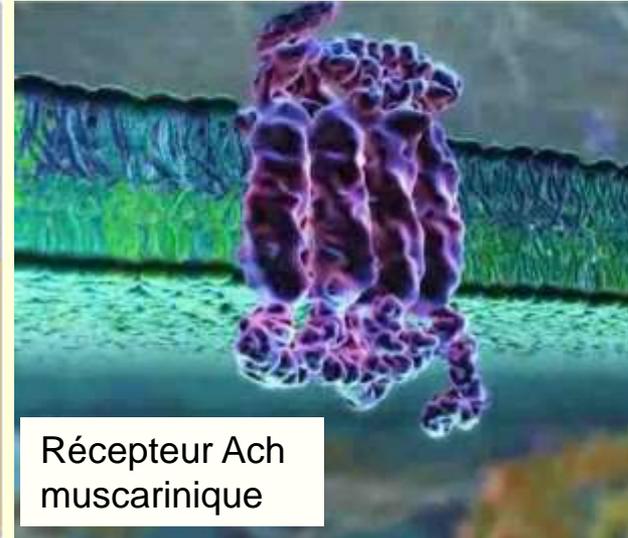
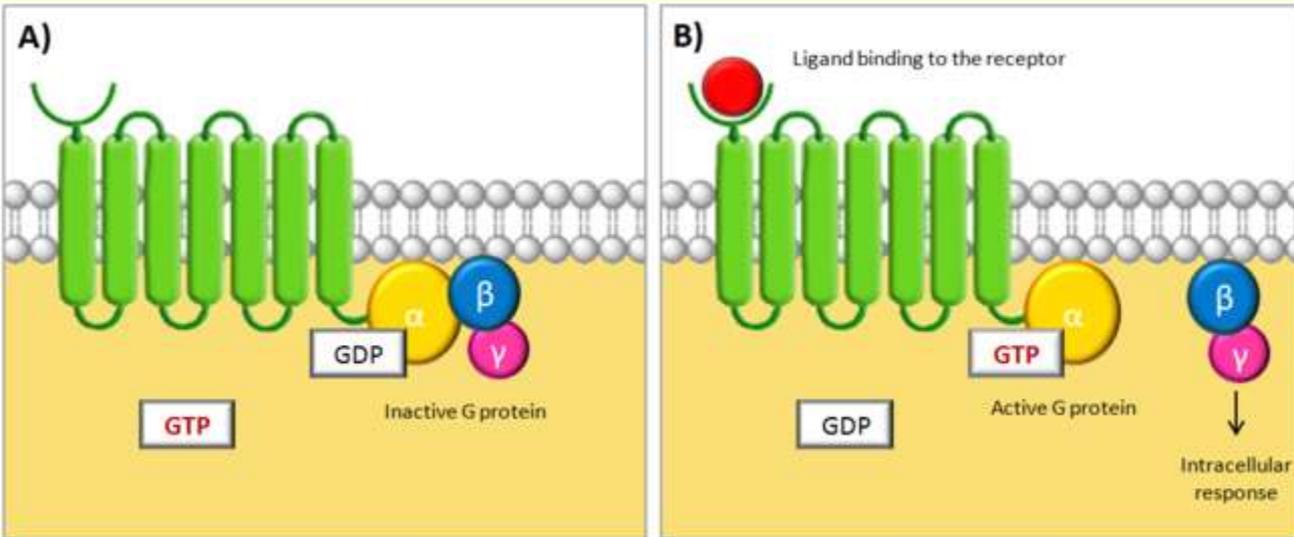
protein consisting of more than one amino acid chain



Récepteur à 7 domaines membranaire couplé à une protéine G

→ rôle important dans la communication intercellulaire (par ex.: récepteur de neurotransmetteurs) et la transduction de signaux sensoriels (par ex.: la rhodopsine des photorécepteurs, récepteurs aux odeurs, etc.)

[donc pas de protéines, bien sûr pas de cerveau car pas de récepteurs, etc.]

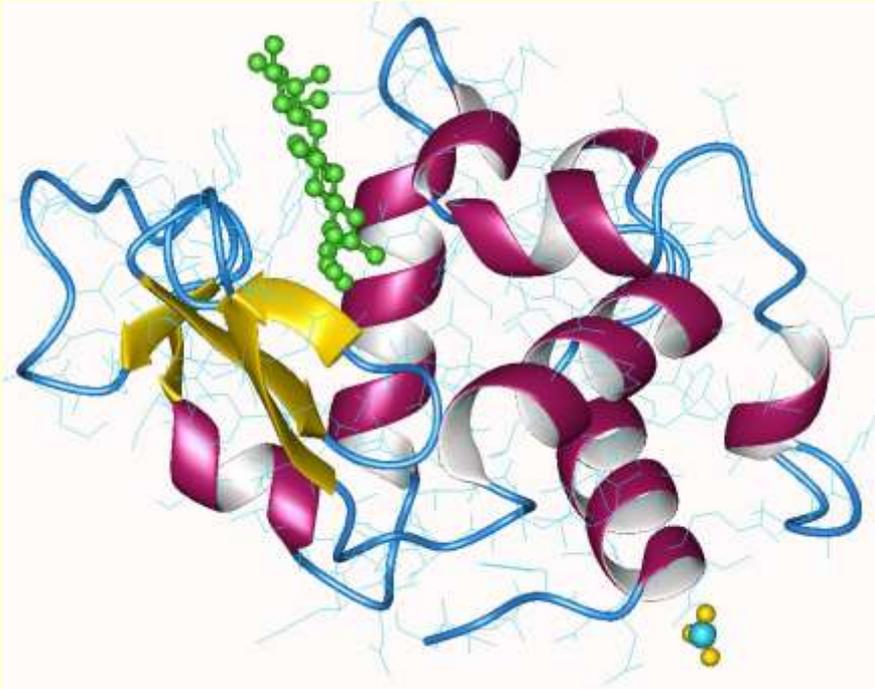


The protein folding problem: a major conundrum of science

Ken Dill at TEDxSBU

<https://www.youtube.com/watch?v=zm-3kovWpNQ> [5:30 à 6:00]





De combien de façons une suite de 129 acides aminés, comme celle de l'enzyme **lysozyme**, peut-elle exister?

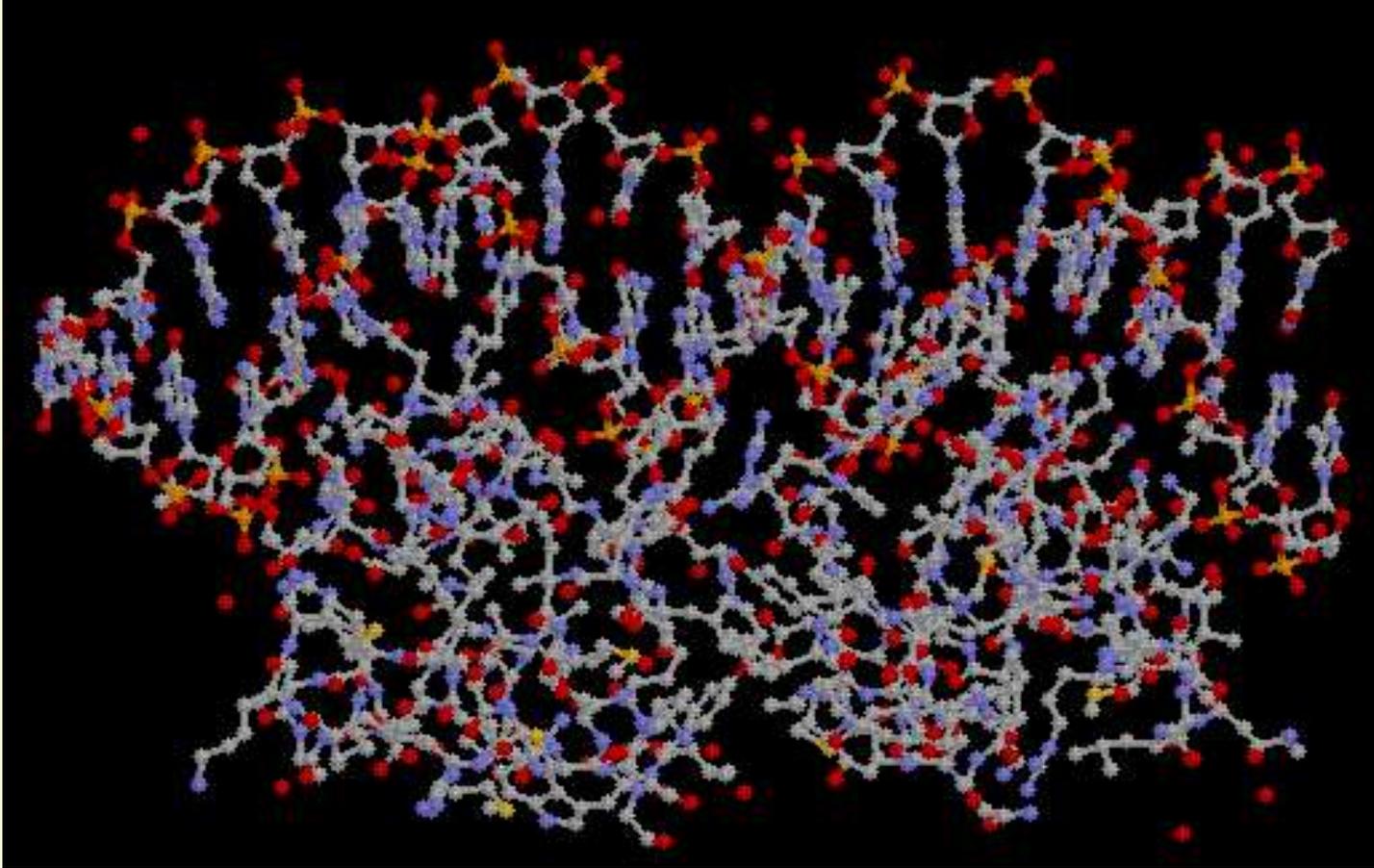
Comme il existe 20 acides aminés différents, cela donne 20^{129} ,
ou encore 10^{168} (10 suivi par 168 zéros).

Donc rendu à ce niveau de complexité, il semble y avoir des événements « **accidentels** »

qui font en sorte que si on « rejouait le film de l'évolution » une autre fois, on n'obtiendrait pas le même résultat... (S. J. Gould)

Ce n'est plus seulement la forme la « plus stable », mais toutes sortes de conditions **contingentes** qui ont déterminé la suite des acides aminés

(conditions contingentes que l'on ne connaîtra jamais...)



On peut donc dire que le **repliement des protéines est le fait de l'auto-organisation** (toujours sous contrôle thermodynamique) **ET** d'événements **contingents**.

Et cela amène « **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...)

Ces propriétés émergentes sont parfois étonnantes
(comme la vie) ou comme cet exemple en chimie :



+



=

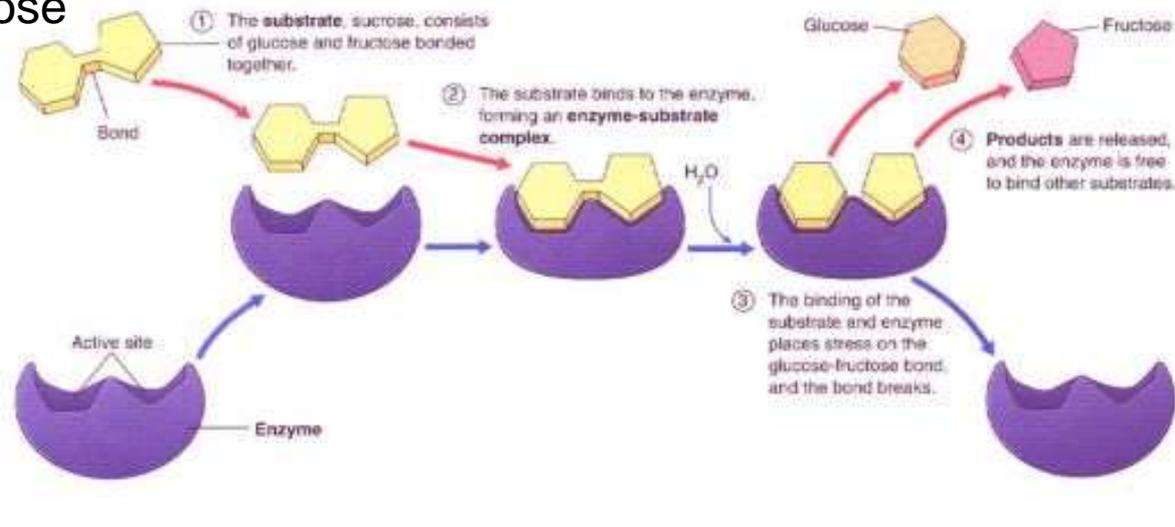


Sodium (Na)
(métal hautement inflammable)

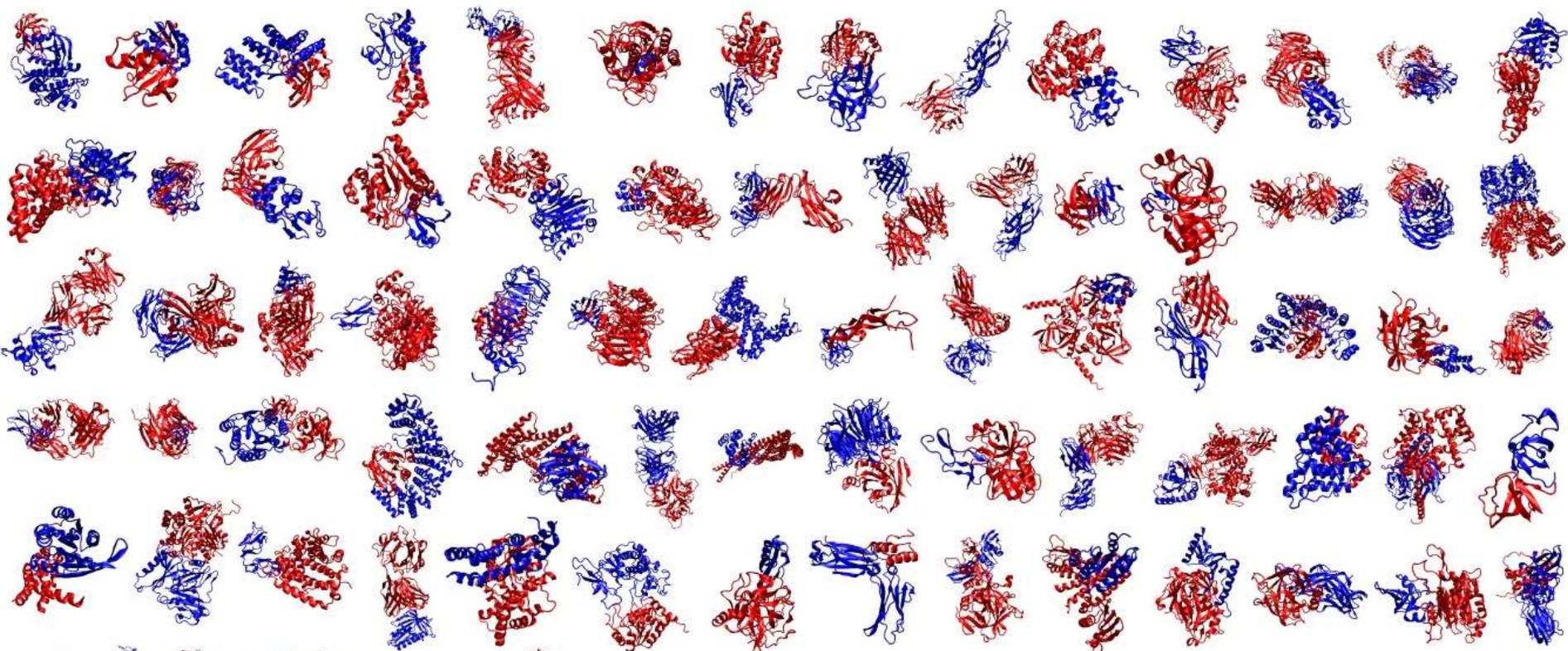
Chlore (Cl)
(gaz très toxique)

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

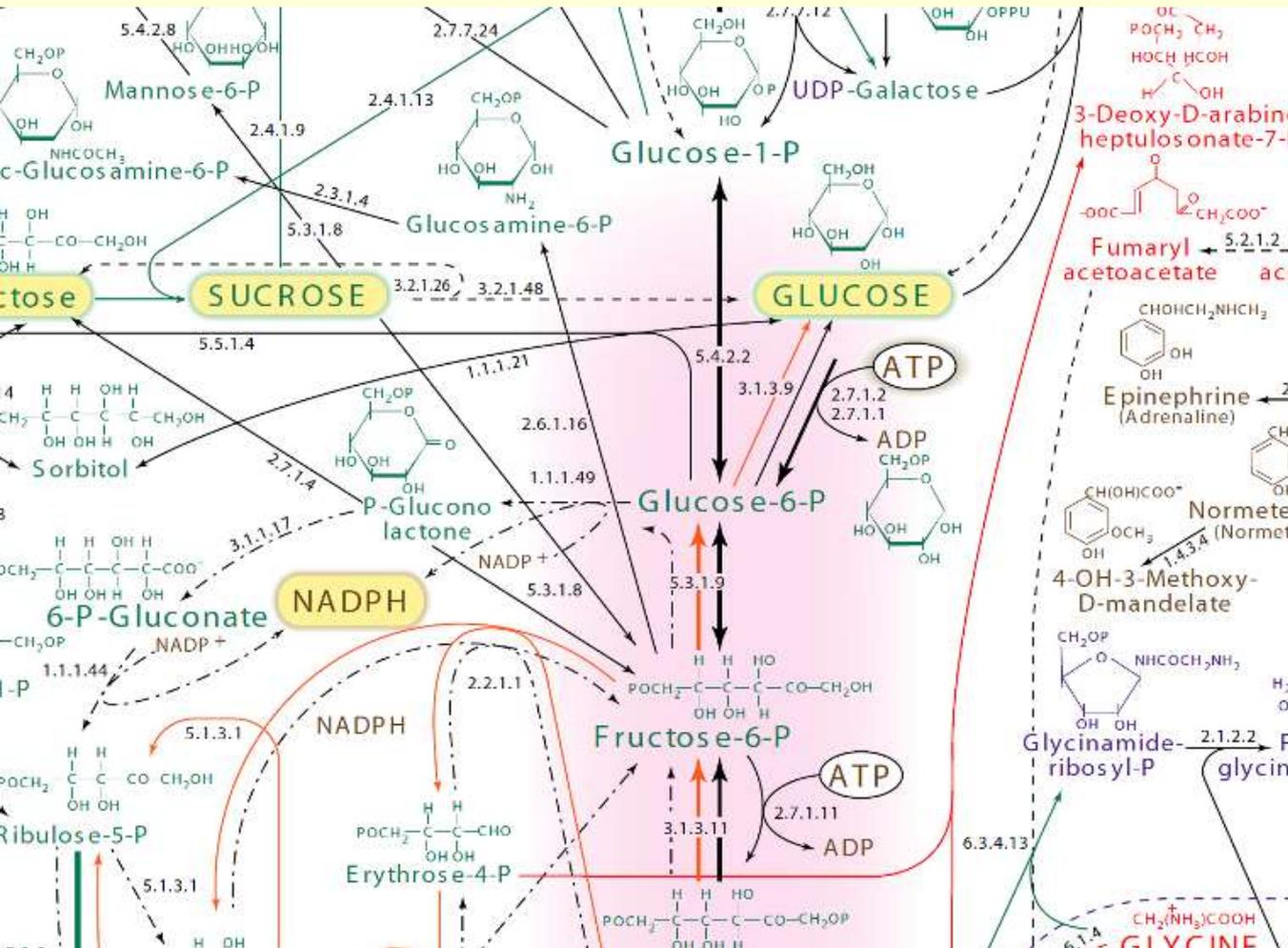
sucrose



Enzyme (protéine)

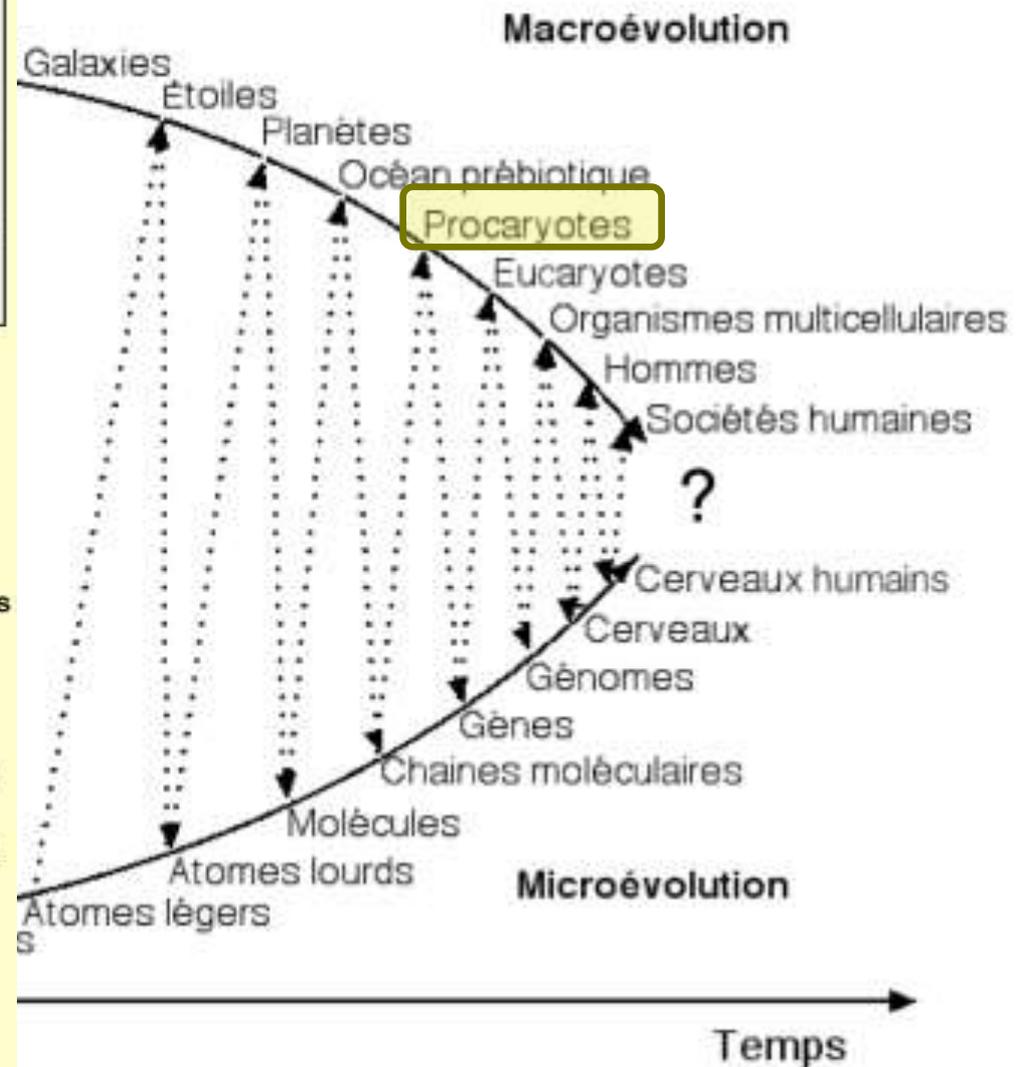
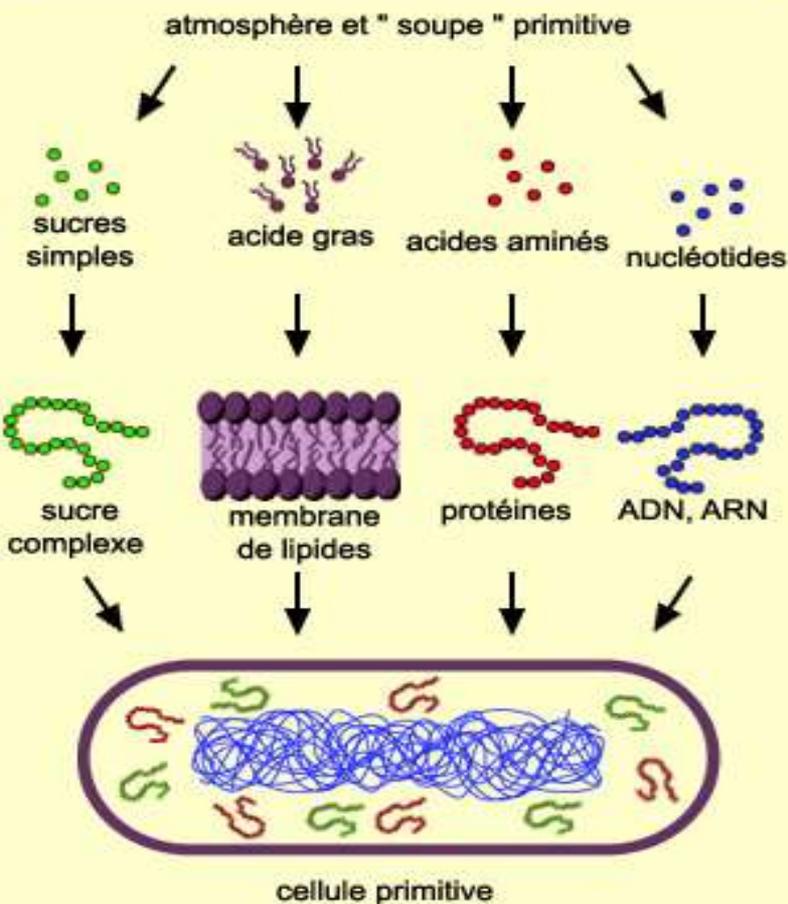


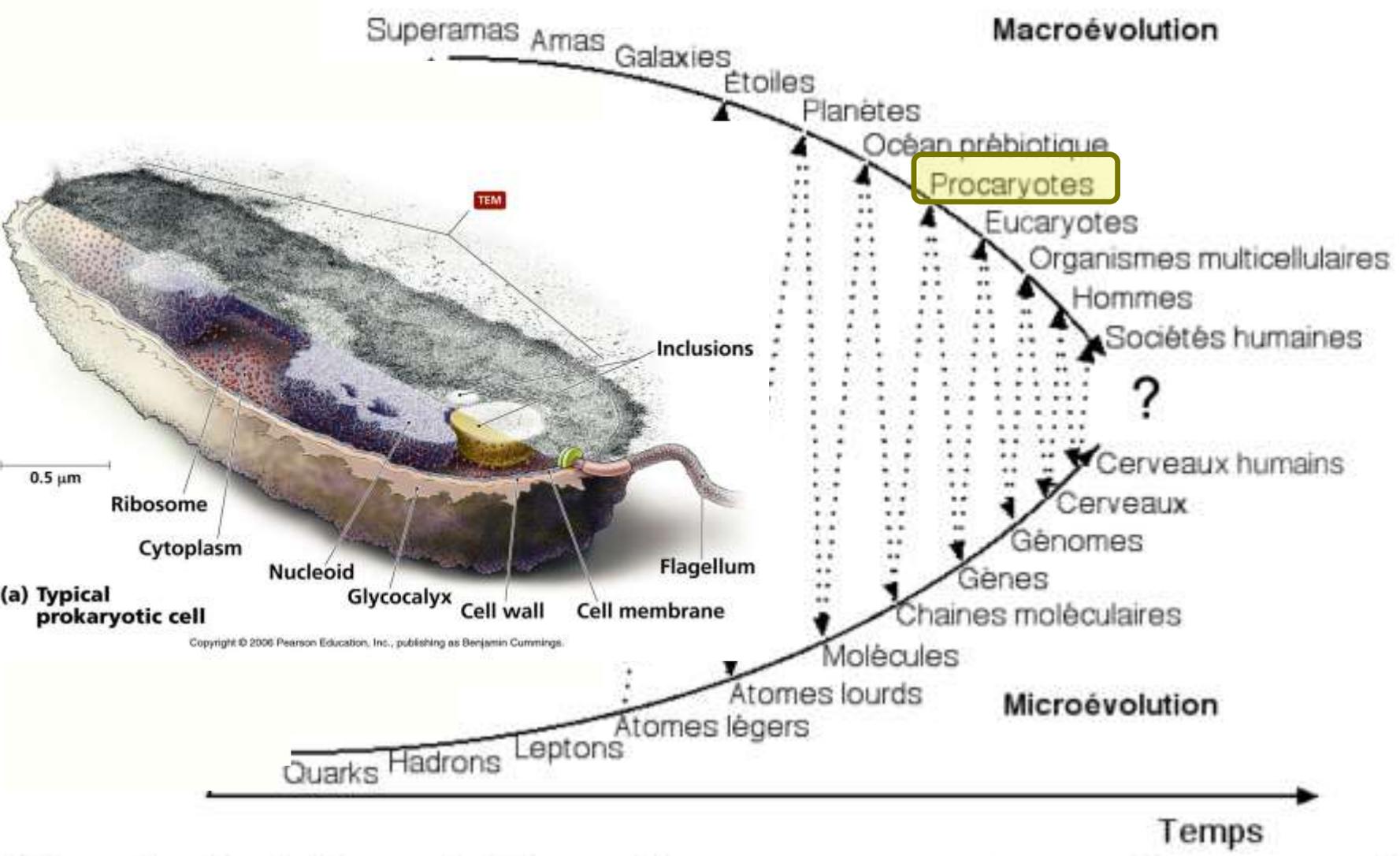
« un réseau complexe d'éléments »... : enzymes (protéines), ADN, etc.

