

Séance #1 **COMPLEXITÉ : Des unicellulaires au cerveau humain**

MERCREDI 22 MARS, donnée par Bruno Dubuc

**Le vivant: complexité, biodiversité,  
relations et expérience**

À partir d'exemples puisés dans  
le règne animal (mon domaine)

Qu'est-ce que les êtres vivants  
ont de particulier que la matière  
inanimée n'a pas ?

Quelle est la « recette » de la  
complexification des systèmes  
vivants ?

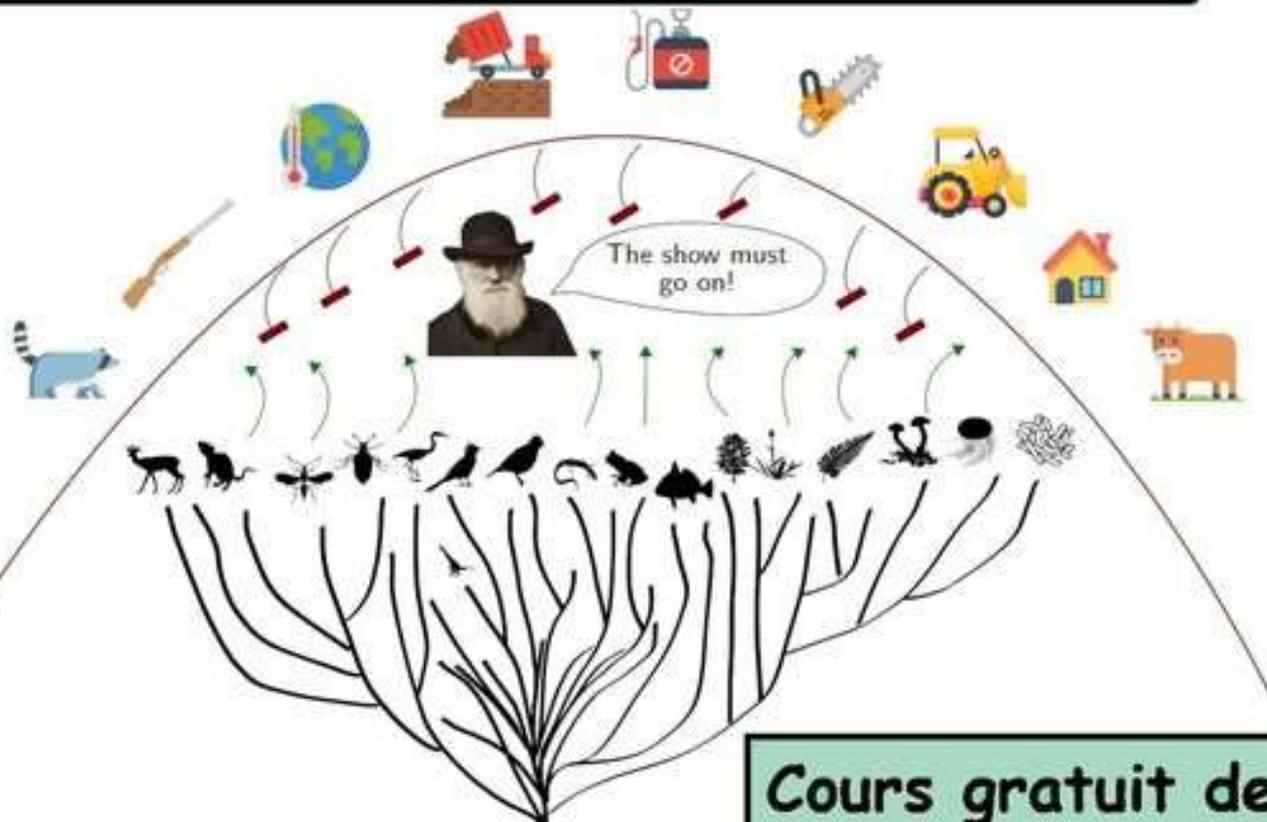
**Cours gratuit de l'UPop Montréal**

Séance #2

## **BIODIVERSITÉ : la comprendre pour la pérenniser.**

MERCREDI 5 AVRIL, donnée par Paul Savary

### **Le vivant: complexité, biodiversité, relations et expérience**



Règne animal,  
végétal et  
champignons

Fragile équilibre  
dynamique  
perturbé par l'humain  
(multiples causes et  
impacts)