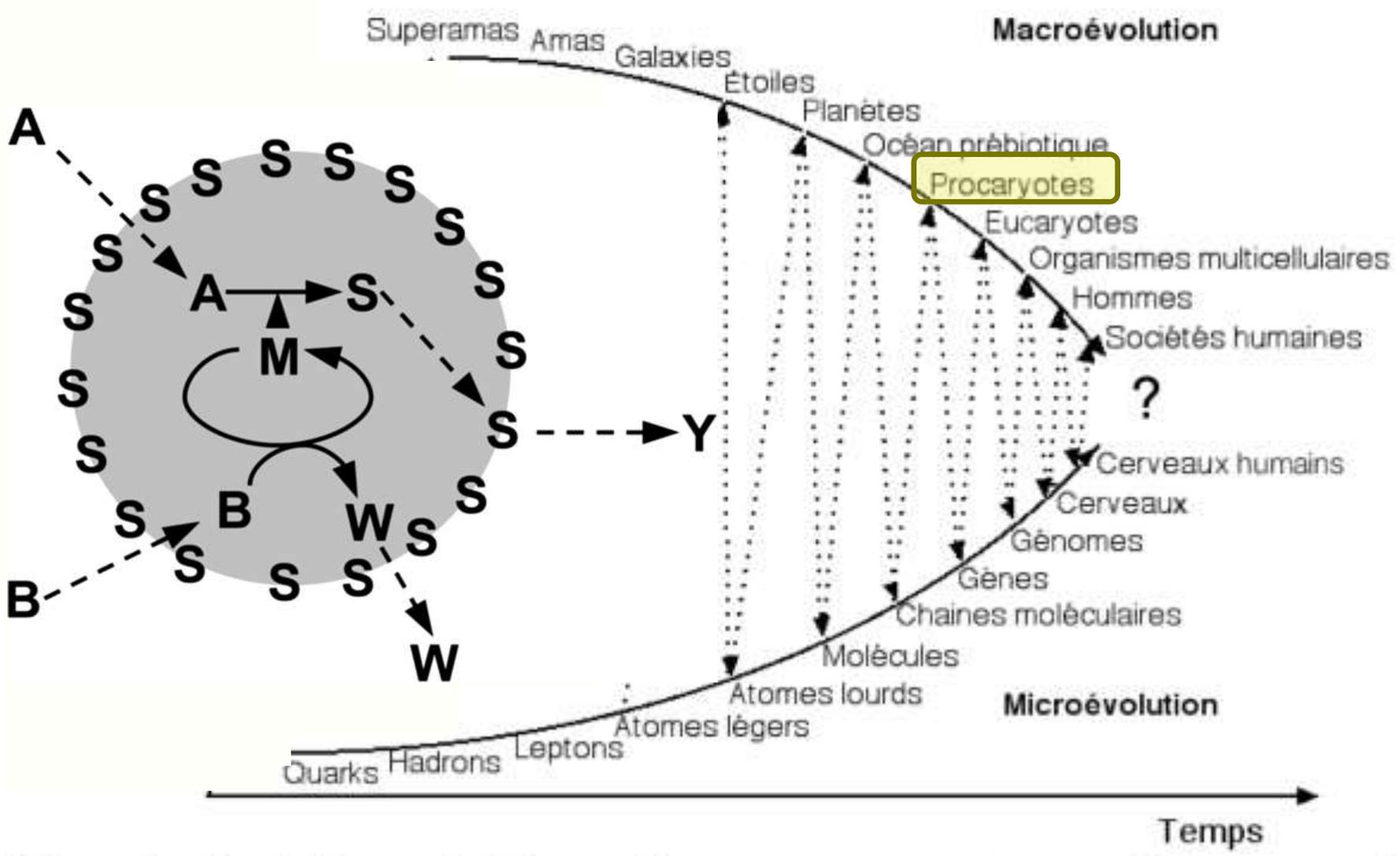


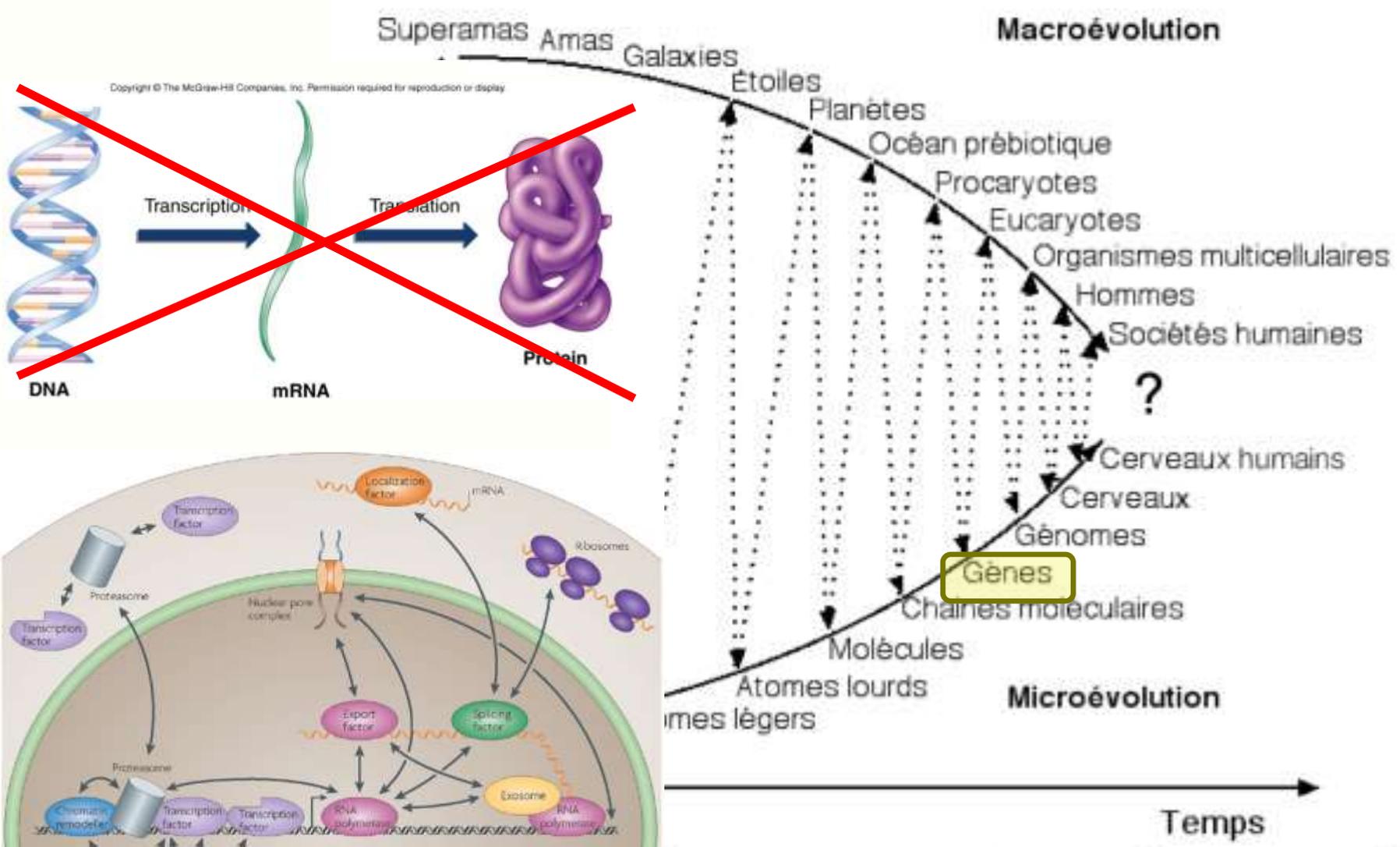
..qui régénèrent constamment, par leurs interactions et transformations, le réseau qui les a produits.

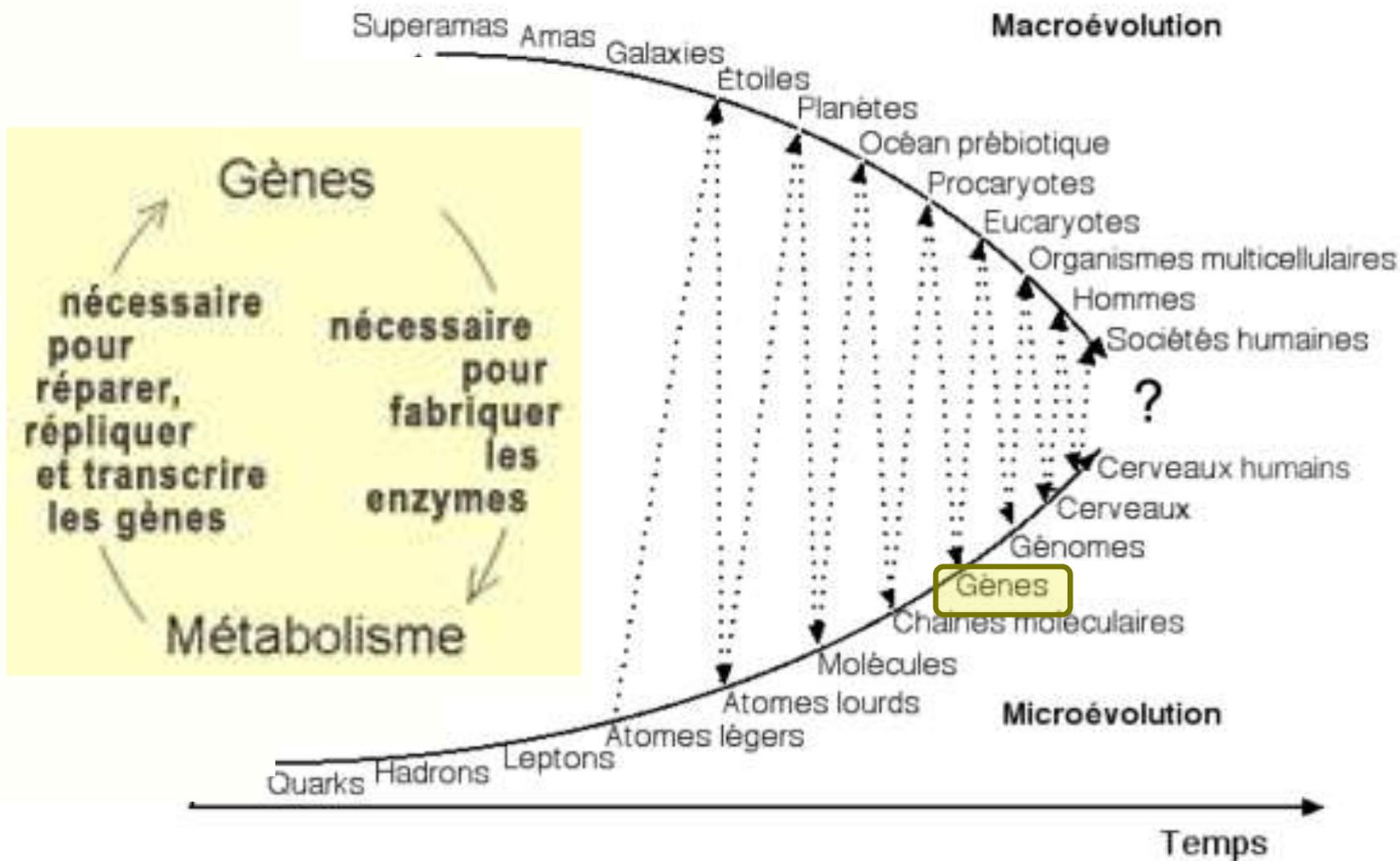
Un réseau continuellement en train de s'auto-produire...

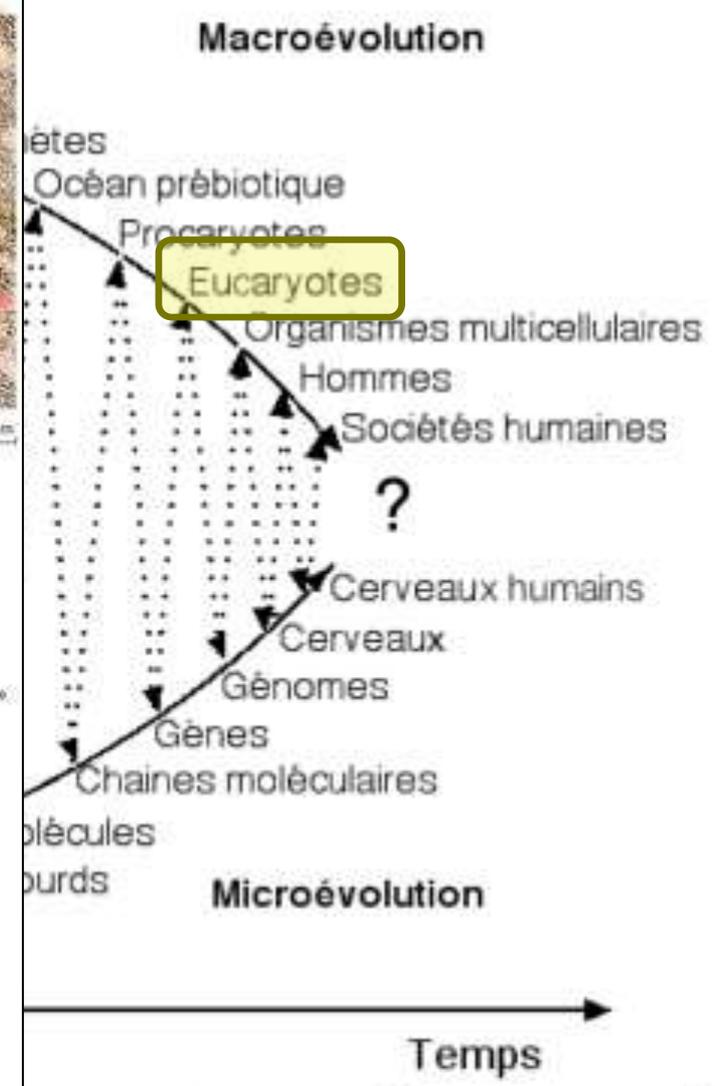
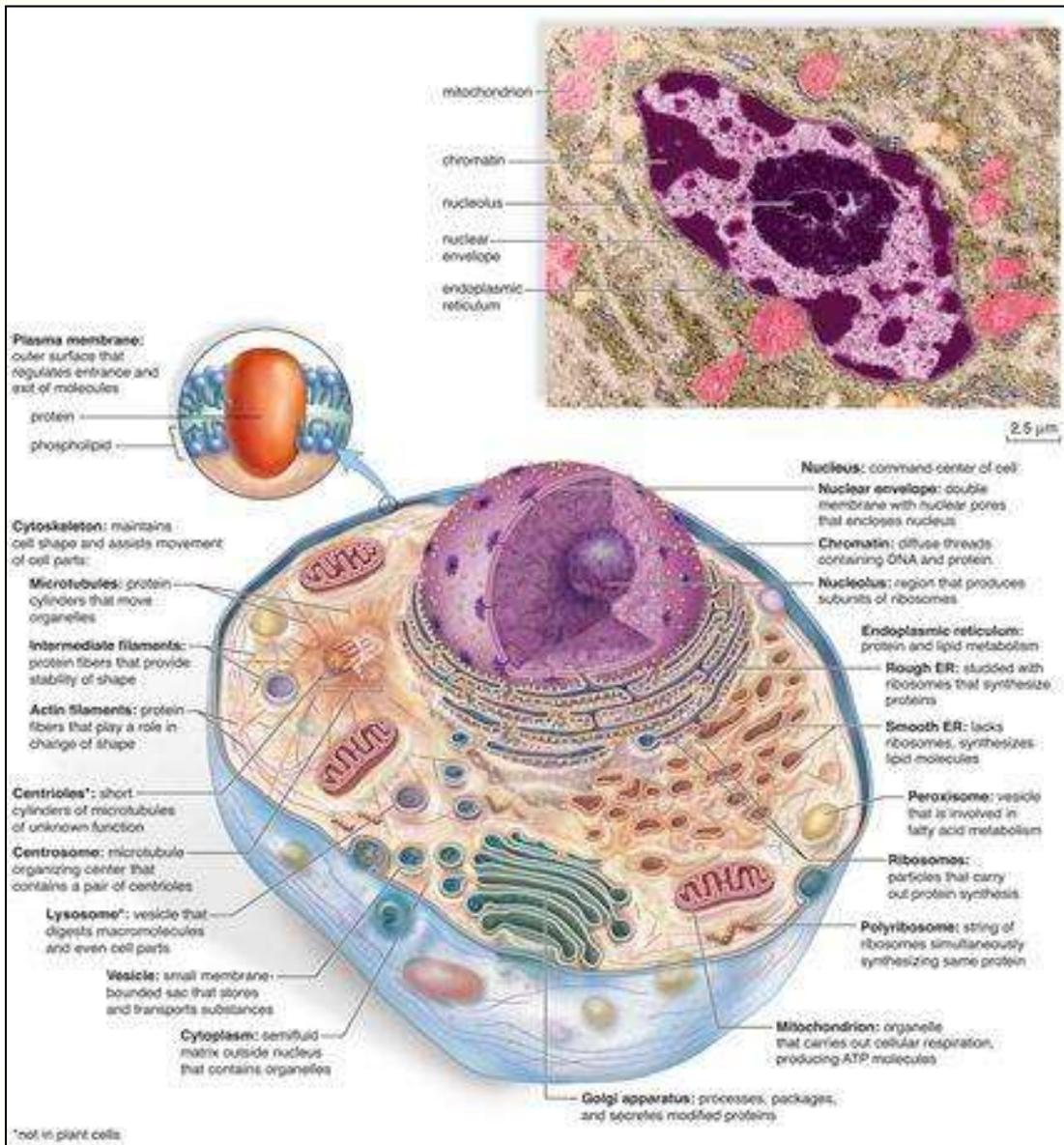






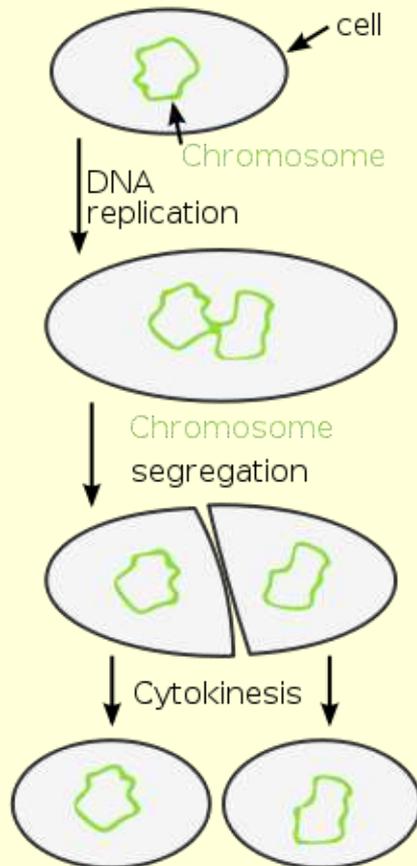




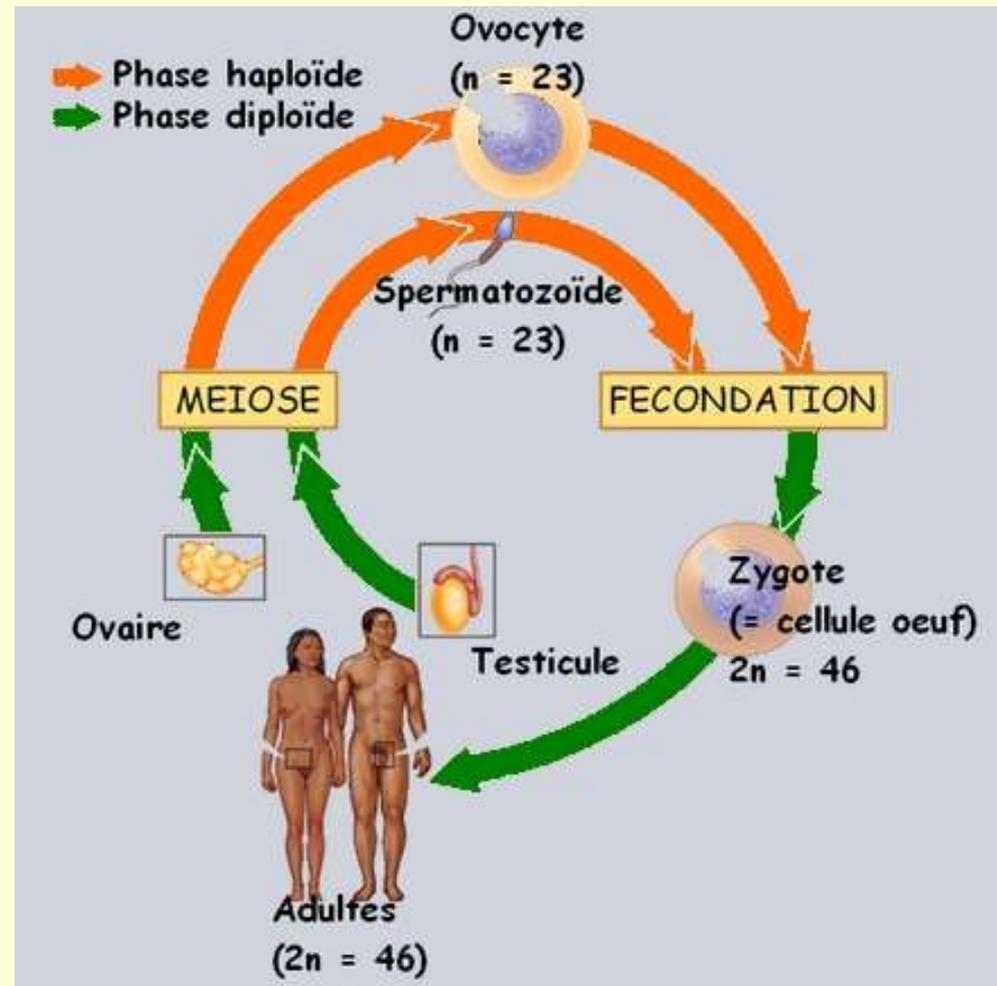


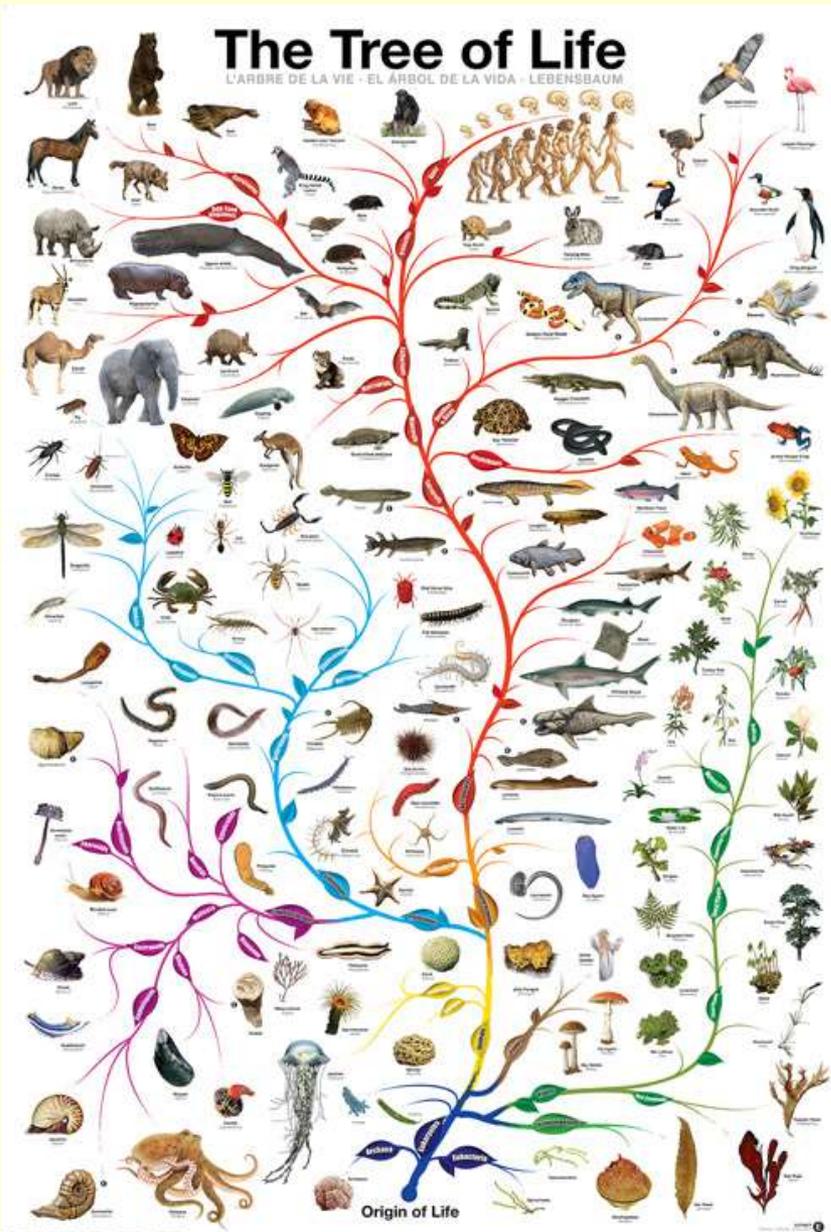
Autre étape importante : apparition de la **reproduction sexuée**, vraisemblablement avec les premiers eucaryotes.

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

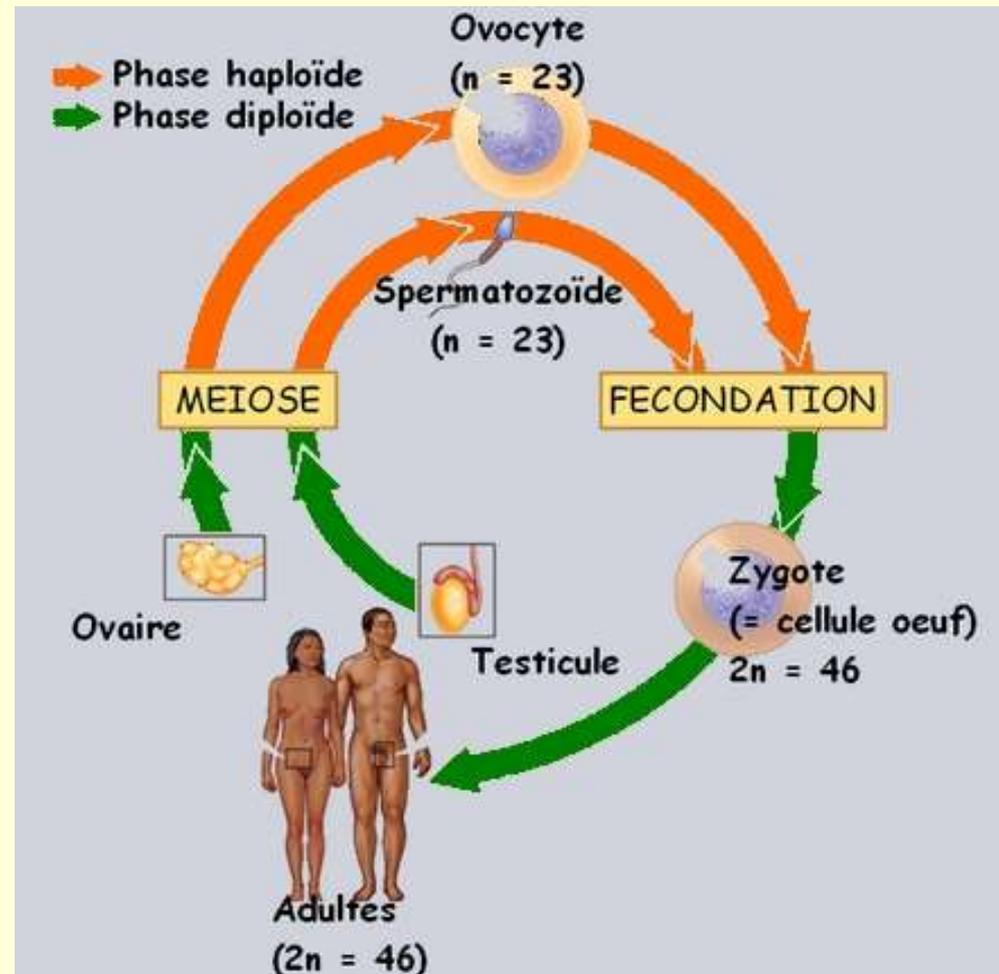


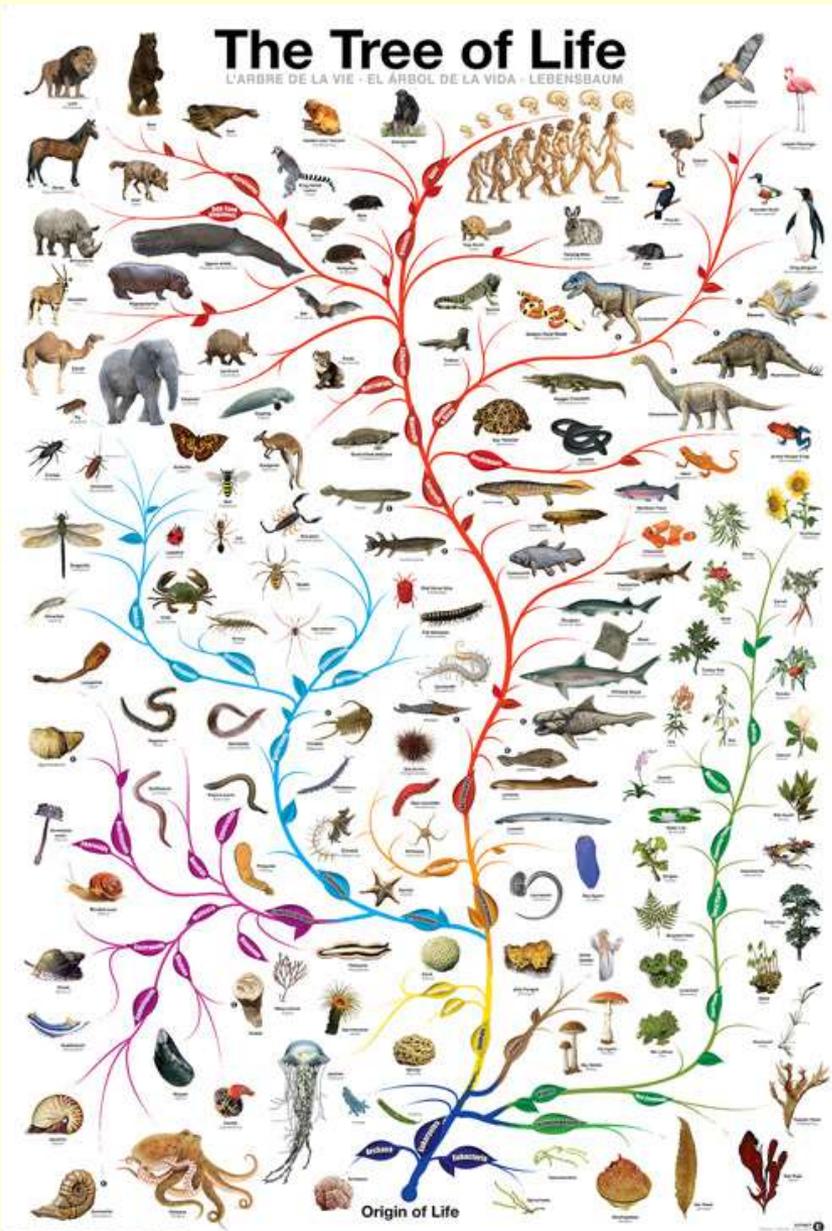
La sexualité : **deux** « parent » se mettent ensemble pour faire **un** individu toujours **différent** grâce au **brassage** du patrimoine génétique (crée beaucoup plus de **diversité**)





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



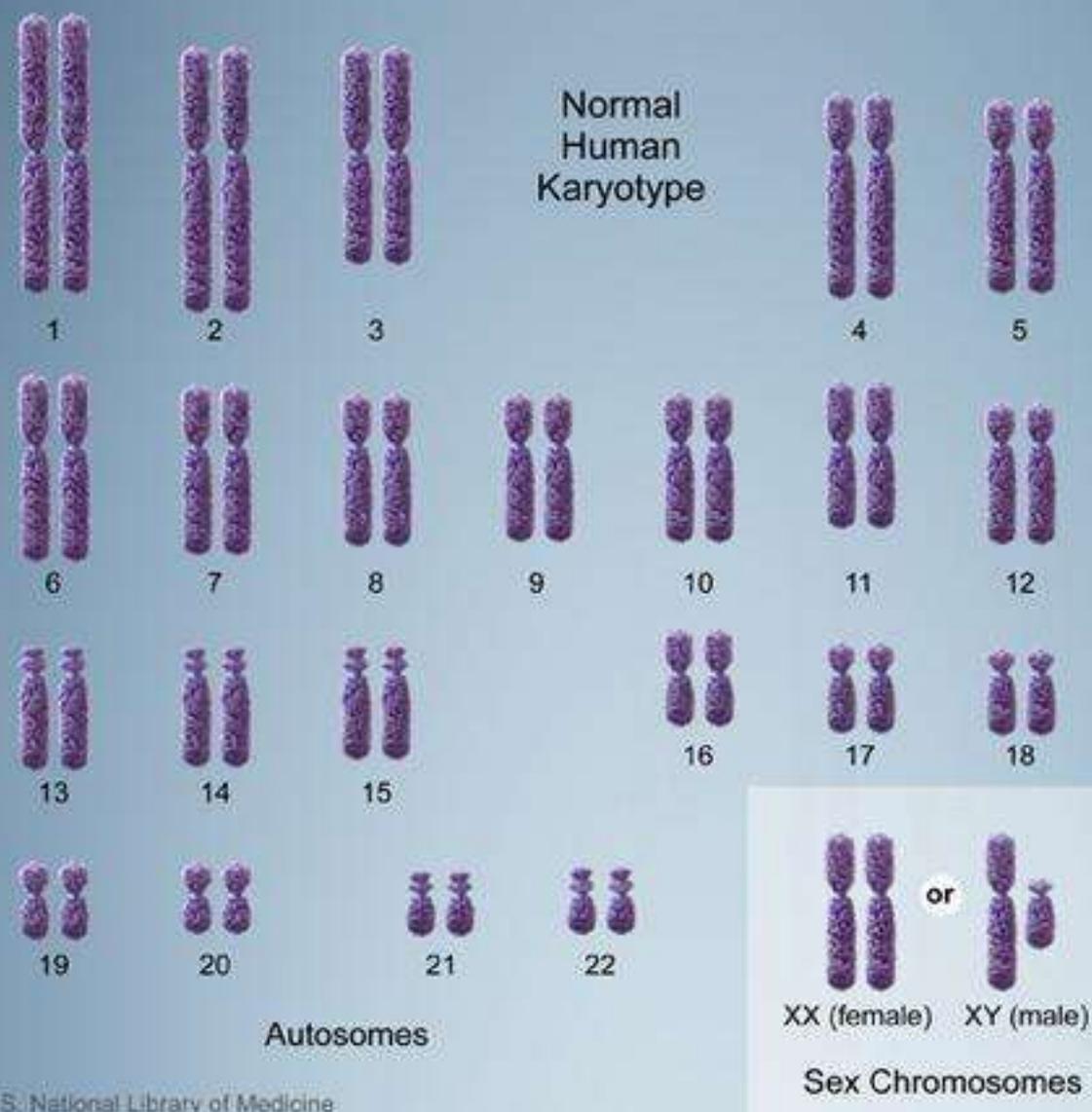


Pas de sexualité, peu de diversité.

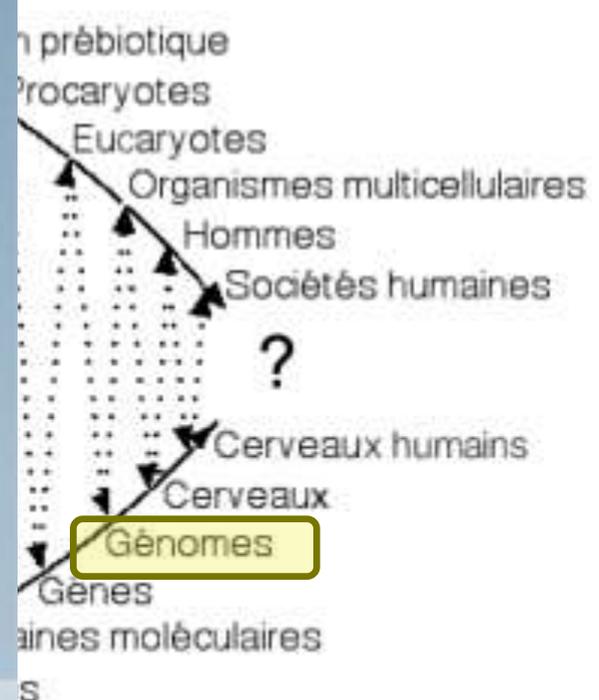
Peu de diversité, peu d'évolution biologique.

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

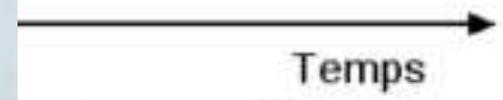


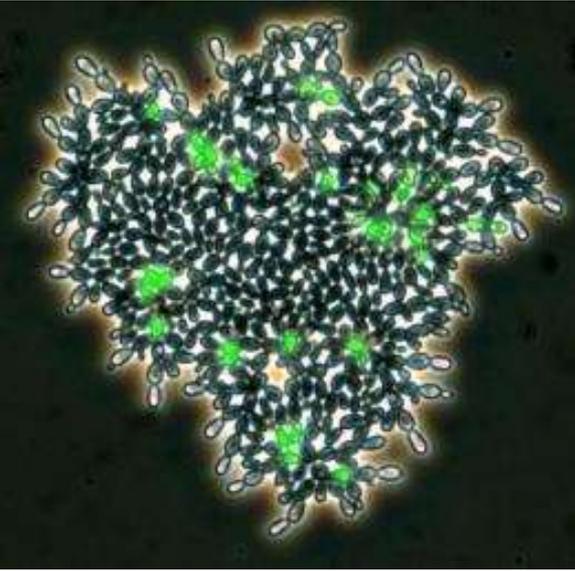


Macroévolution



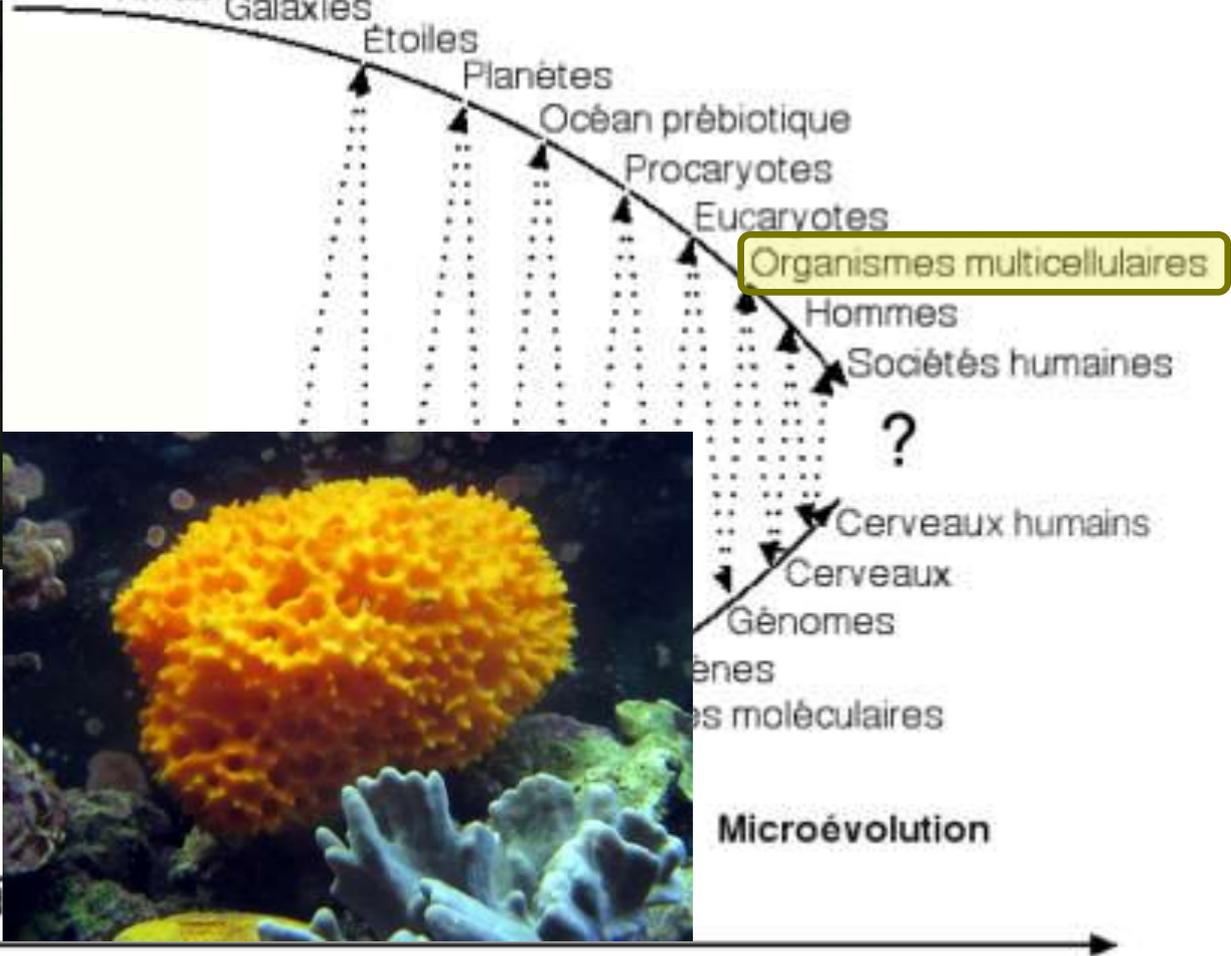
Microévolution





Superamas Amas Galaxies

Macroévolution



Quarks Had

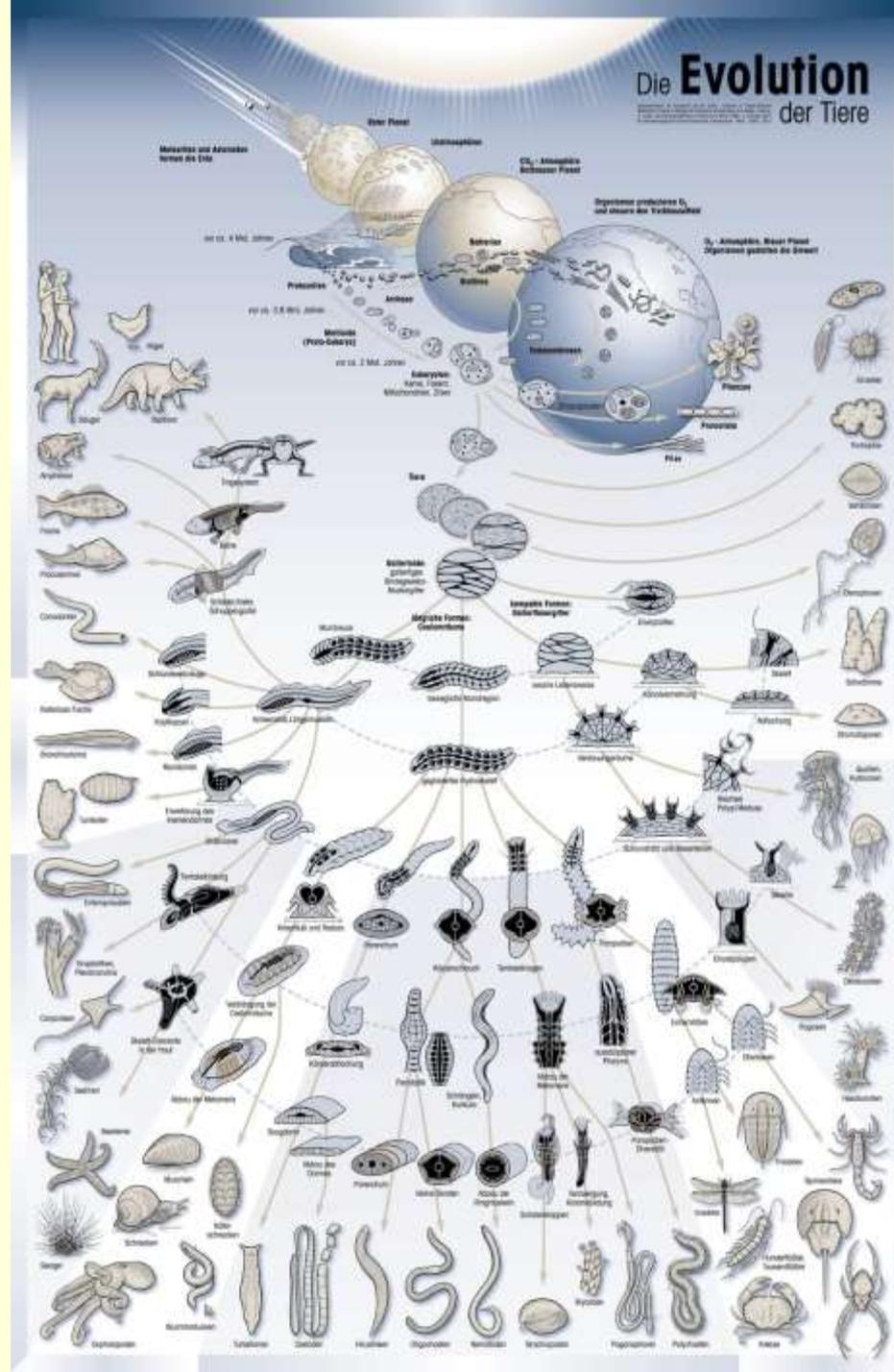
Microévolution

Temps



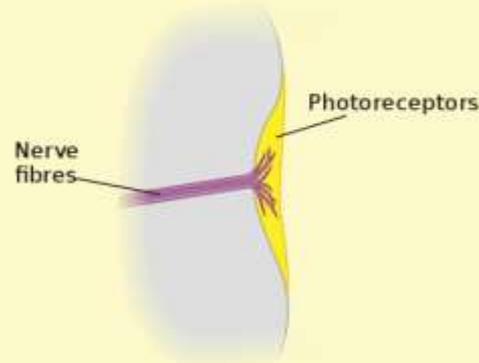
Un moteur important de l'évolution : La sélection naturelle

- 1- Les individus d'une population **diffèrent suite à des mutations** qui surviennent au hasard;
- 2- Plusieurs de ces différences sont **héréditaires**;
- 3- Certains individus, dans un environnement donné, ont des caractéristiques qui les **avantagent** en terme de survie et de reproduction;
- 4- Ils vont donc transmettre **plus efficacement à leur descendants ces caractères héréditaires avantageux**, et progressivement toute la population les possédera.