Comment restaurer  
les conditions  
favorisant l'évolution

**Cours gratuit de l'UPop Montréal**

Séance #3

## **RELATIONS** : Écologie, ethnographie et agroécologie.

MERCREDI 19 AVRIL, donnée par Sylvie Lapointe



**Le vivant: complexité, biodiversité,  
relations et expérience**

Approche ethnographique des relations entre les humains et les plantes.

Comment les agroécologistes doivent être à l'écoute des plantes et des sols.

Défaire l'ontologie par défaut de la Nature comme quelque chose de distinct de nous et qui est derrière l'agriculture industrielle dominante.

**Cours gratuit de l'UPop Montréal**

Séance #4

## **EXPÉRIENCE : Une relation intime et créatrice du vivant**

MERCREDI 26 AVRIL, donnée par Isabelle Miron



**Le vivant: complexité, biodiversité,  
relations et expérience**

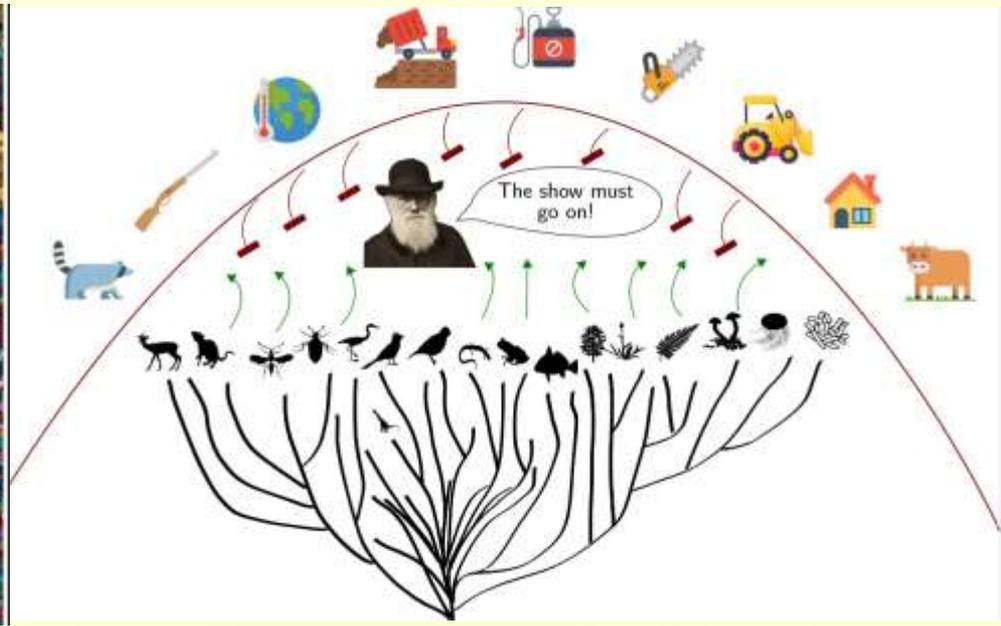
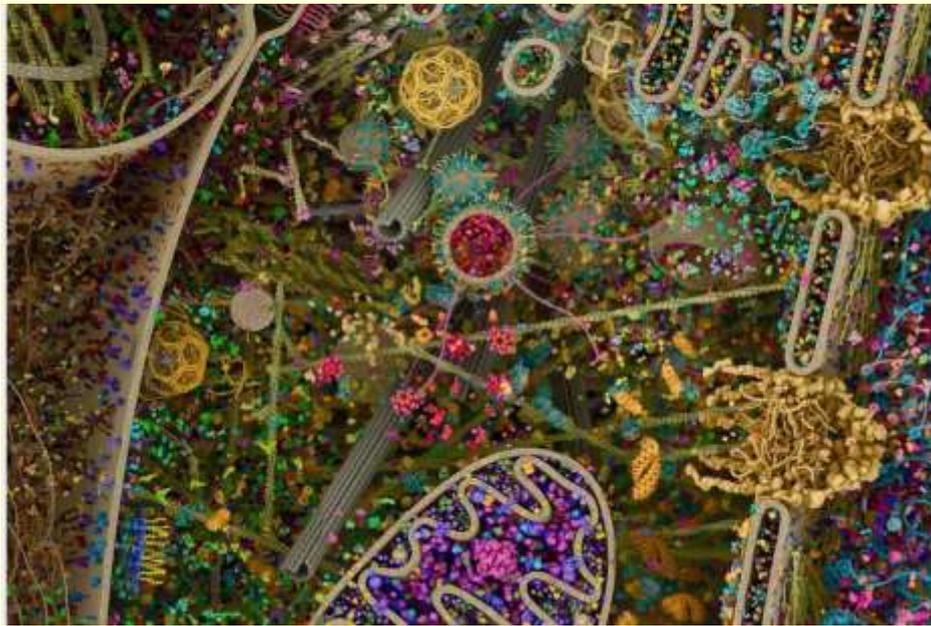
Perception humaine  
du vivant en tant que continuité  
avec lui.