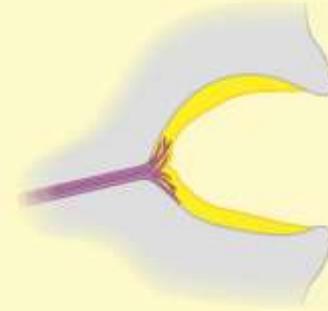


L'exemple de l'oeil

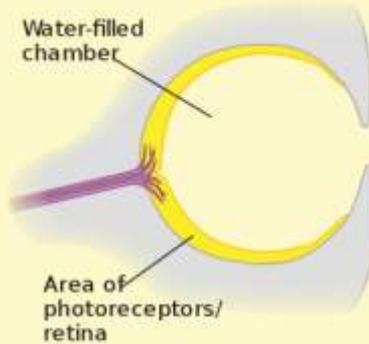
a) Region of photosensitive cells



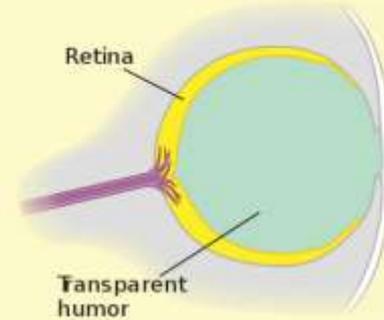
b) Depressed/folded area allows limited directional sensitivity



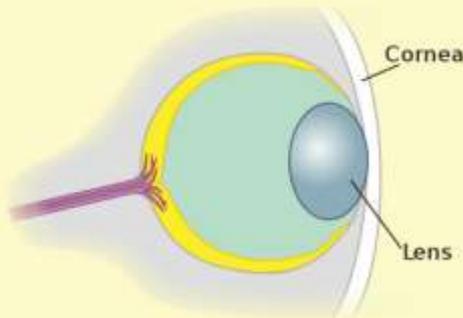
c) "Pinhole" eye allows finer directional sensitivity and limited imaging



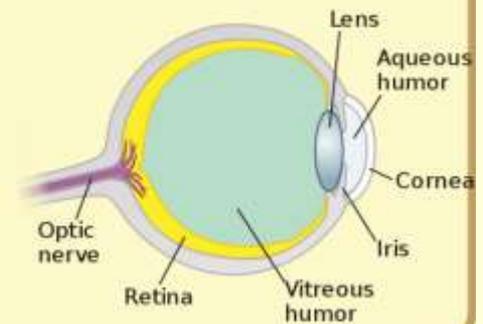
d) Transparent humor develops in enclosed chamber



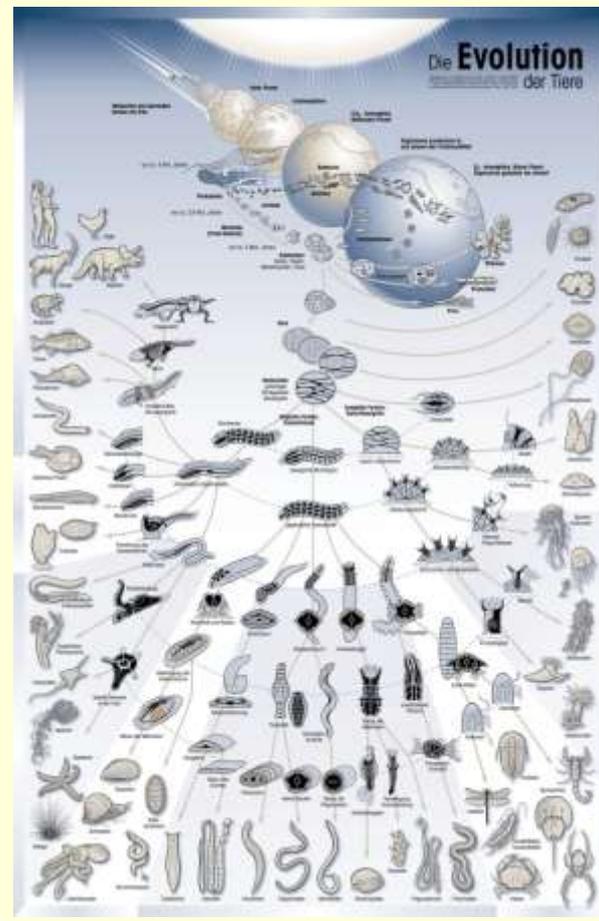
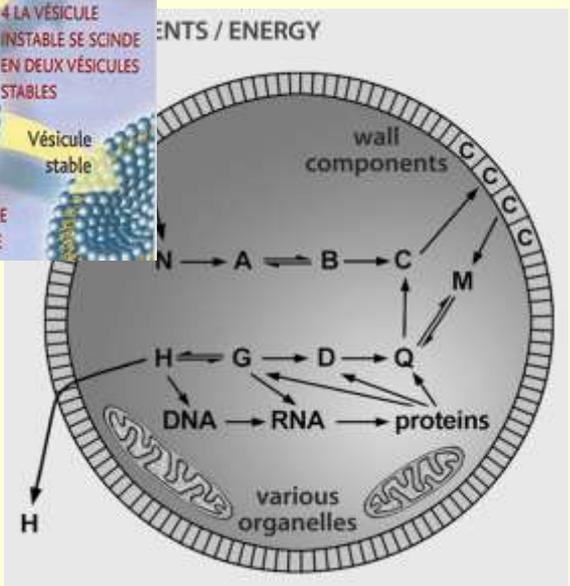
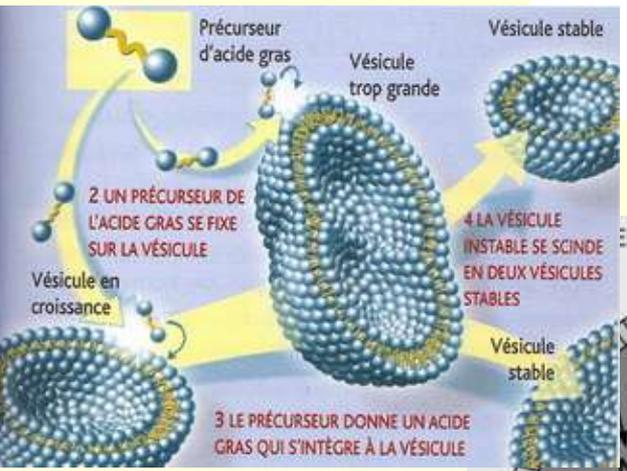
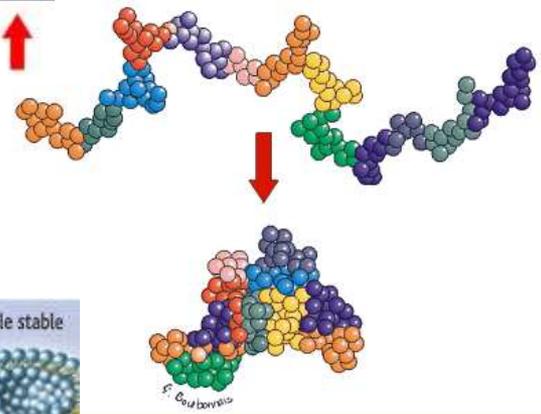
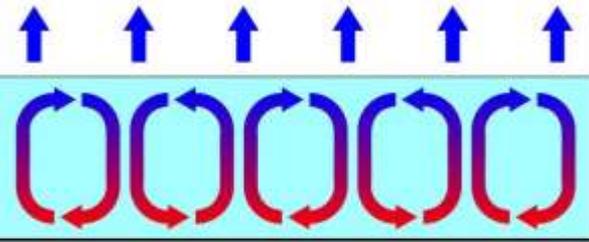
e) Distinct lens develops



f) Iris and separate cornea develop



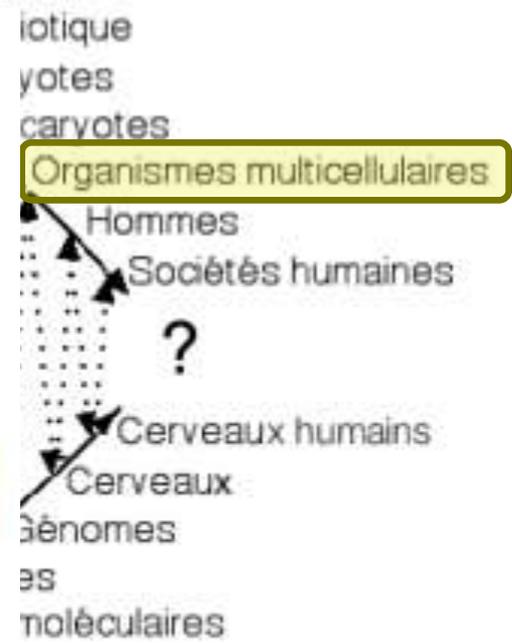
Auto-organisation + Diversité & Sélection



= deux processus fondamentaux qui se renforcent mutuellement (théorie des systèmes évolutifs)

Superamas Amas Galaxies Étoiles Planètes

Macroévolution



Quarks Hadrons Leptons Atomes légers Atomes lourds

Microévolution



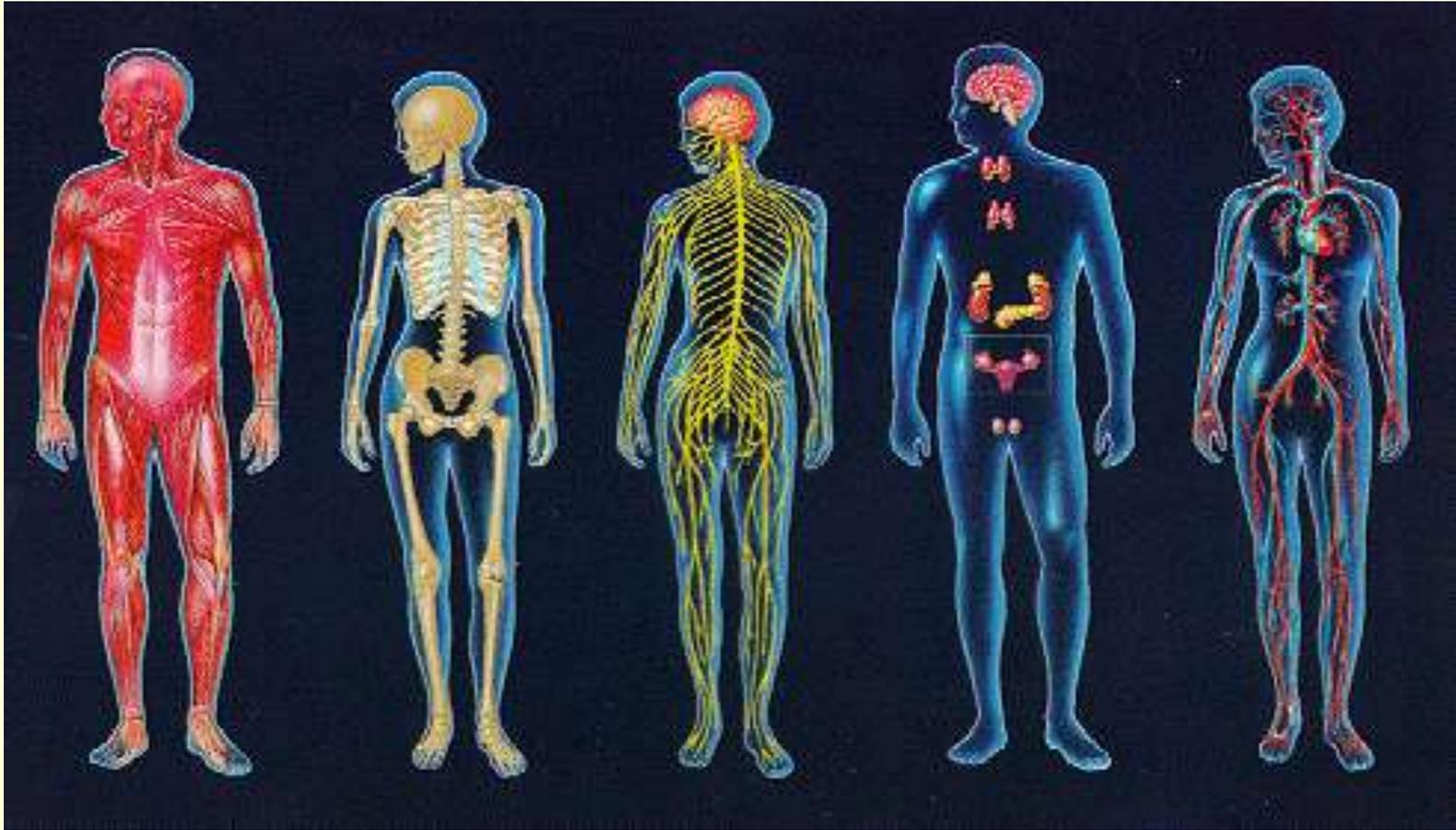
Ces cellules spécialisées vont former éventuellement différents **tissus** et **organes**, et finalement différents **grands systèmes...**

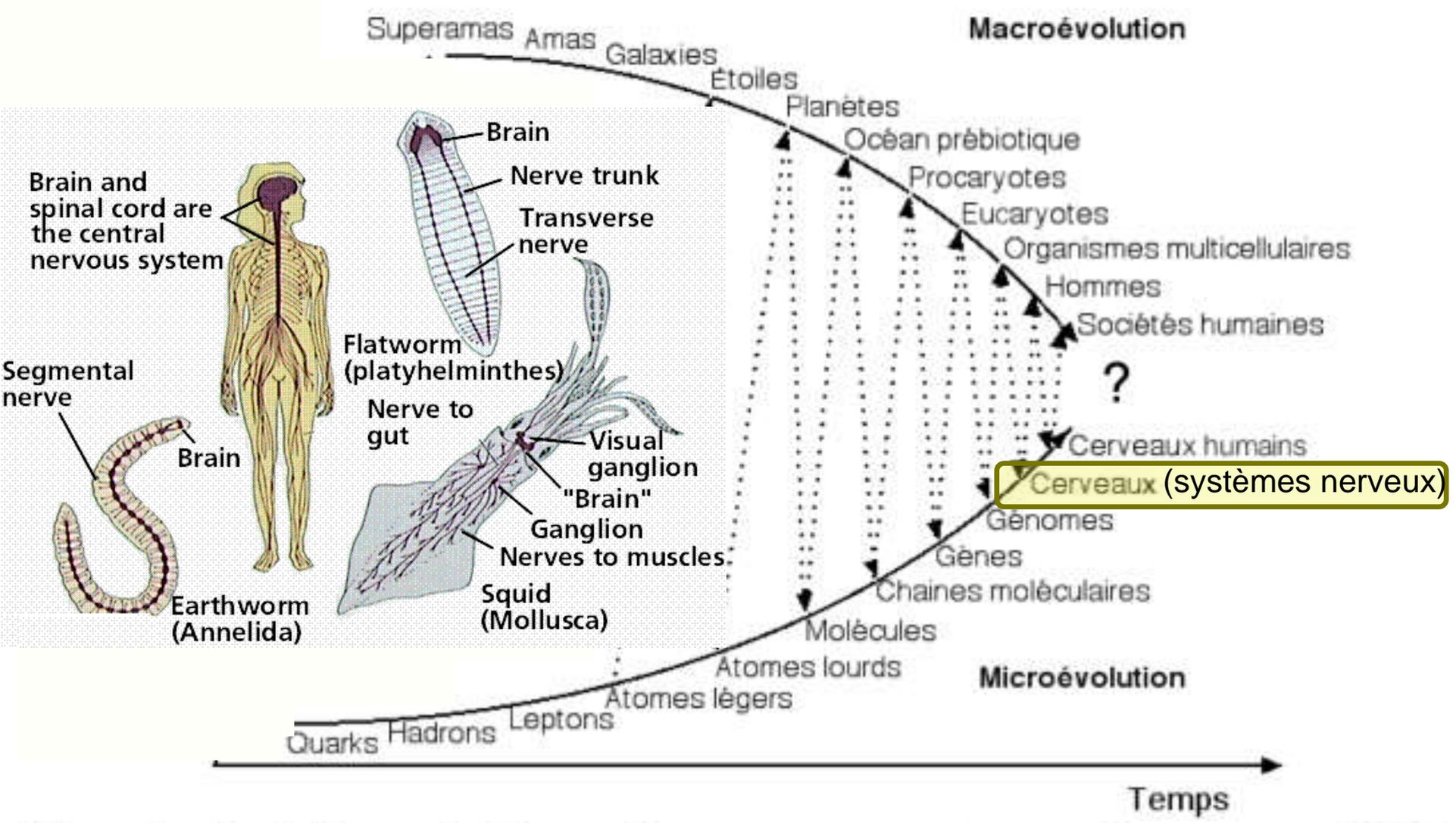
Musculo-squelettique

Nerveux

Endocrinien

Circulatoire





2^e principe de la thermodynamique :

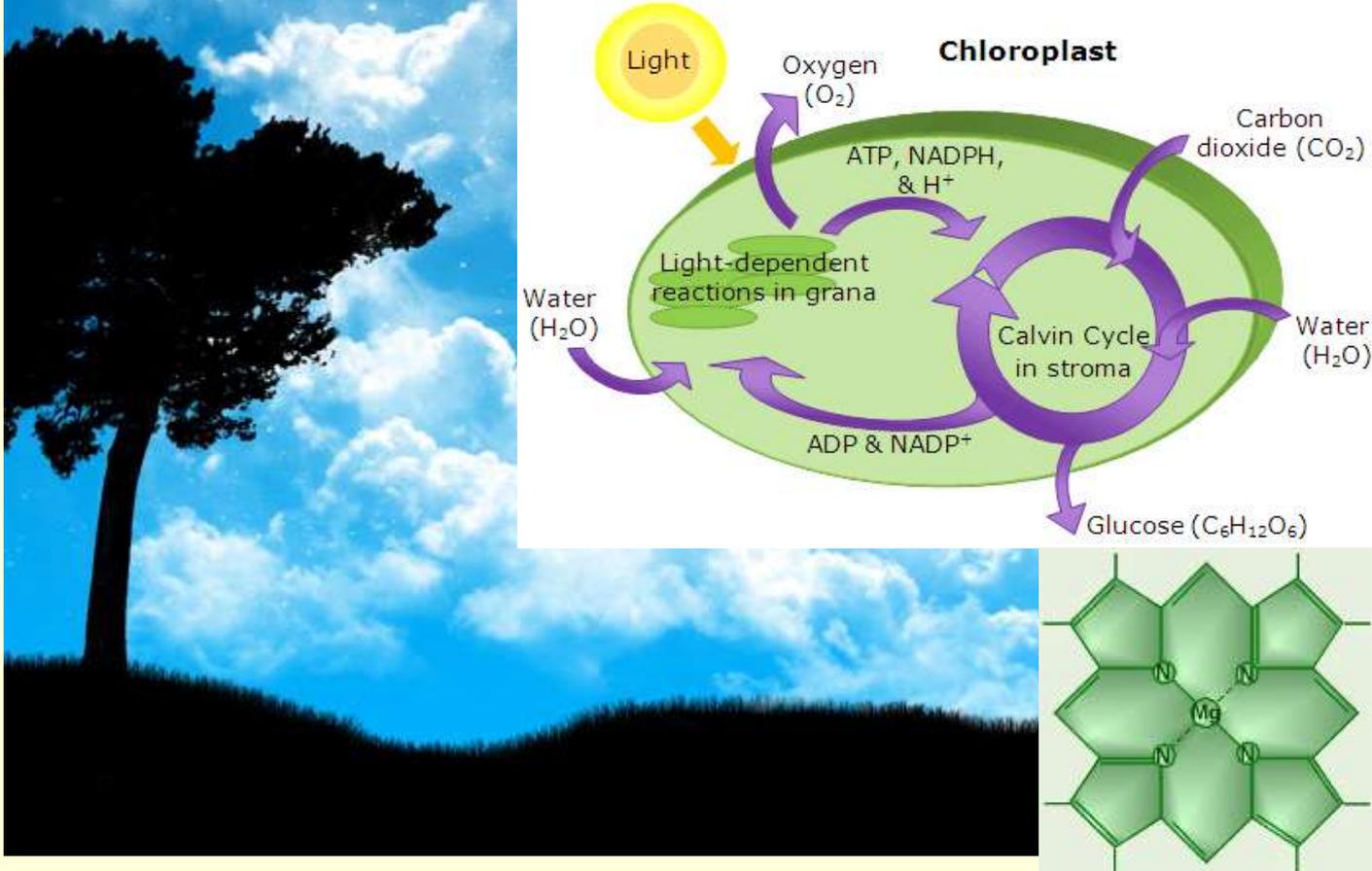
l'entropie (désordre) croît constamment





« 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

Le système nerveux

Faire ressortir du **sens** du chaos du monde,

prévoir ce qui va s'y passer,

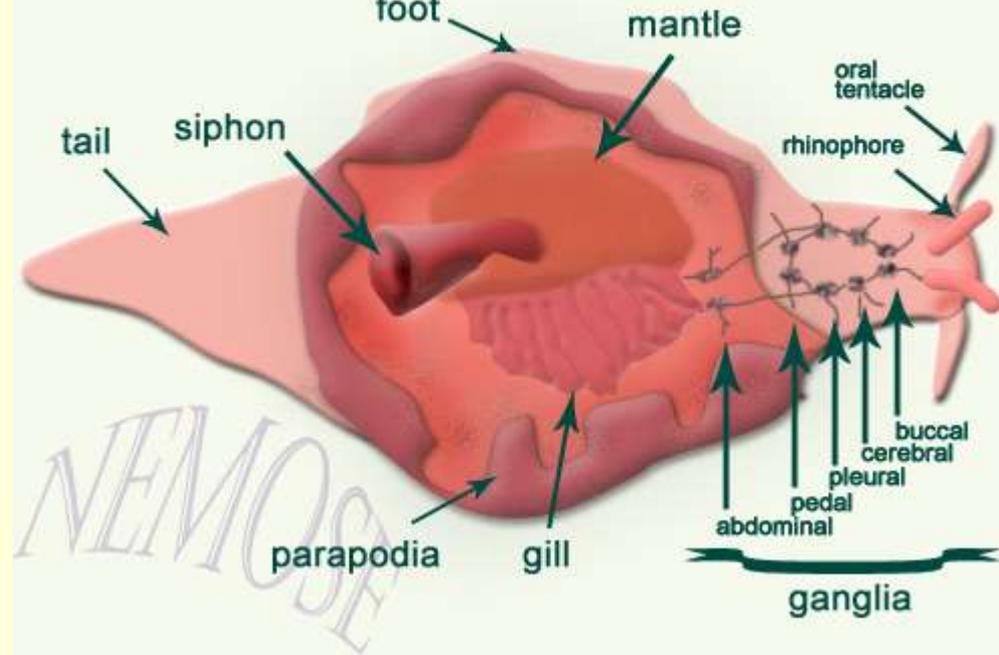
et y **réagir** promptement,

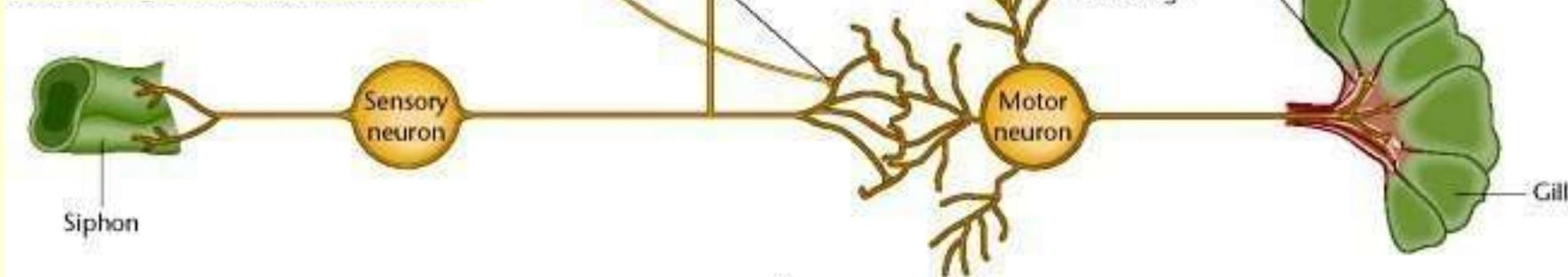
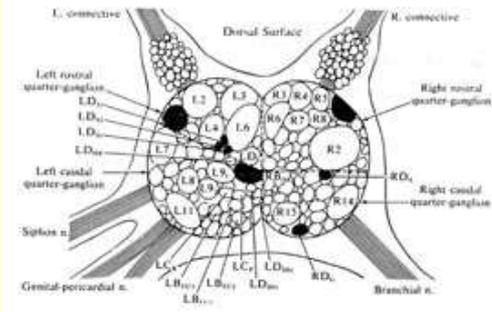
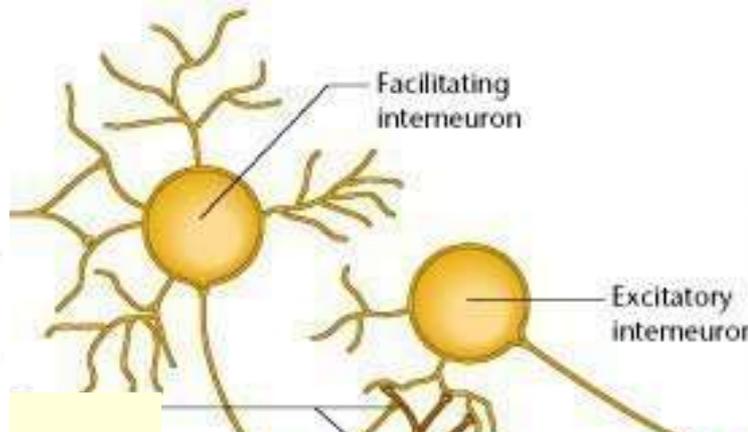
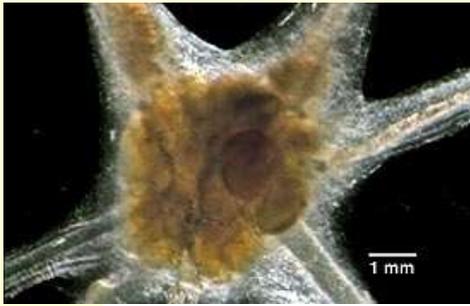
voilà le rôle du **système nerveux**.





Aplysie
(mollusque marin)

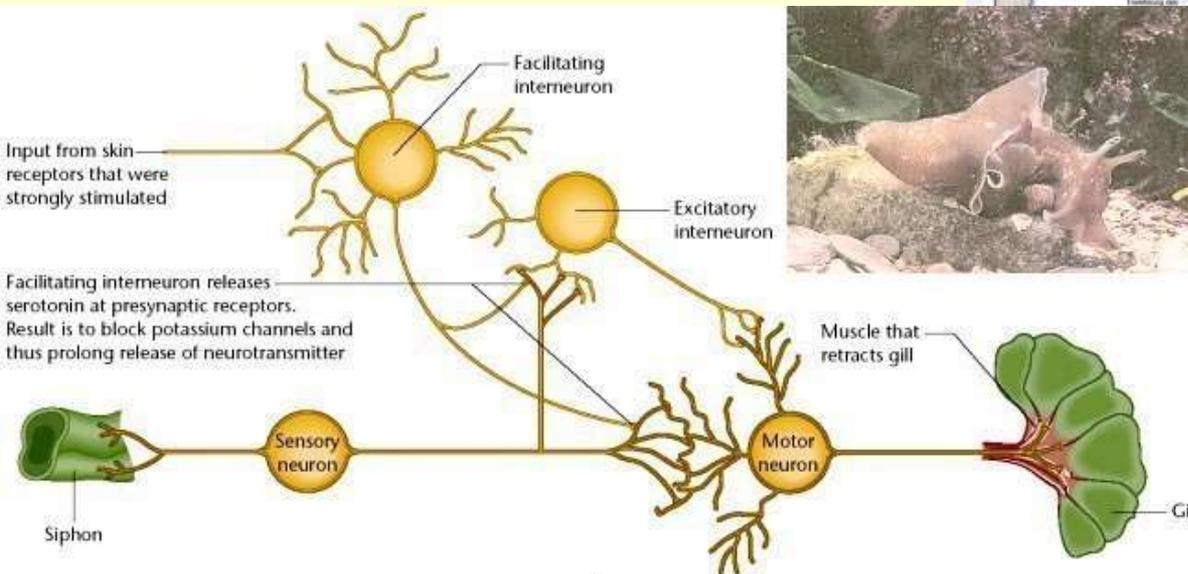
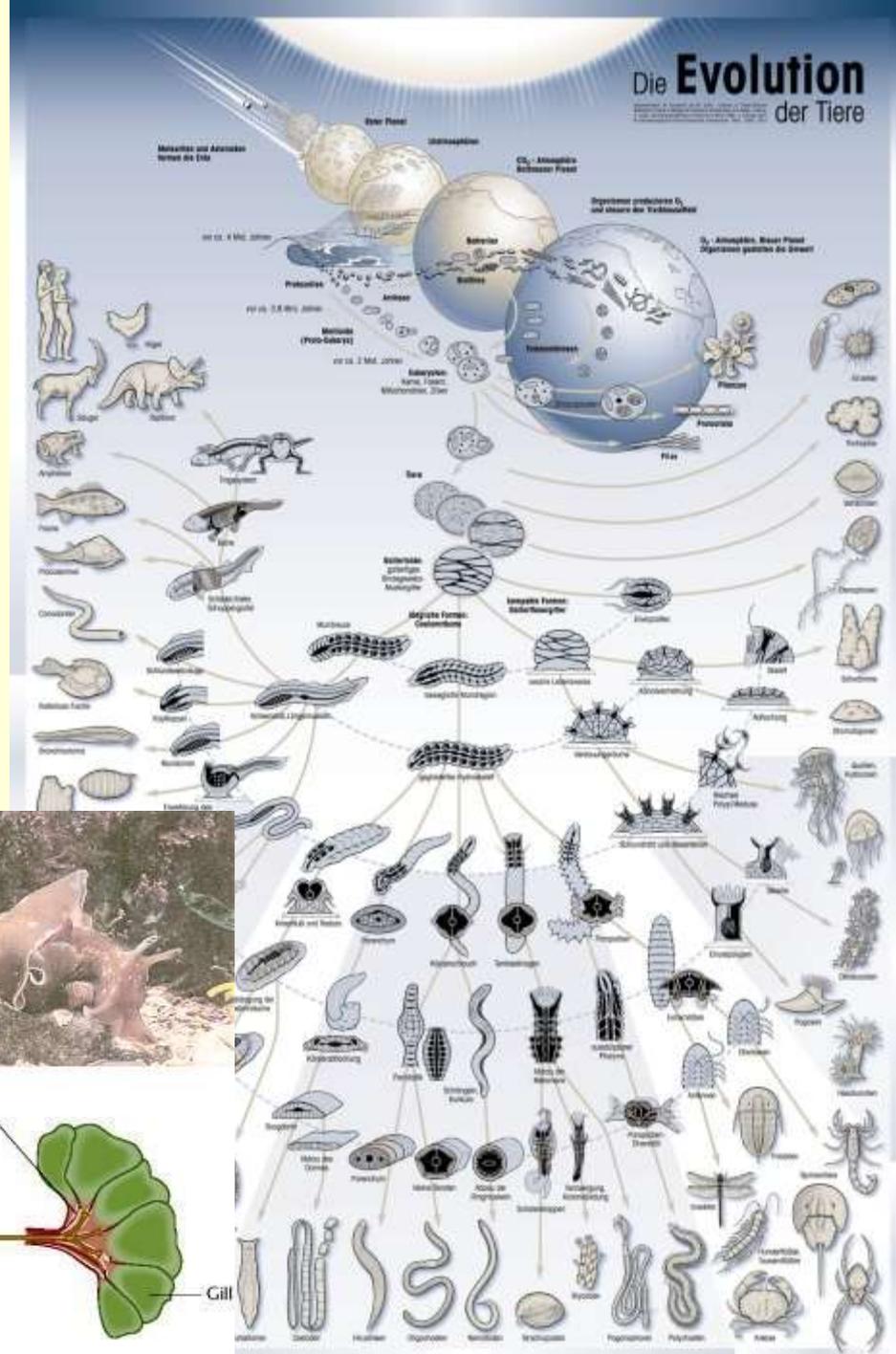




Une boucle sensori - motrice

qui va permettre de **connaître** le monde et **d'agir** sur ce monde.

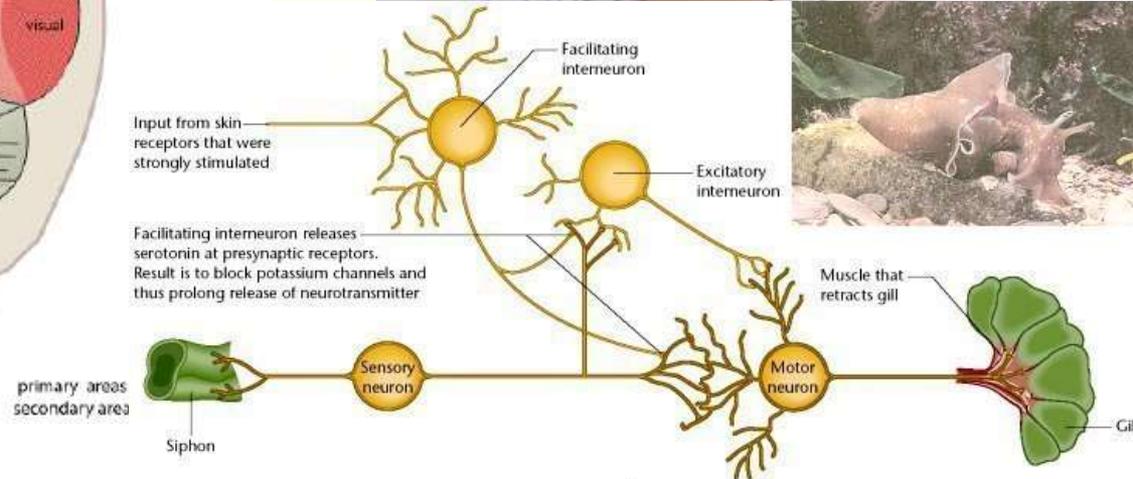
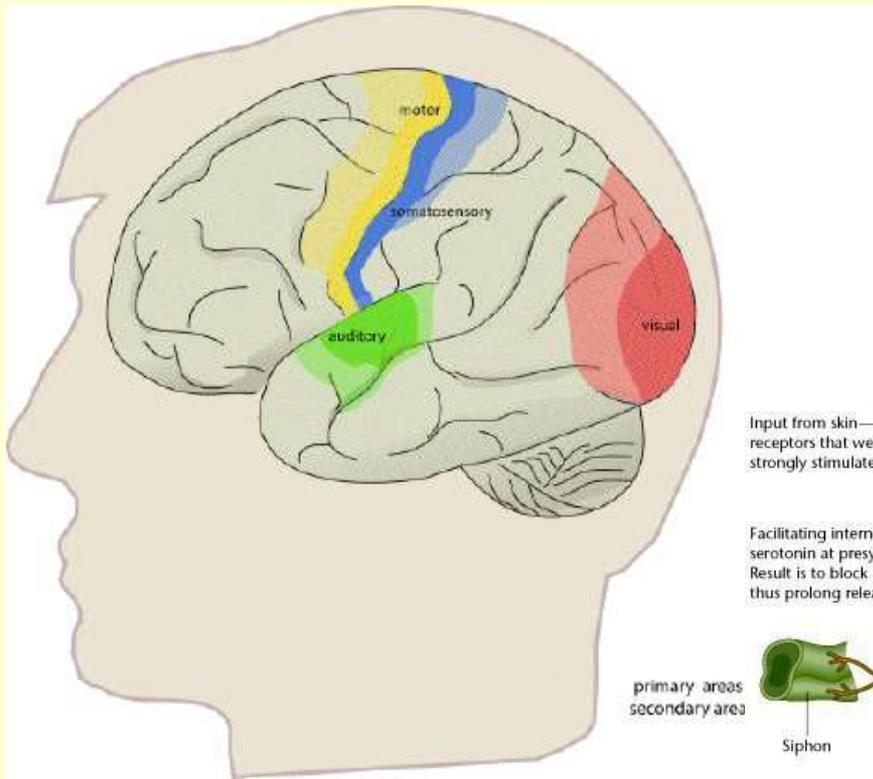
Pendant des centaines de millions d'années, c'est donc cette boucle-sensorimotrice qui va se complexifier...



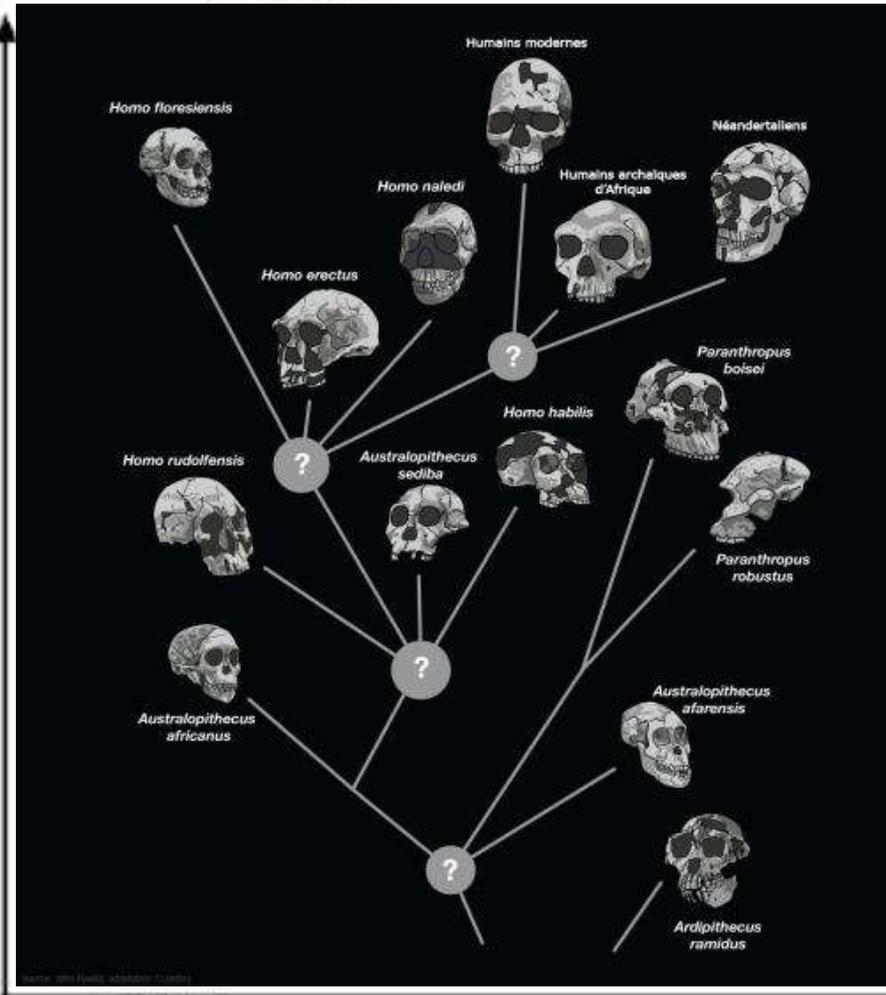
Le cerveau humain est encore construit sur cette **boucle perception – action**,

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

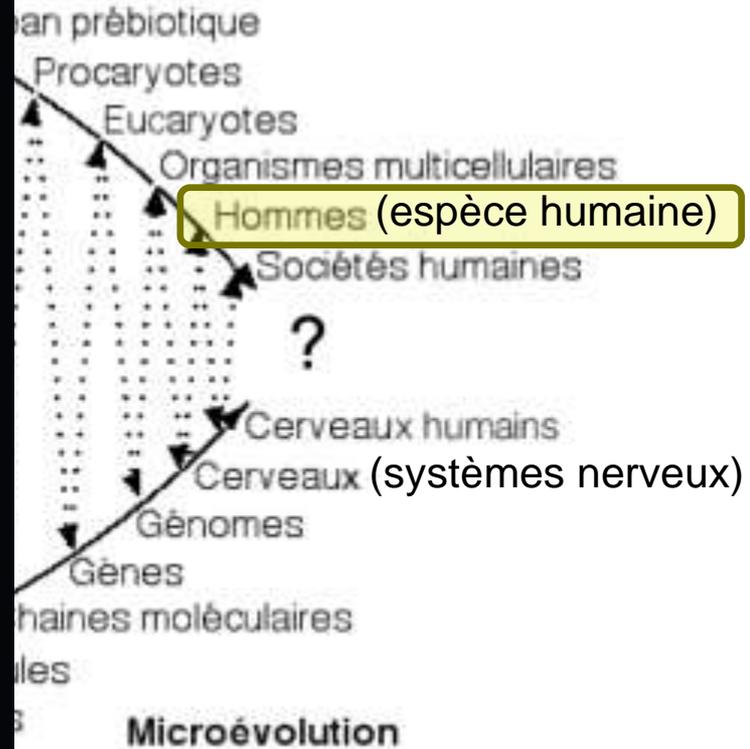
comme les inter-neurones de l'aplysie.



Extension spatiale



Macroévolution

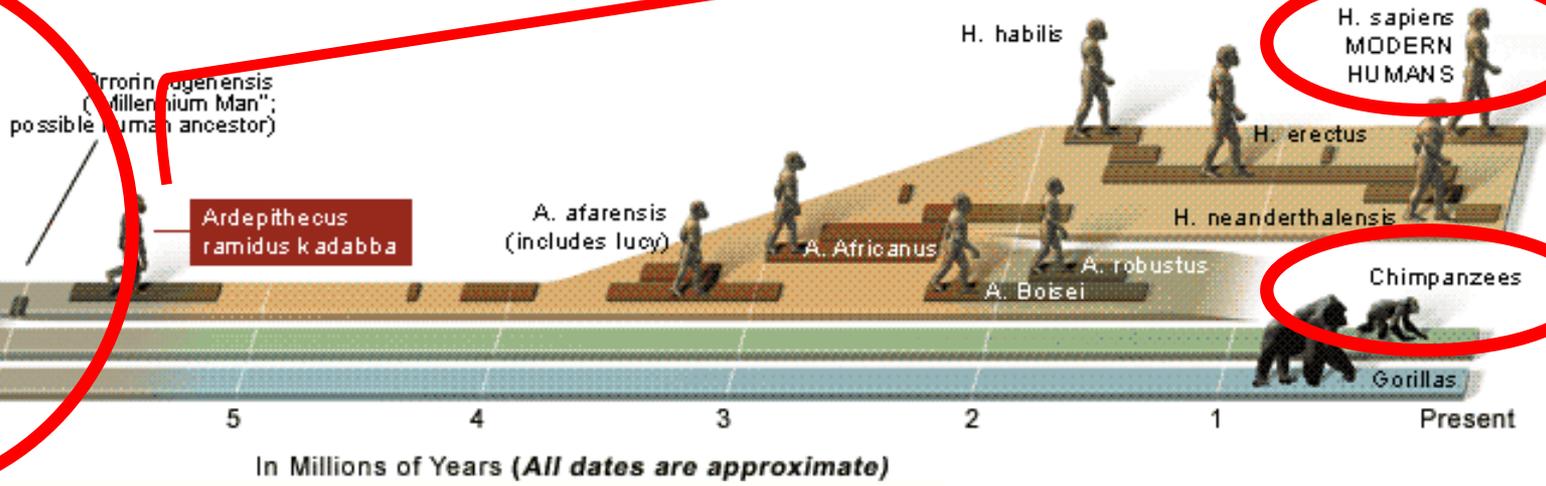


Temps

A WALK THROUGH HUMAN EVOLUTION

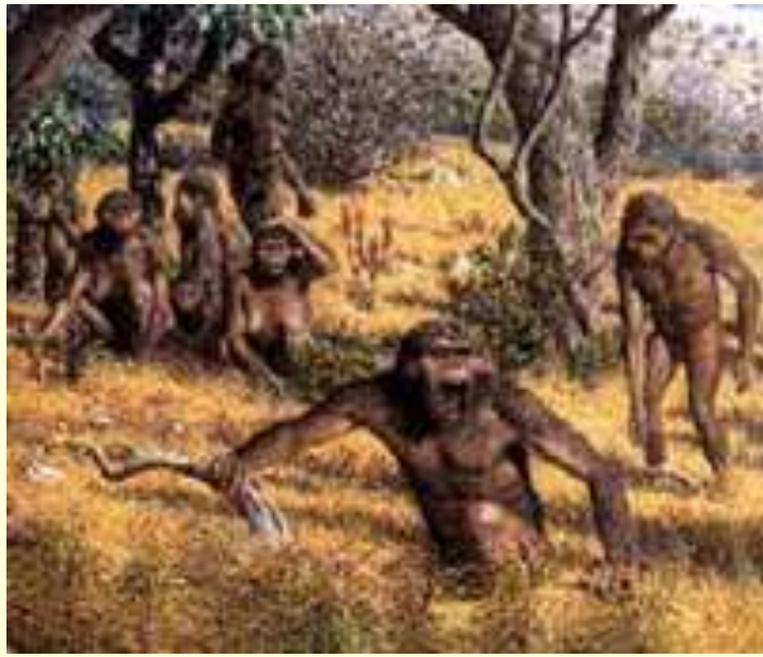
The newest fossils have brought scientists tantalizingly close to the time when humans first walked upright—splitting off from the chimpanzees. Their best guess now is that it happened at least 6 million years ago [Click here to read the cover story >>](#)

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



Timeline by Joe Lertola

In Millions of Years (All dates are approximate)



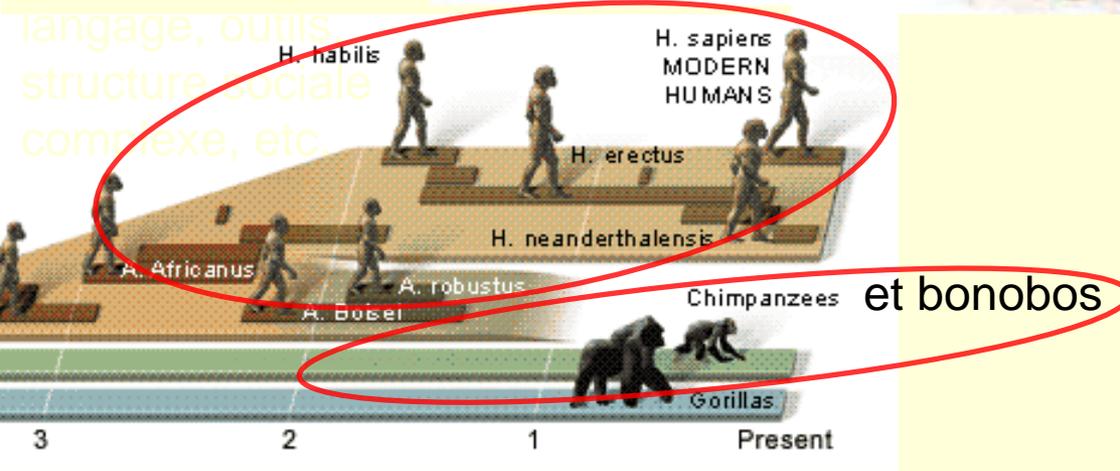
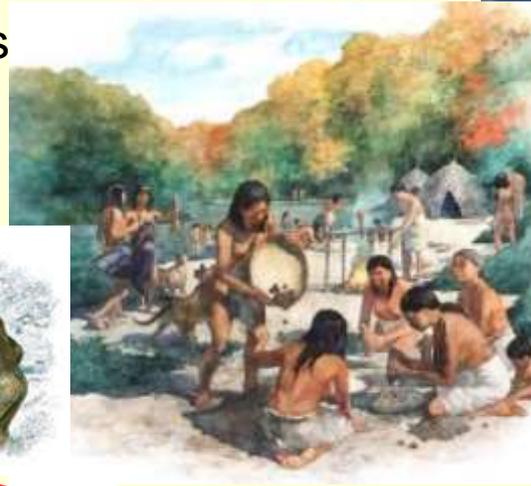
L'hominisation,

ou l'histoire de la lignée humaine.

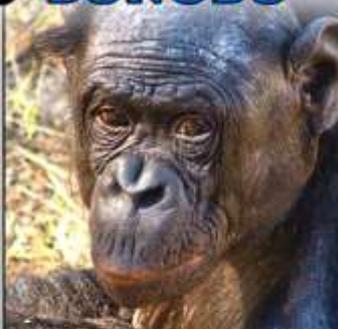
http://lecerveau.mcgill.ca/flash/capsules/histoire_bleu03.html

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**



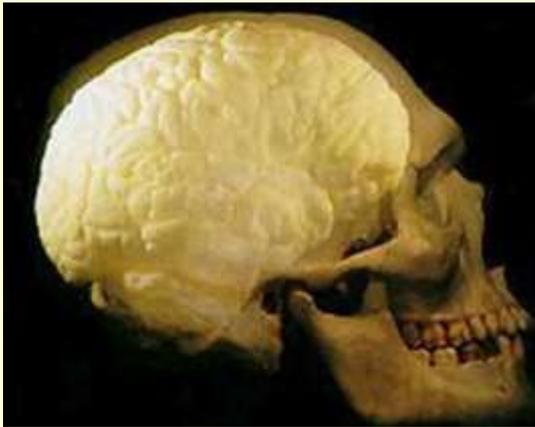
WHICH TEAM War, violence & **MEN** rule

ARE YOU ON? Peace, love & **WOMEN** rule



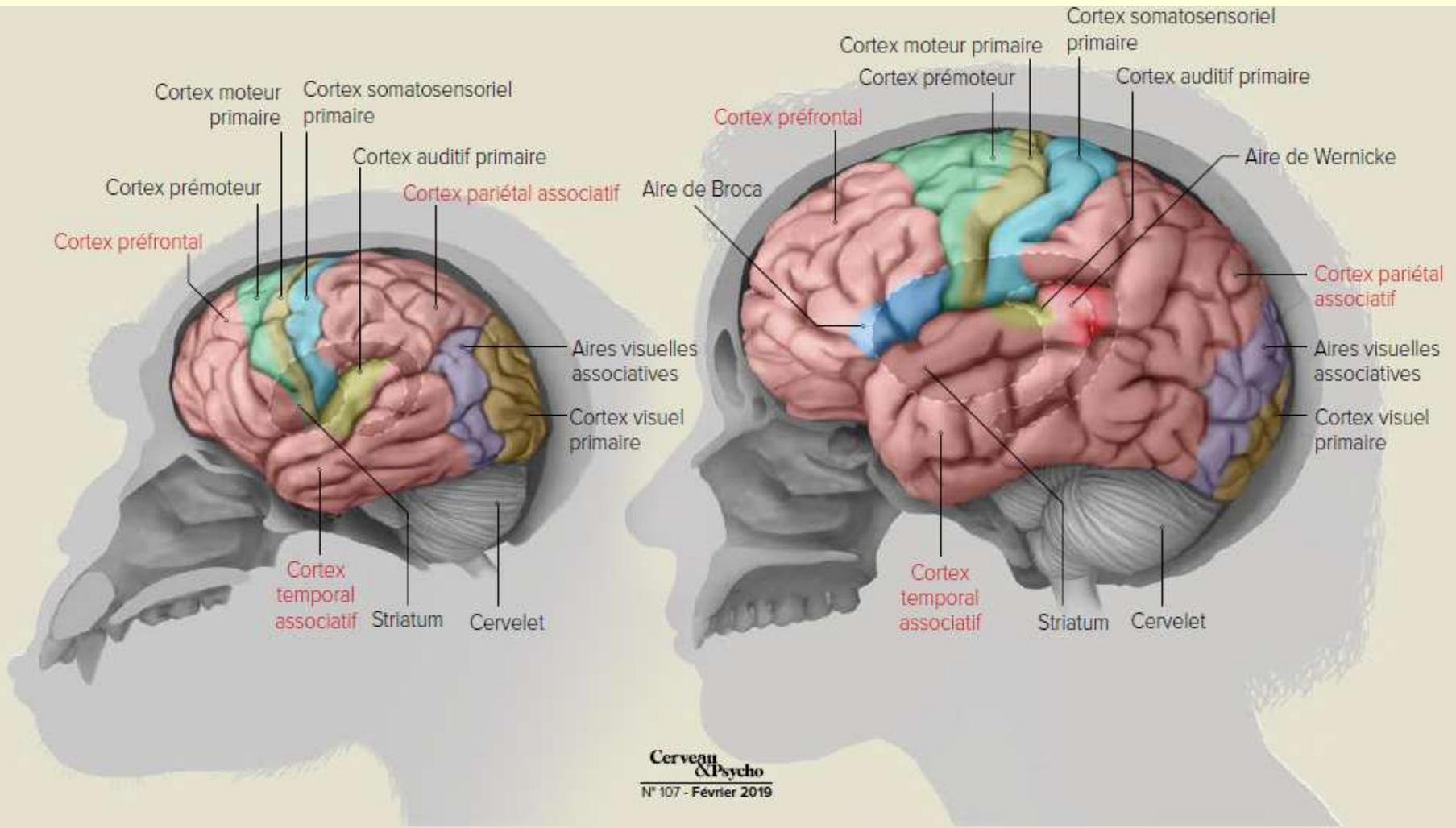
Évolution divergente chimpanzés / bonobos
il y a **1-2 millions d'année** a donné :

- 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 est sans doute une part importante de l'explication derrière ces changements cognitifs spectaculaires.

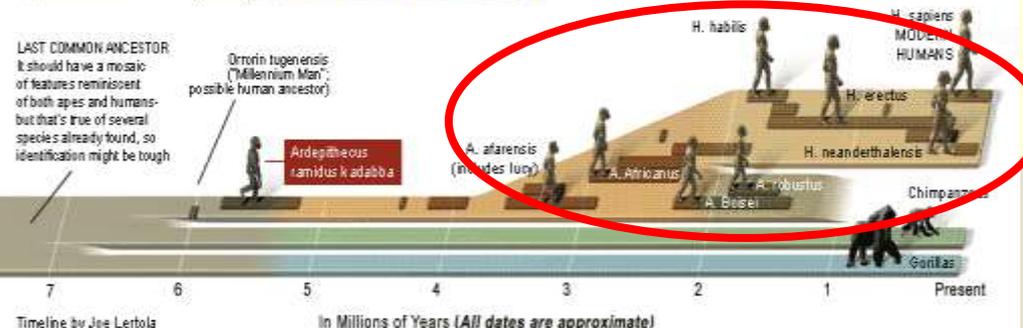




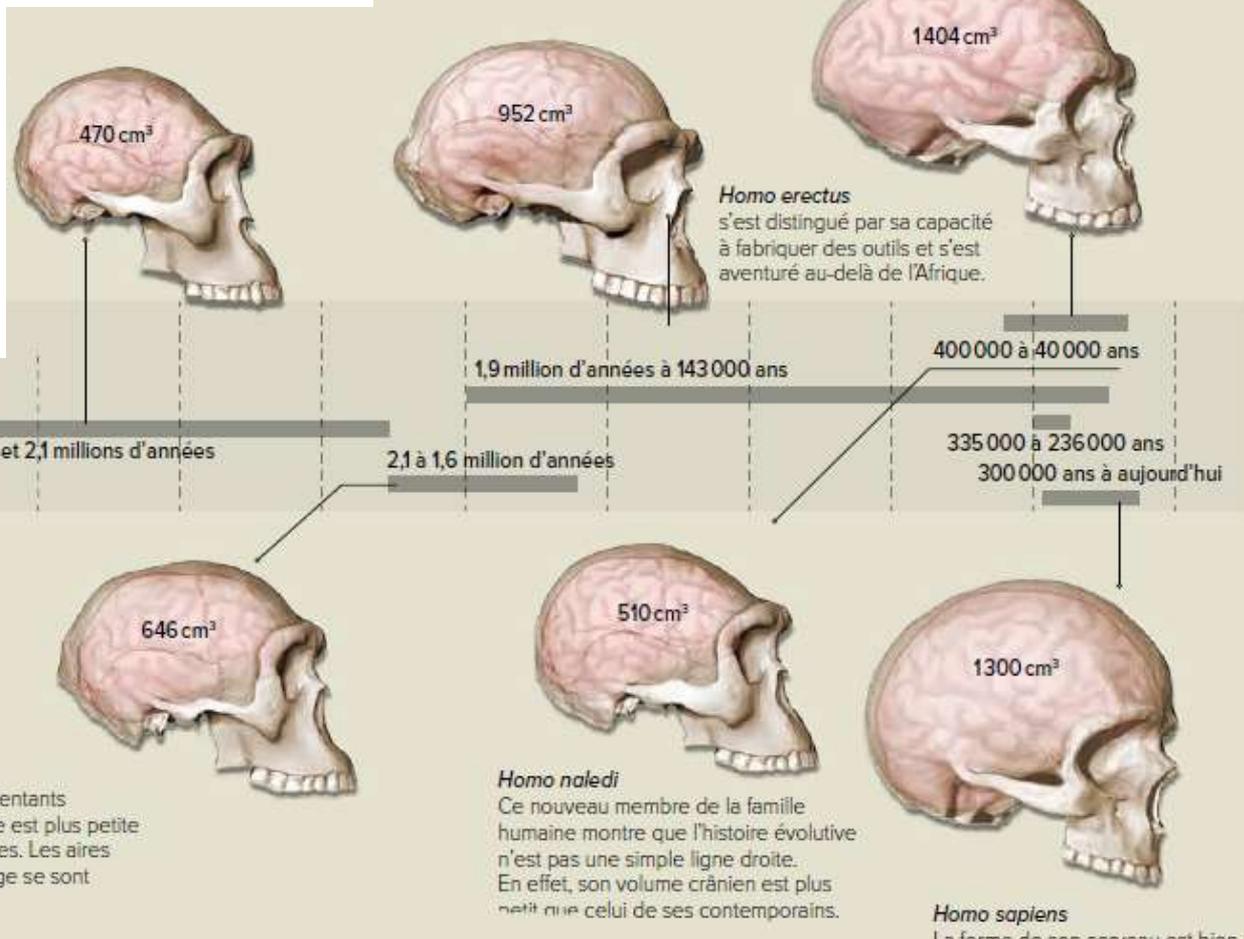
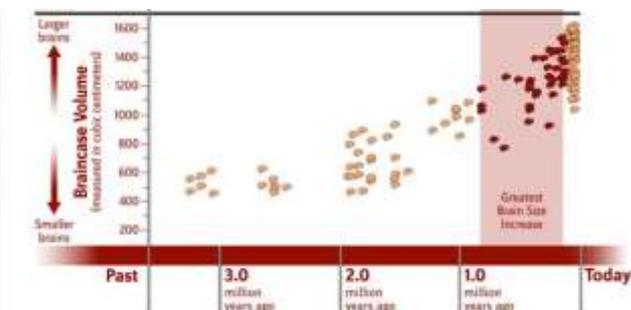
chimpanzé

humain

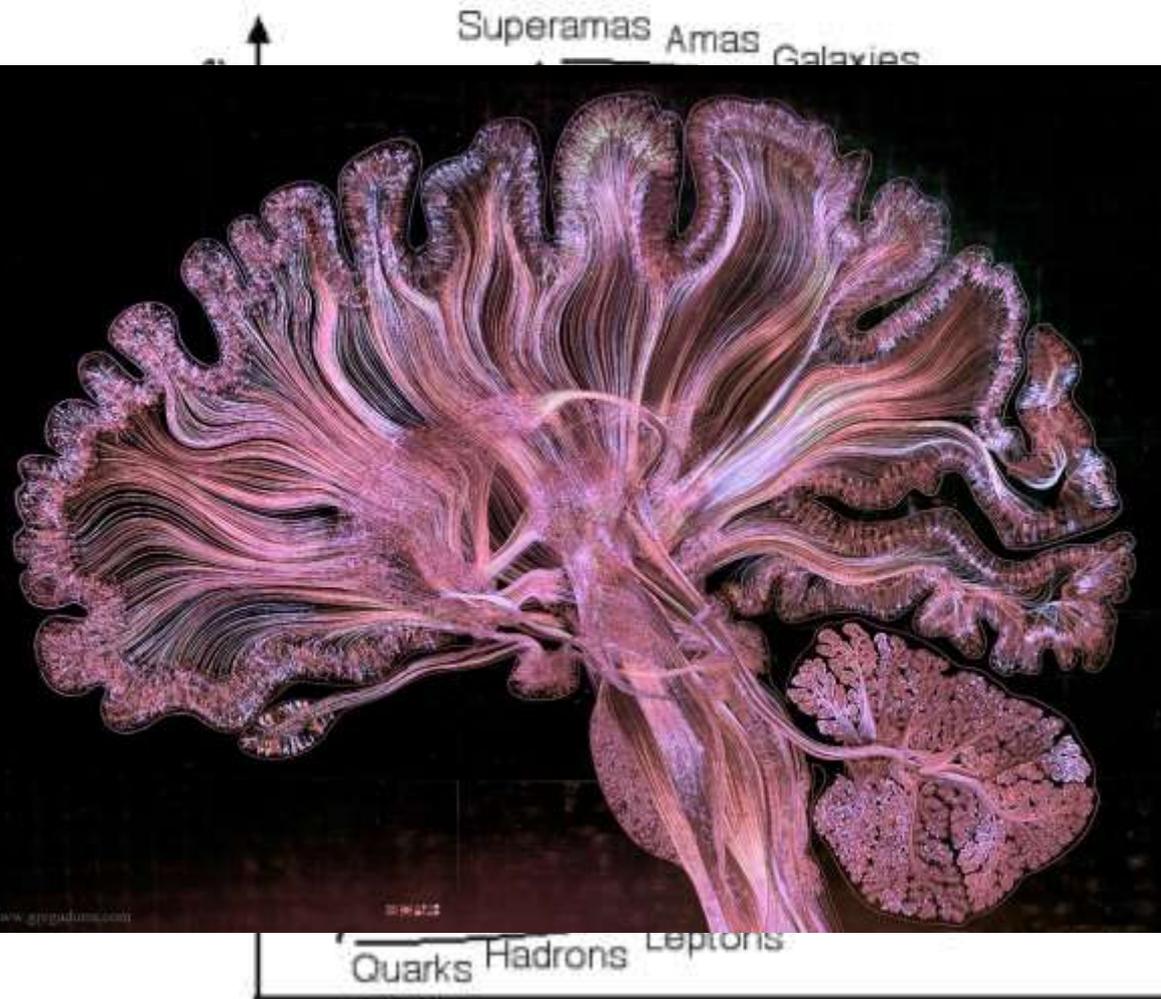
En moins de 4 millions d'années, un temps relativement court à l'échelle de l'évolution,



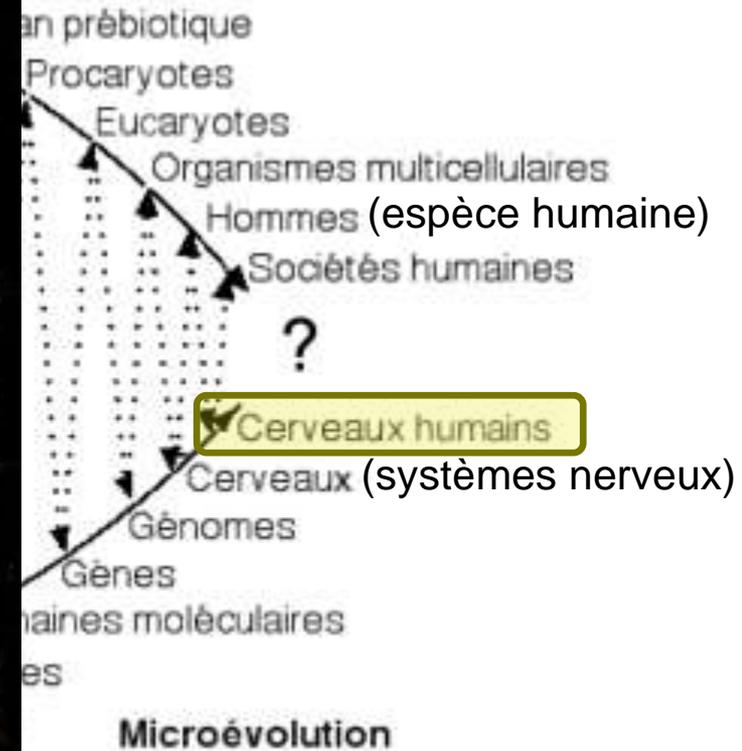
Homo neanderthalensis a cohabité avec *Homo sapiens*. Bon chasseur, il manipulait des outils et le feu. Son volume crânien est comparable au nôtre.



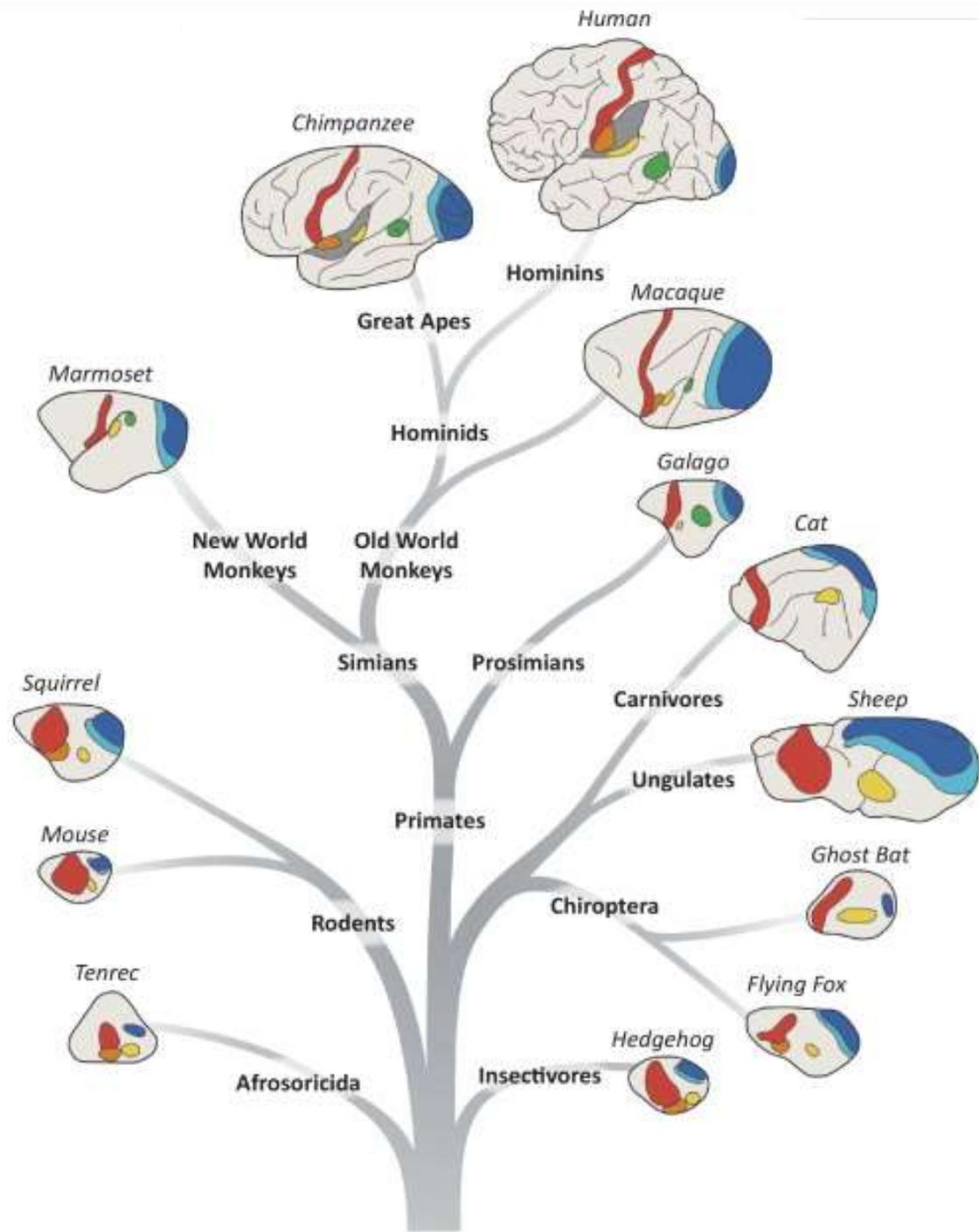
le cerveau des hominidés va **tripler** du volume qu'il avait acquis en 60 millions d'années d'évolution des primates.

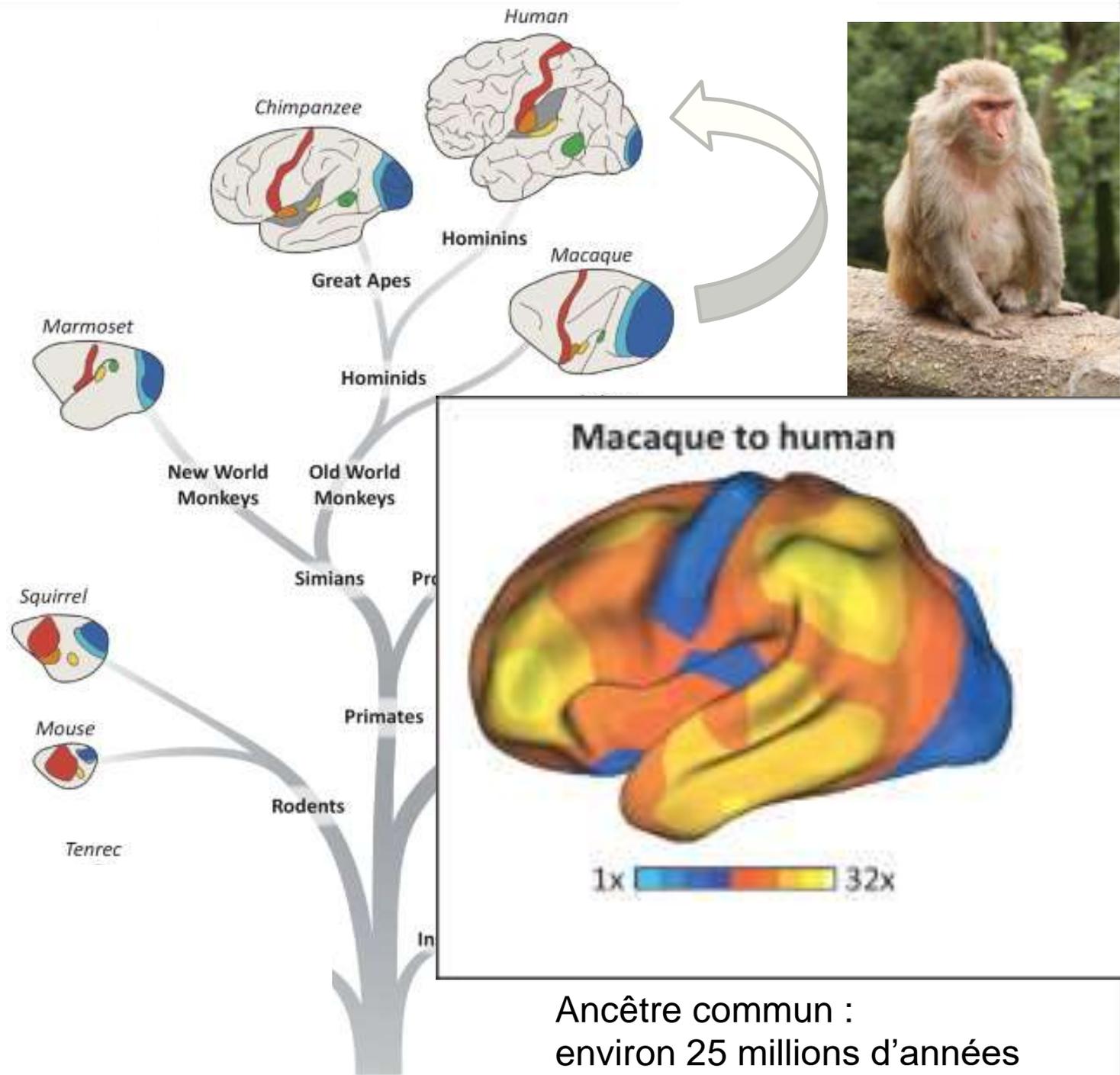


Macroévolution

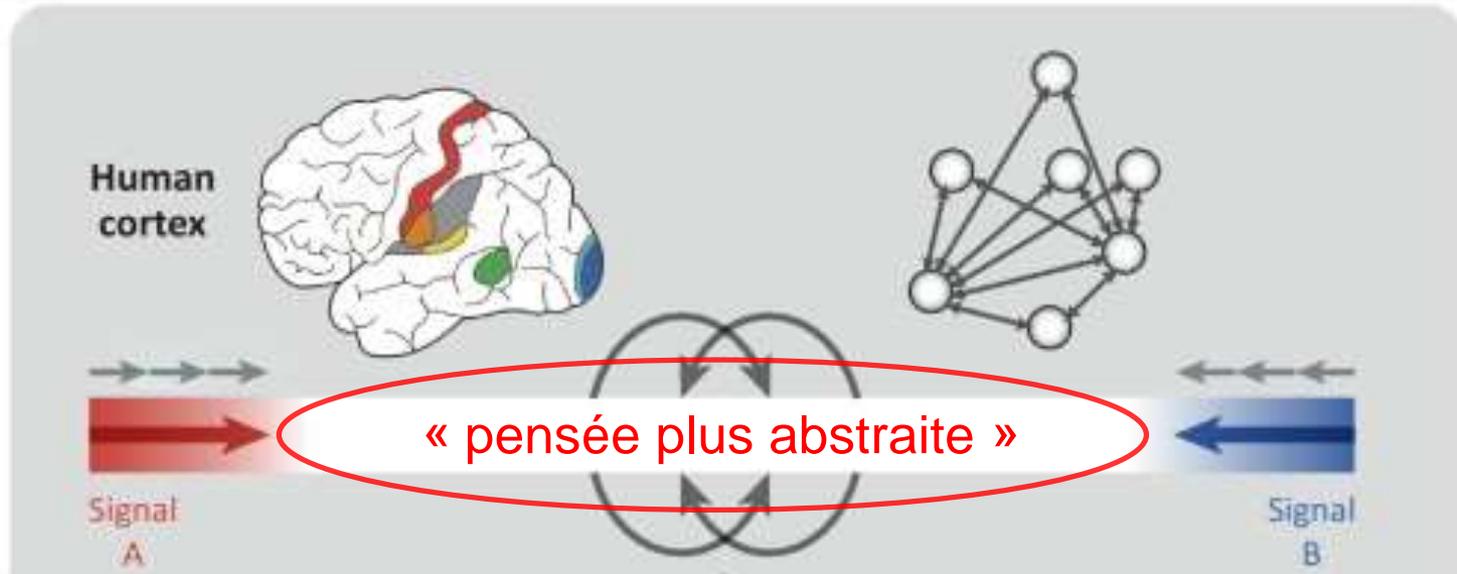


Temps



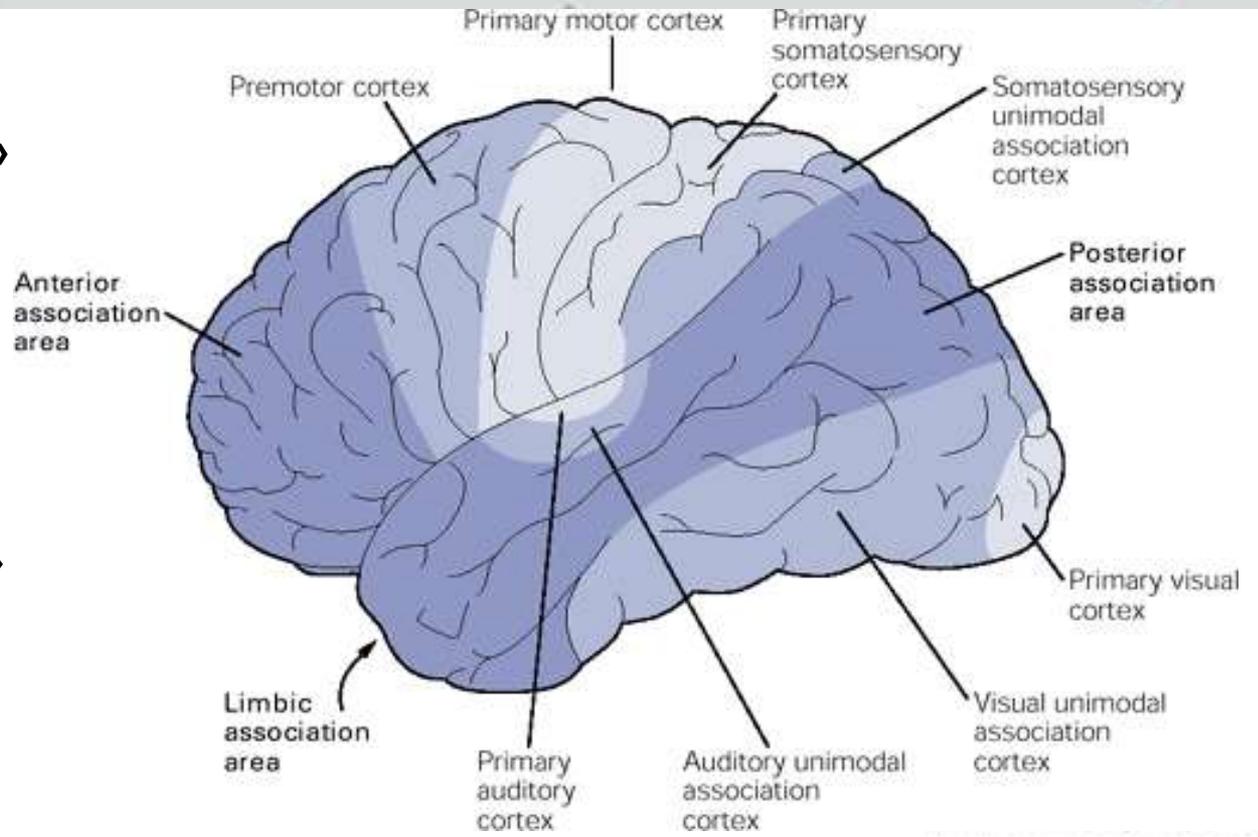


Ancêtre commun :
environ 25 millions d'années

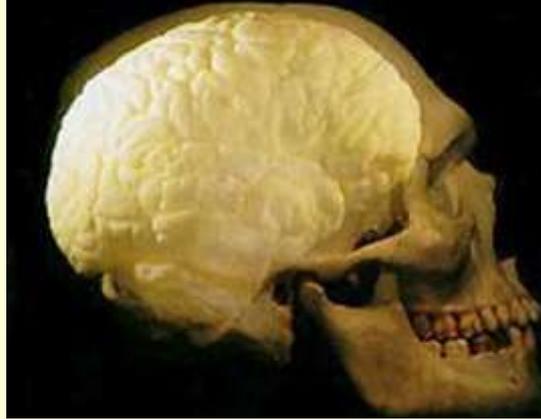


Cortex « associatif »

crée de l'espace pour le « offline »



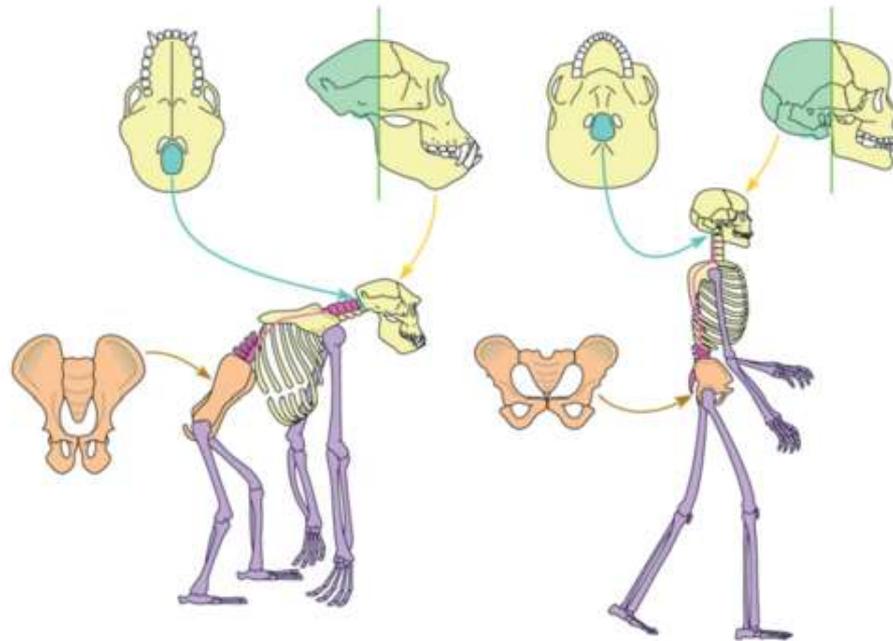
Pour comprendre cette évolution très particulière de notre espèce,



il faut considérer que le **corps** et le cerveau ont évolué **ensemble**.

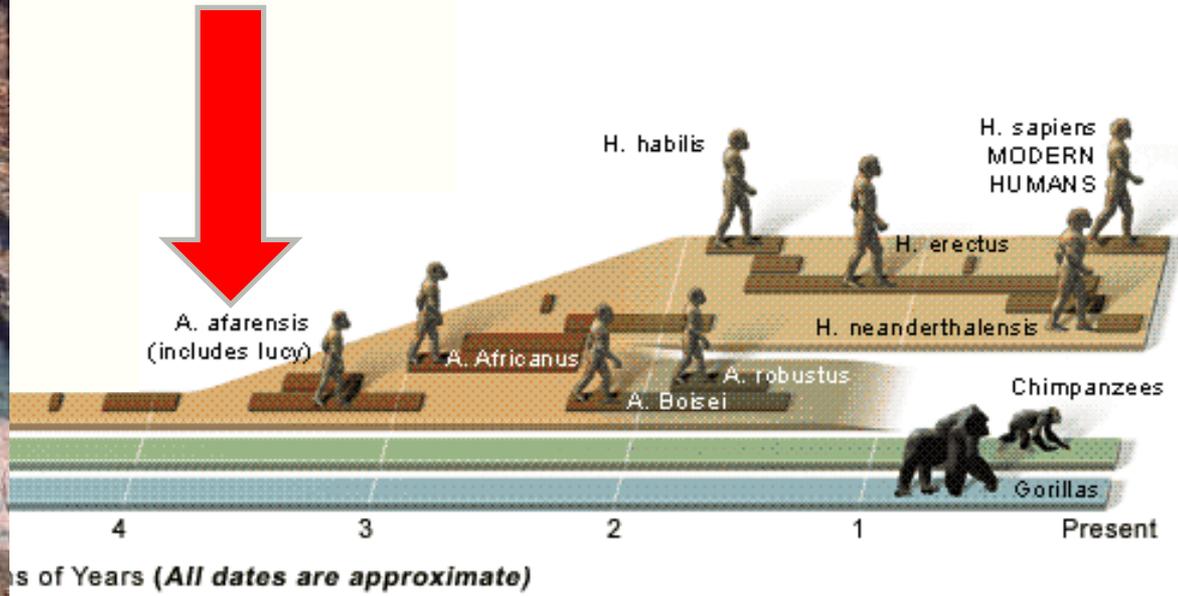
Un point tournant incontournable : **la bipédie**

Les caractères qui distinguent l'Homme et le chimpanzé

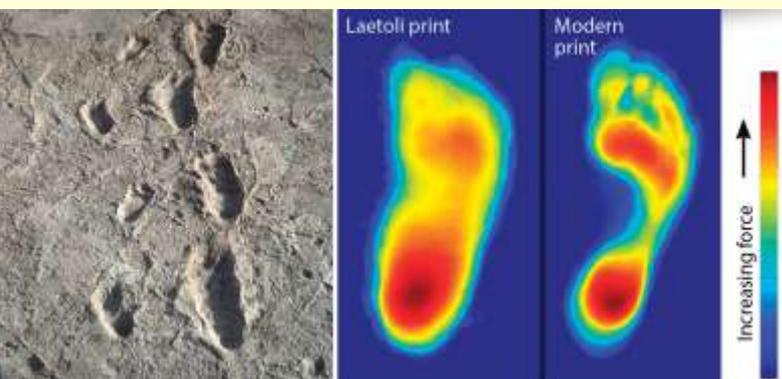


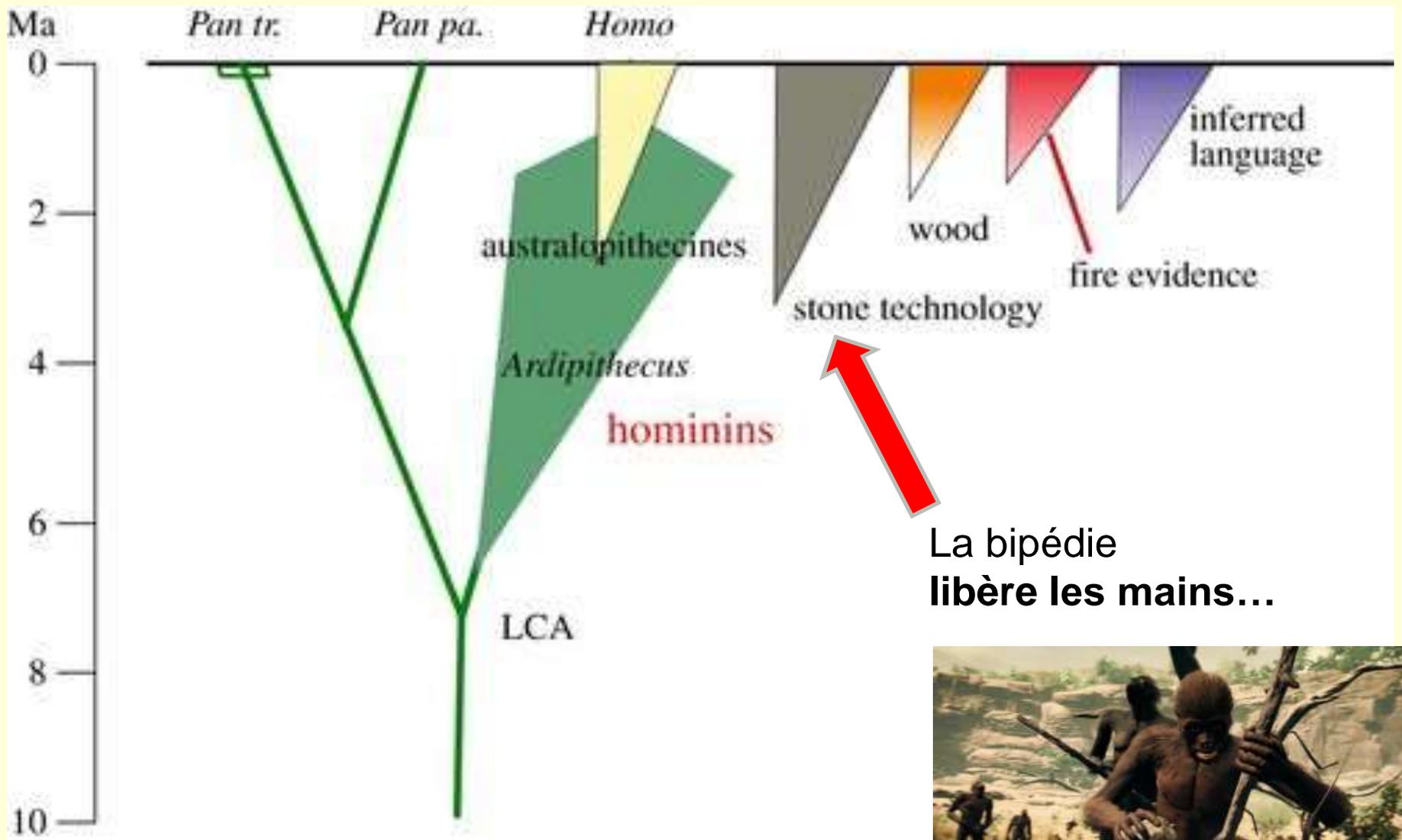
■ colonne vertébrale
■ position du trou occipital
■ rapport volume crânien / face

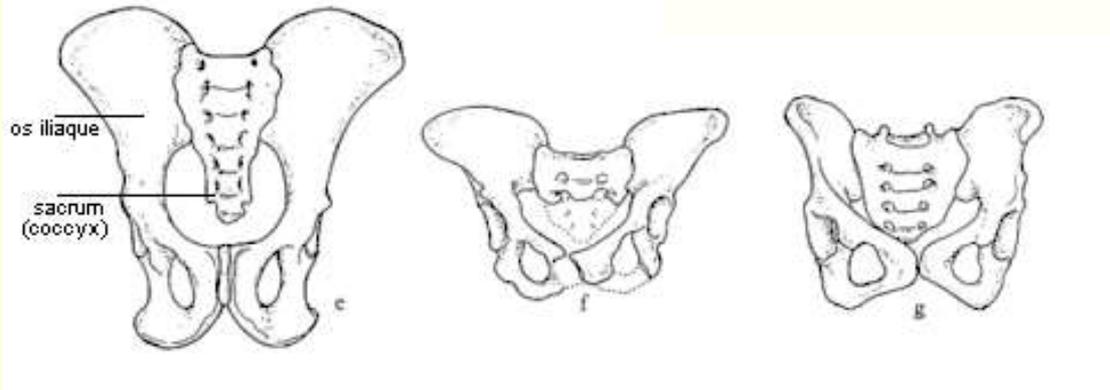
■ bassin
■ longueur relative des membres et position de la jambe



Le site de **Laetoli**, découvert en 1977 en Tanzanie, a livré des empreintes de pas d'hominidés bipèdes exceptionnellement conservées dans de la cendre volcanique durcie il y a **3,66 millions d'années**.







Chimpanzé

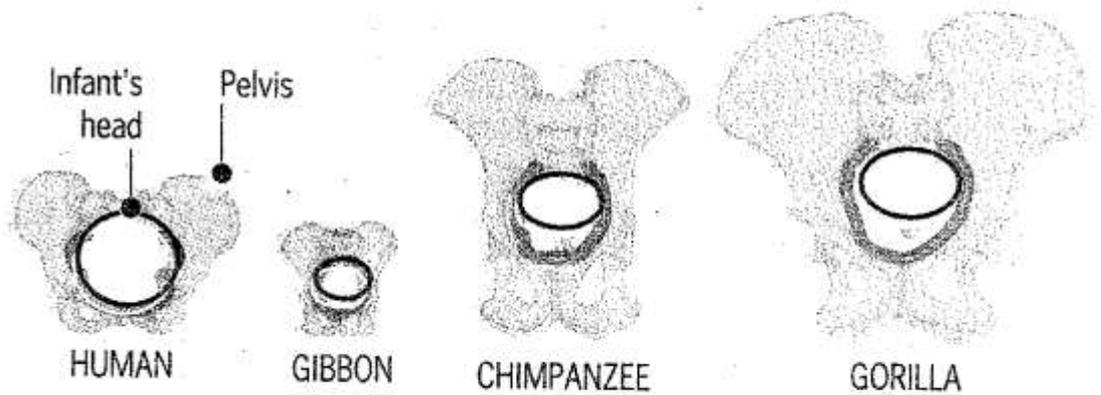
Australopithèque

Humain

La **bipédie** va aussi amener un bassin plus **bas** et plus **large** capable de soutenir les viscères et le poids du tronc.

Le bébé humain avec son gros cerveau va avoir de la **difficulté à passer** dans le canal pelvien lors de l'accouchement (sans doute le plus compliqué et douloureux de tous les mammifères).

INFANT'S HEAD DIMENSION AND MOTHER'S PELVIS



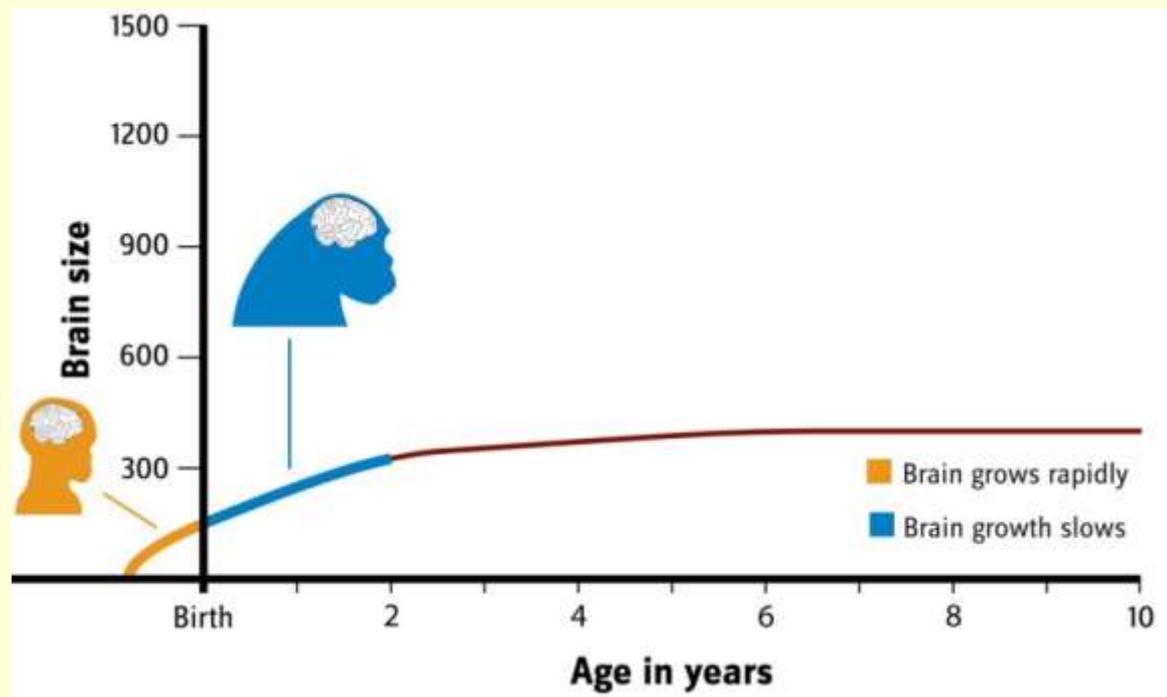
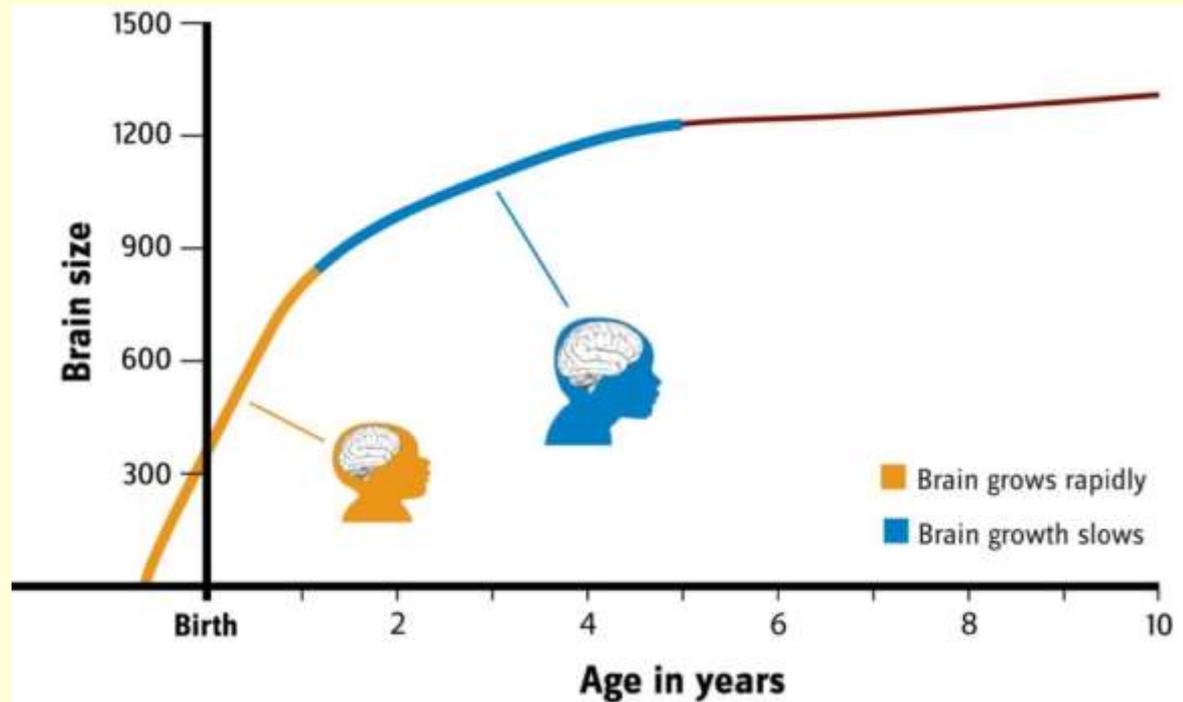
SOURCE: Wenda Trevathan, New Mexico State University; American Journal of Physical Anthropology

GLOBE STAFF GRAPHIC/JOAN McLAUGHLIN

La sélection naturelle a donc favorisé les enfants **prématurés**. De sorte que le bébé humain naît à un stade de développement **inachevé** : il est de loin **le moins précoce de tous les primates** (« néoténie »).

À la naissance, le cerveau humain ne représente que **25 %** du volume qu'il atteindra à l'âge adulte.

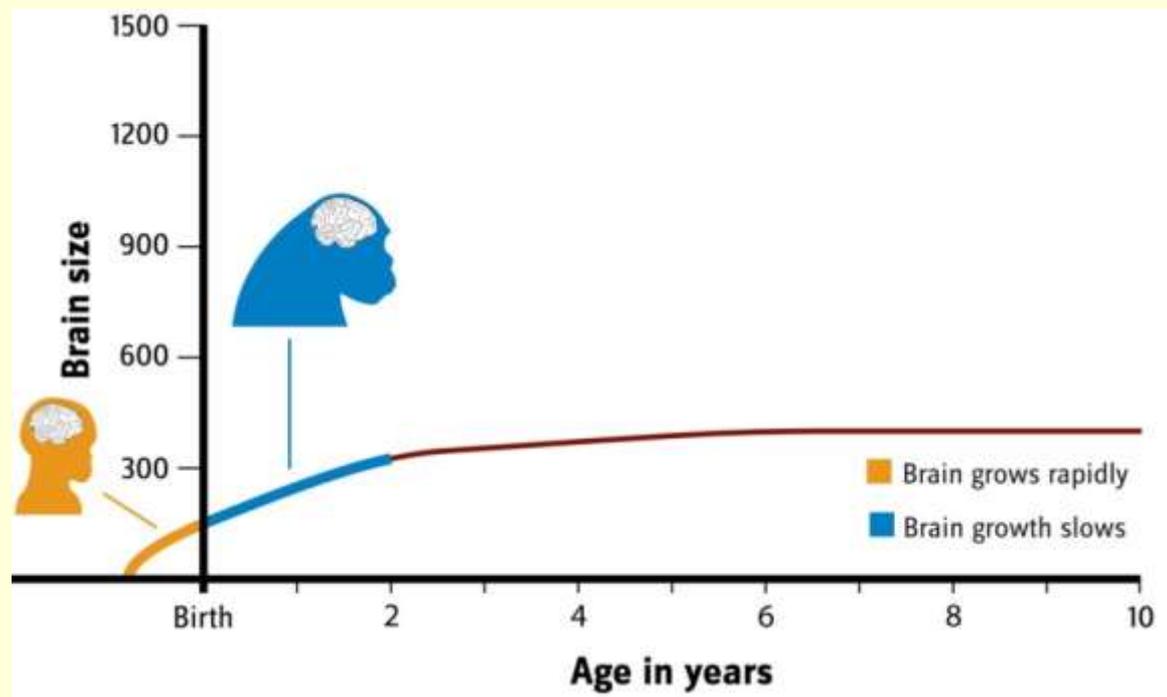
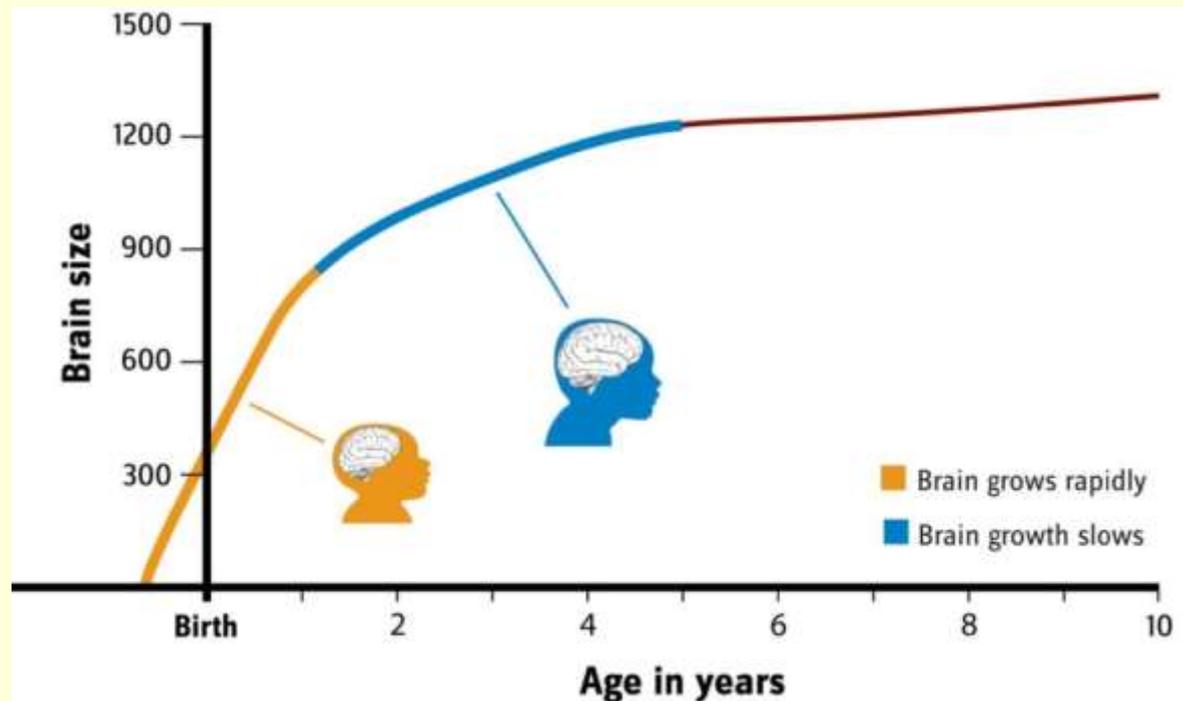
Chez le chimpanzé nouveau-né, cette proportion est de **40 %**.



À un an, le cerveau n'a atteint que **50 %** de son volume final chez l'humain,

mais **80 %** chez notre plus proche parent

→ implique que de nombreuses étapes du développement cognitif se déroulent dans un **contexte social riche.**





Outre les **règles sociales de plus en plus complexes**, plusieurs phénomènes sont probablement agi de concert (et sont encore débattus) pour expliquer l'expansion cérébrale spectaculaire chez l'humain :

- la **fabrication d'outils** (car elle nécessite précision motrice, mémoire et planification); Les premiers outils seraient datés de 3,3 millions d'années.

<http://www.hominides.com/html/actualites/premiers-outils-3-3-millions-annees-925.php> (21/05/15)

<http://mailchi.mp/pourlascience/au-sommaire-du-numro-477-de-pour-la-science-saturne-les-plus-belles-dcouvertes-de-cassini-627989?e=2cdb4df74c> (**août 2017**)

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

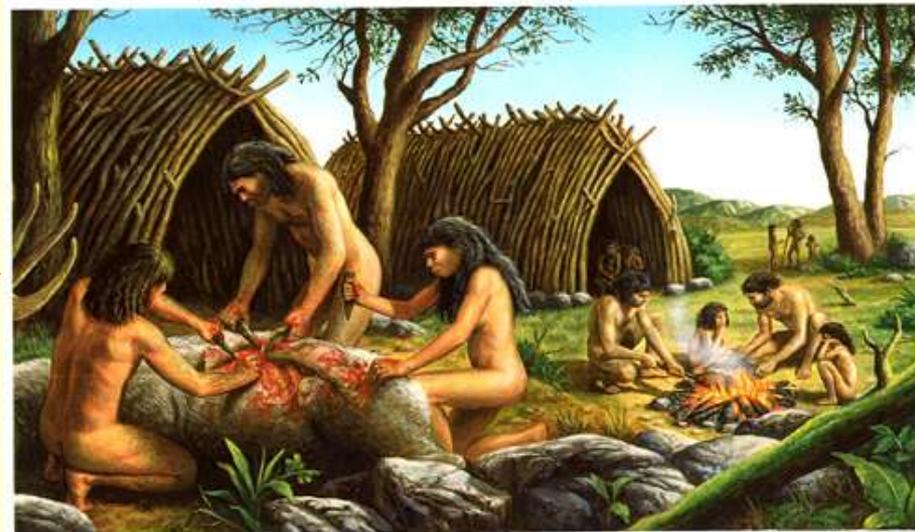
- la **préparation des aliments**

(What Makes Us Human?

Cooking, Study Says. **2012**

<http://news.nationalgeographic.com/news/2012/10/121026->

[human-cooking-evolution-raw-food-health-science/](http://news.nationalgeographic.com/news/2012/10/121026-human-cooking-evolution-raw-food-health-science/))

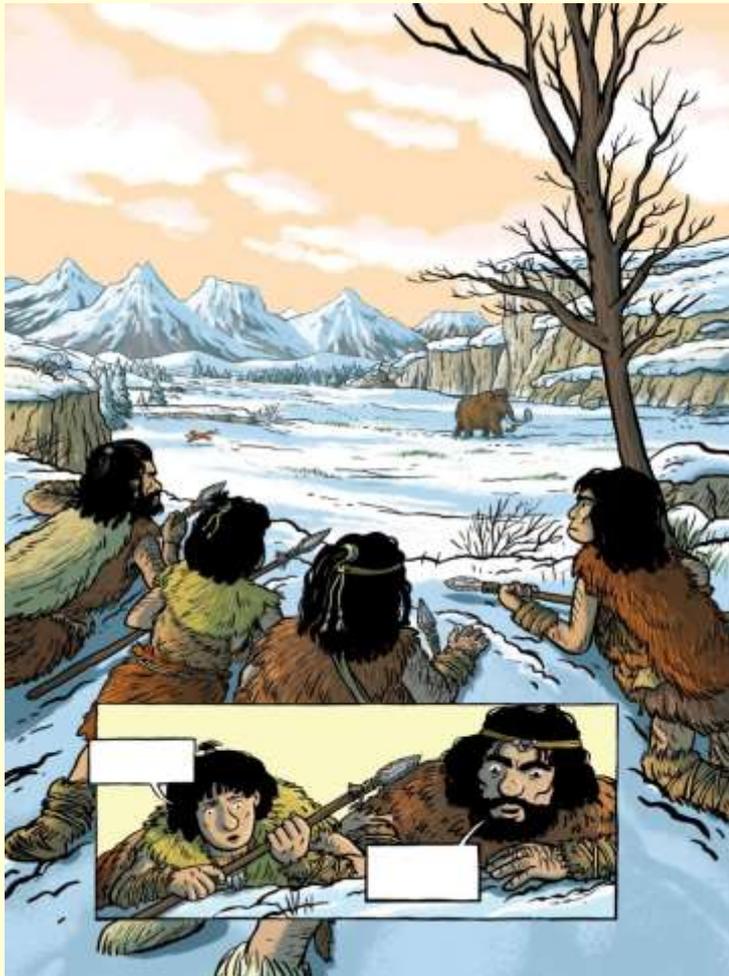


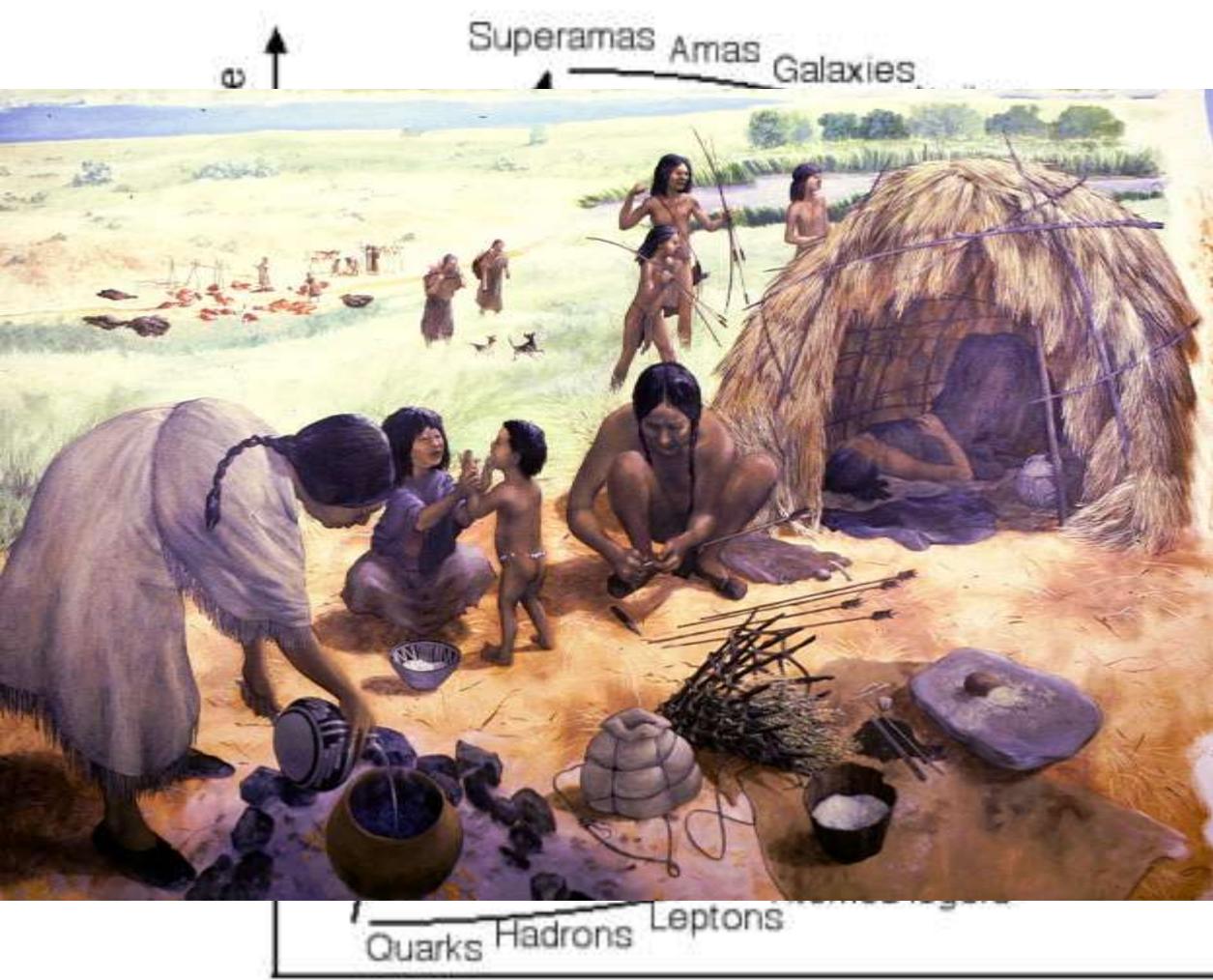
- l'apparition du langage :

→ représentations symboliques
communes permettant de
coordonner nos actions...

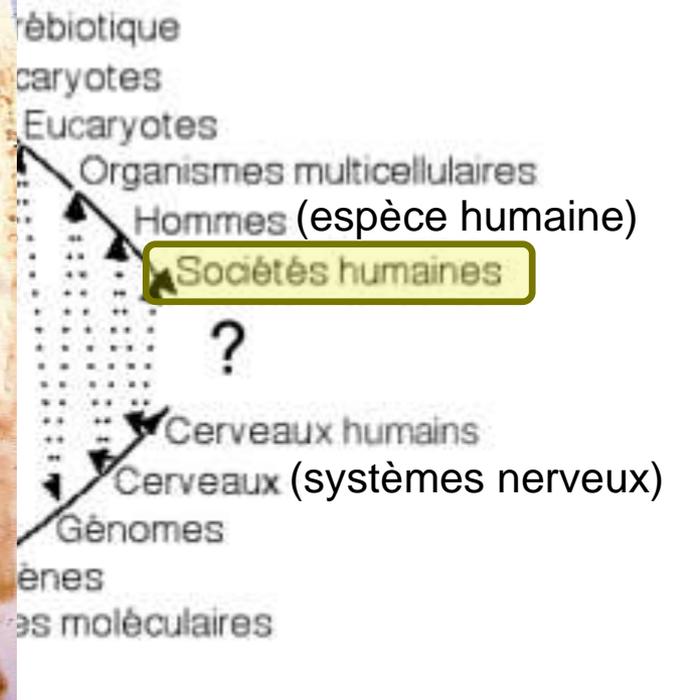


...ou nos idées !





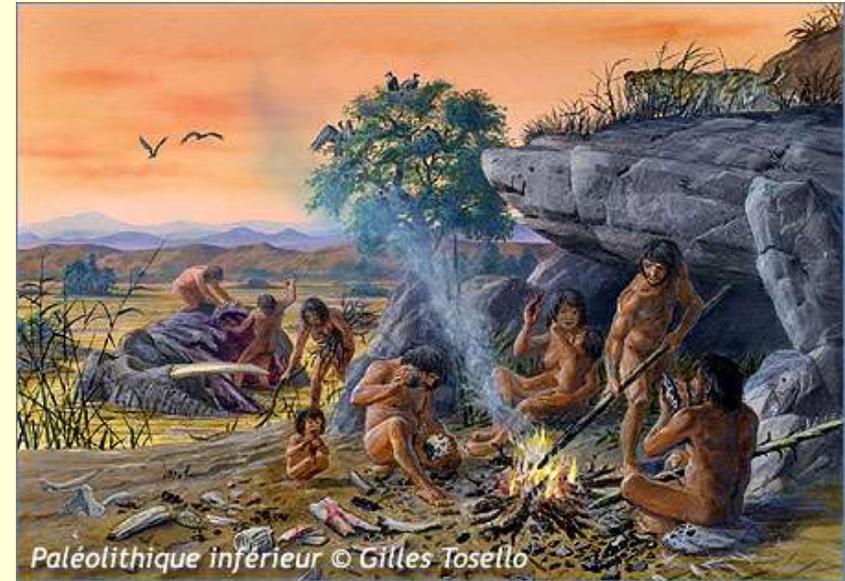
Macroévolution



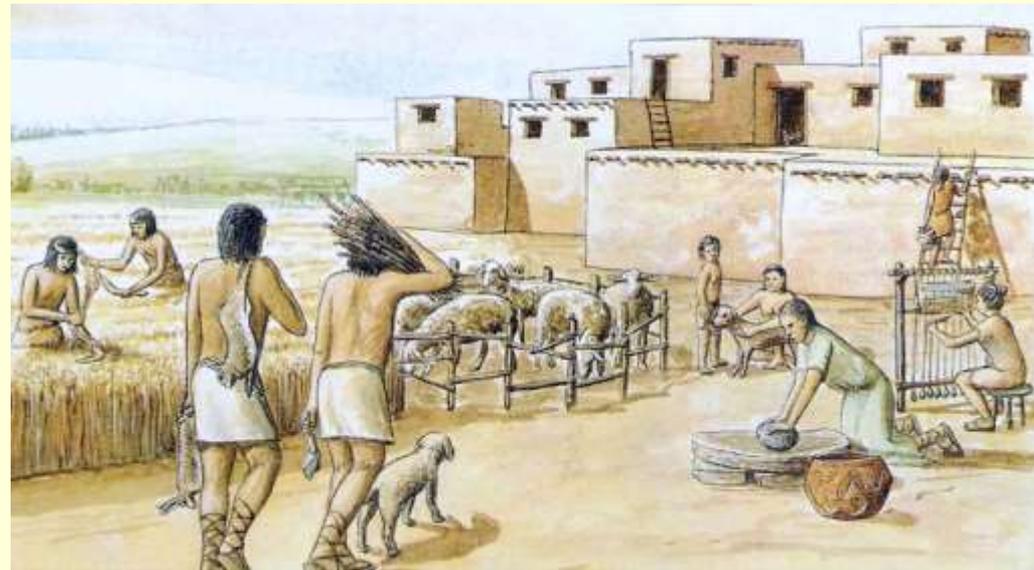
Microévolution



Commencé avec l'apparition de la première espèce du genre Homo, *Homo habilis*, il y a environ trois millions d'années, le **paléolithique** s'achève il y a **environ 10 000 ans**.

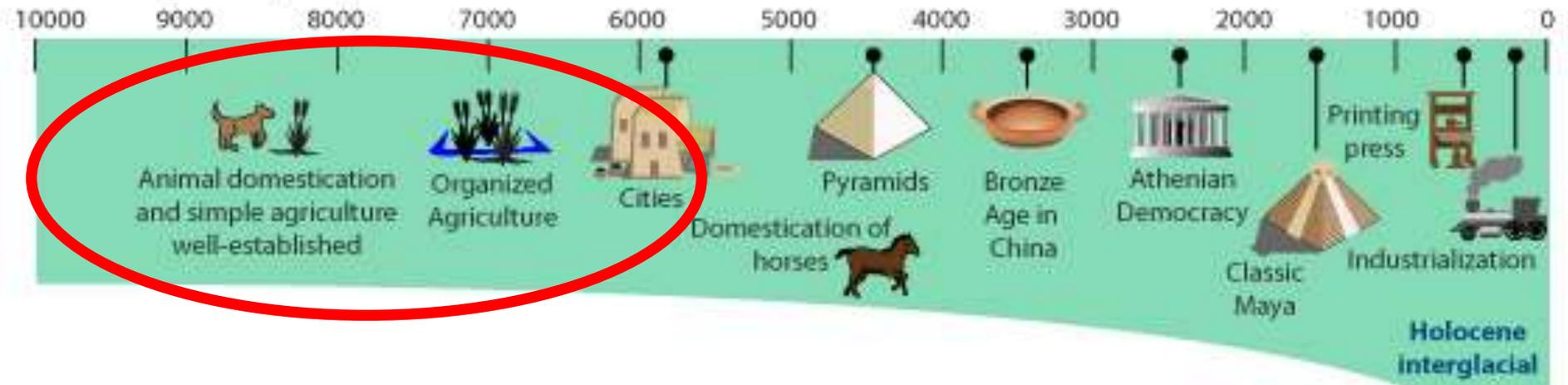


À partir de là débute le **néolithique**, c'est-à-dire la sédentarisation



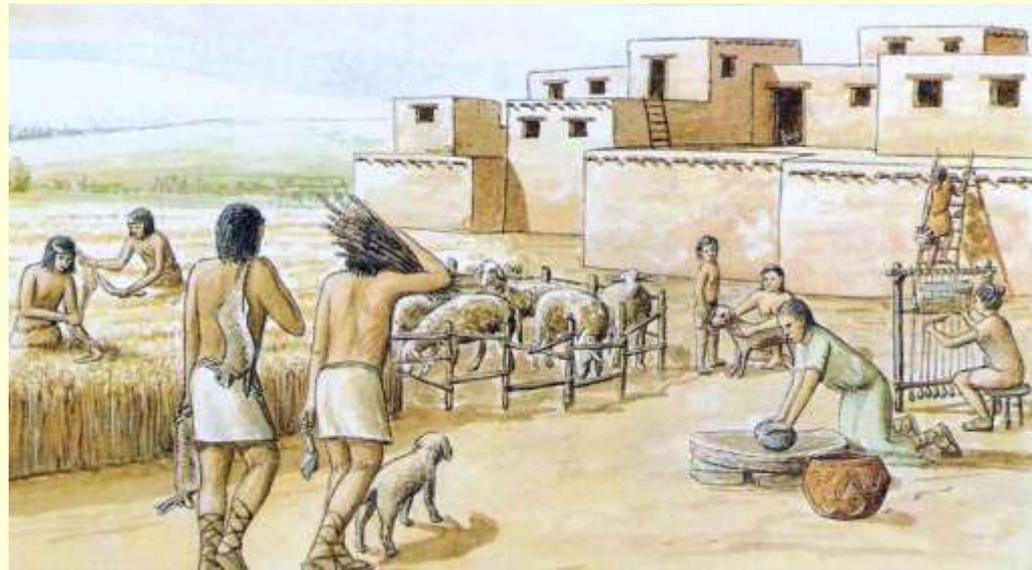
Global Climate, Human Evolution and Civilization

Years before present (1950)



À partir de là débute le **néolithique**,
c'est-à-dire la sédentarisation

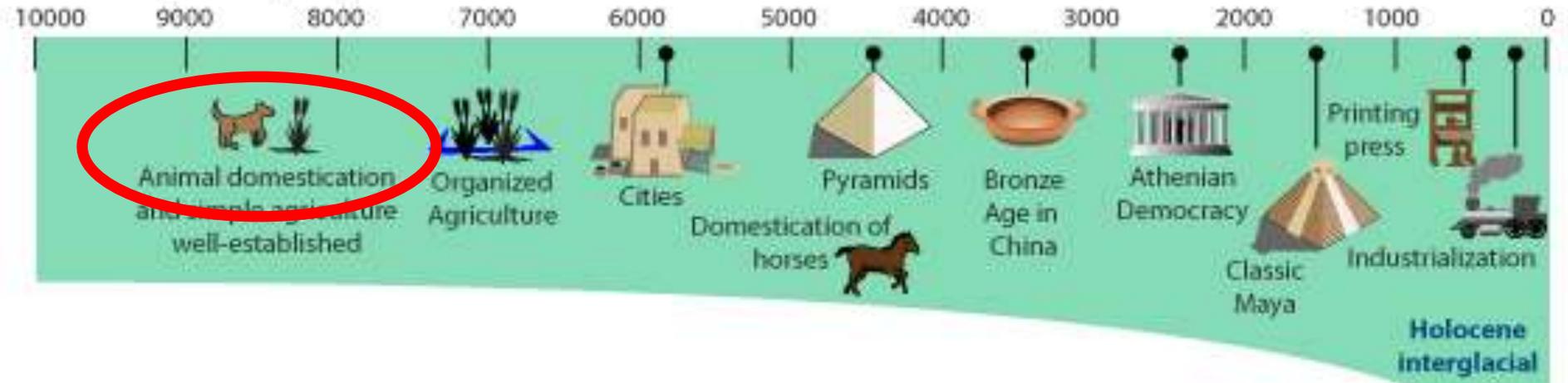
et le début de la **domestication**
animale et de **l'agriculture**.



Un niveau de complexité supplémentaire va s'ajouter
avec le phénomène de **co-évolution gène-culture**

Global Climate, Human Evolution and Civilization

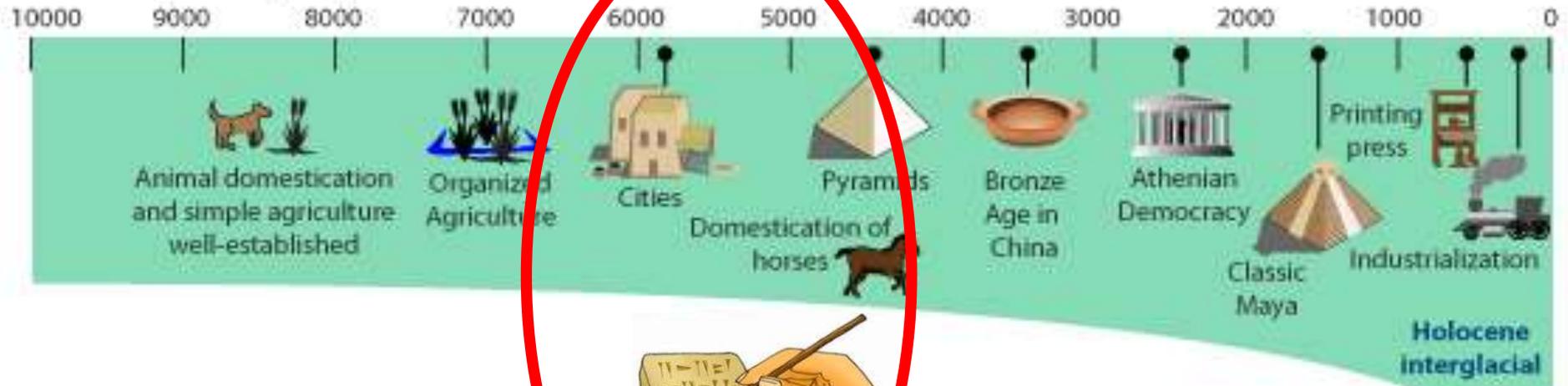
Years before present (1950)



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.

Global Climate, Human Evolution and Civilization

Years before present (1950)



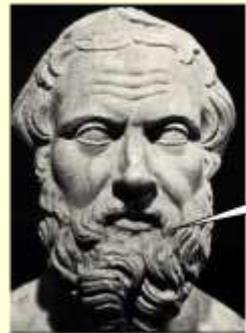
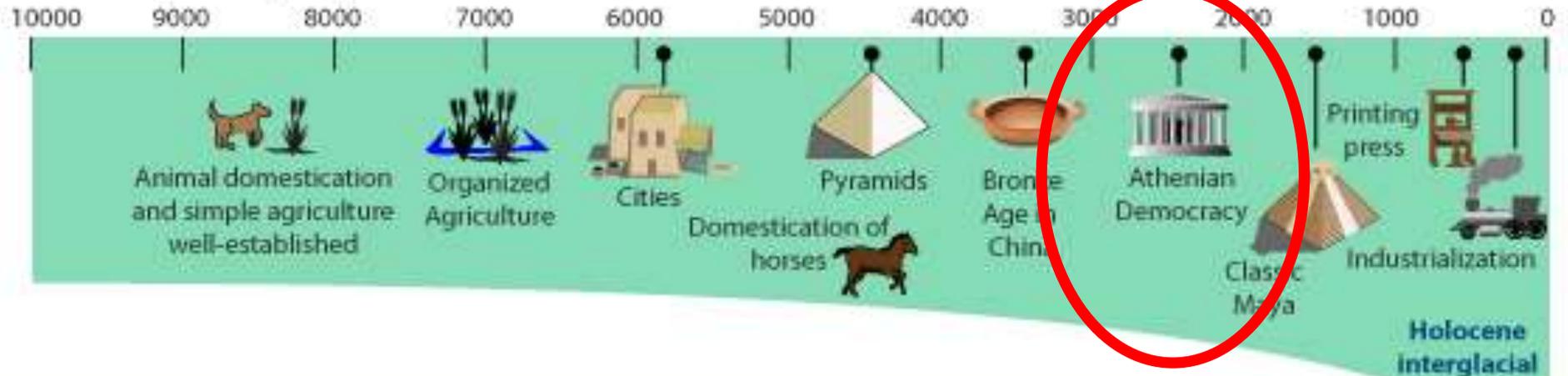
Le néolithique s'achève il y a environ 5 – 6 000 ans avec l'invention de **l'écriture**...

...et qui inaugure ce qu'on appelle **l'Histoire**.



Global Climate, Human Evolution and Civilization

Years before present (1950)



DEMOCRITE
IV^{ème} siècle AVJC

La matière est constituée de corpuscules invisibles à cause de leur extrême petitesse, indivisibles et éternels.

Mais non ! On sait tous que la matière est constituée des quatre éléments: l'eau, la terre, le feu et l'air...

ARISTOTE

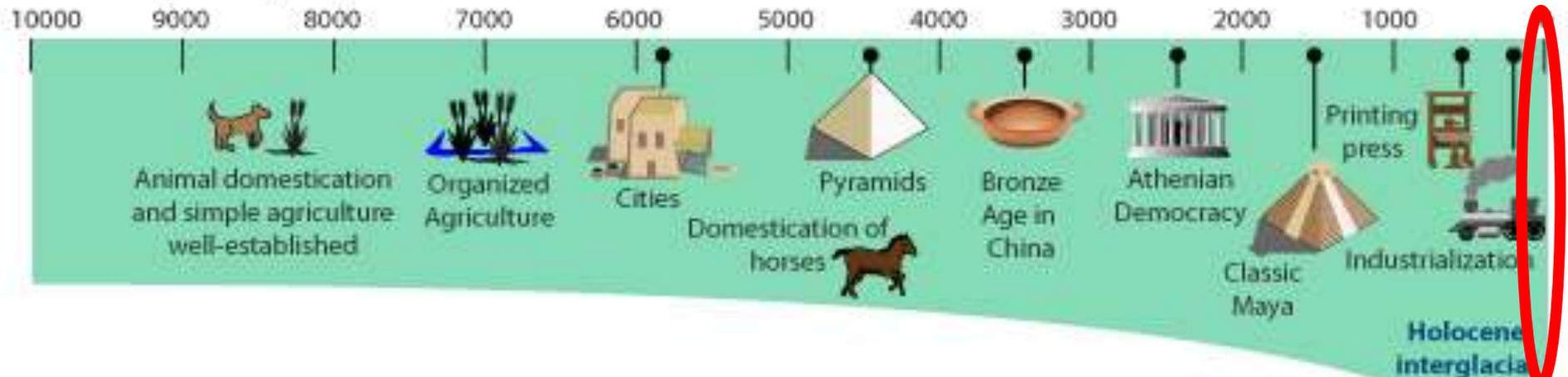
IV^{ème} siècle AVJC



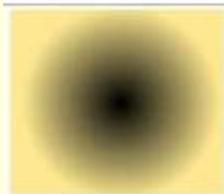
Il y a environ 2 500 ans, certains Homo sapiens commencent à se demander comment s'organise la **matière**...

Global Climate, Human Evolution and Civilization

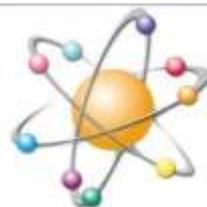
Years before present (1950)



Et puis, il y a un siècle ou deux...



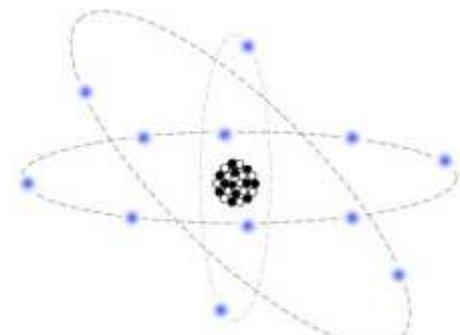
Dalton
Début XIXème



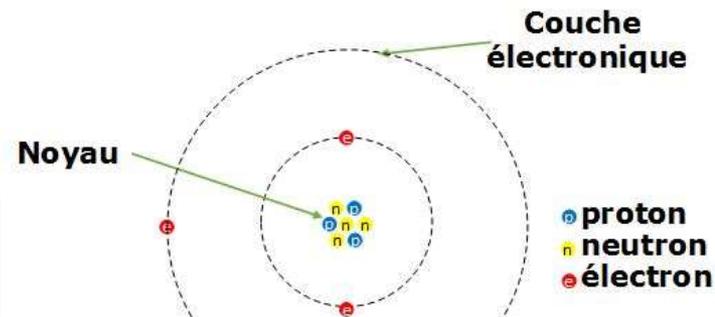
Thomson
1897



Rutherford
1910



Rutherford-Bohr



L'ajout de Chadwick (1932)



Et c'est comme ça
qu'une petite partie du
cosmos qu'on appelle les
humains comprennent
aujourd'hui un peu mieux
d'où ils viennent...



La semaine prochaine :

Que faisons-nous ?

Enquête sur l'origine des comportements humains