Comment une attention soutenue  
à ce processus expérientiel  
sensible révèle des potentialités  
créatrices et émancipatrices.

À contrecourant de la dévitalisation  
qu'est l'absence à soi et au monde  
qu'entraînent notre société et ses  
valeurs marchandes.

**Cours gratuit de l'UPop Montréal**

# Le vivant : complexité, biodiversité, relations et expérience.



# Séance #1

# COMPLEXITÉ : Des unicellulaires au cerveau humain

donnée par Bruno Dubuc

**LE CERVEAU À TOUS LES NIVEAUX!**  
un site web interactif sur les comportements humains  
www.lecerveau.mcgill.ca

**20 ANS**

**Le niveau débutant**  
qui n'est autre que l'instinct. C'est le cerveau "pour les nuls" pour tout ce qui vous amène à réagir sans réfléchir sur le pourquoi de votre comportement.

**Le niveau psychologiqueexplique les différents aspects subjectifs qui influencent un individu à adapter tel ou tel comportement.**

**Le niveau cérébral**  
présente les différents réseaux du cerveau qui sont impliqués lors de tel ou tel comportement.

**Le niveau cellulaire**  
s'étend à décrire la forme et la fonction des neurones ainsi que les circuits qui les relient.

**Le niveau moléculaire**  
explique surtout les phénomènes associés à la transmission synaptique : les neurotransmetteurs, leurs récepteurs, etc.

**Le Cerveau à tous les niveaux** est un site web de vulgarisation scientifique qui se veut avant tout une passerelle entre les chercheurs et le public; qu'un outil pour mieux se comprendre.

L'originalité du site réside en son mode de navigation qui s'ajuste à vos connaissances grâce à ses trois niveaux d'explication : débutant, intermédiaire et avancé. Vous commencerez ensuite vous-même lesquels des différents niveaux d'organisation du vivant vous voulez explorer, de moléculaire jusqu'au social!

Vous pouvez aussi consulter nos capsules **Expérience, Histoire, Outil et Chercheur** qui présentent différents aspects concrets de la science et de ceux qui la font. Les capsules **lien**, en pointant vers d'autres sites pertinents, vous ouvriront enfin les portes sur les connaissances infimes d'Internet.

www.lecerveau.mcgill.ca

biodiversité,  
expérience

À partir d'exemples puisés dans le règne animal (mon domaine)

Cours gratuit de l'UPop Montréal

# 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](http://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"

10

## 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

Depuis 2013 :

« Neurotroubadour »!

(merci Harper...)

## "L'école des profs"

Cours intensifs de perfectionnement en neurosciences cognitives



(cliquez ici pour les détails)

Fonctions supérieures, libre arbitre et éducation



Vers une cognition incarnée



Des réseaux de neurones qui oscillent de manière dynamique



D'où venons-nous

et que faisons-nous ?

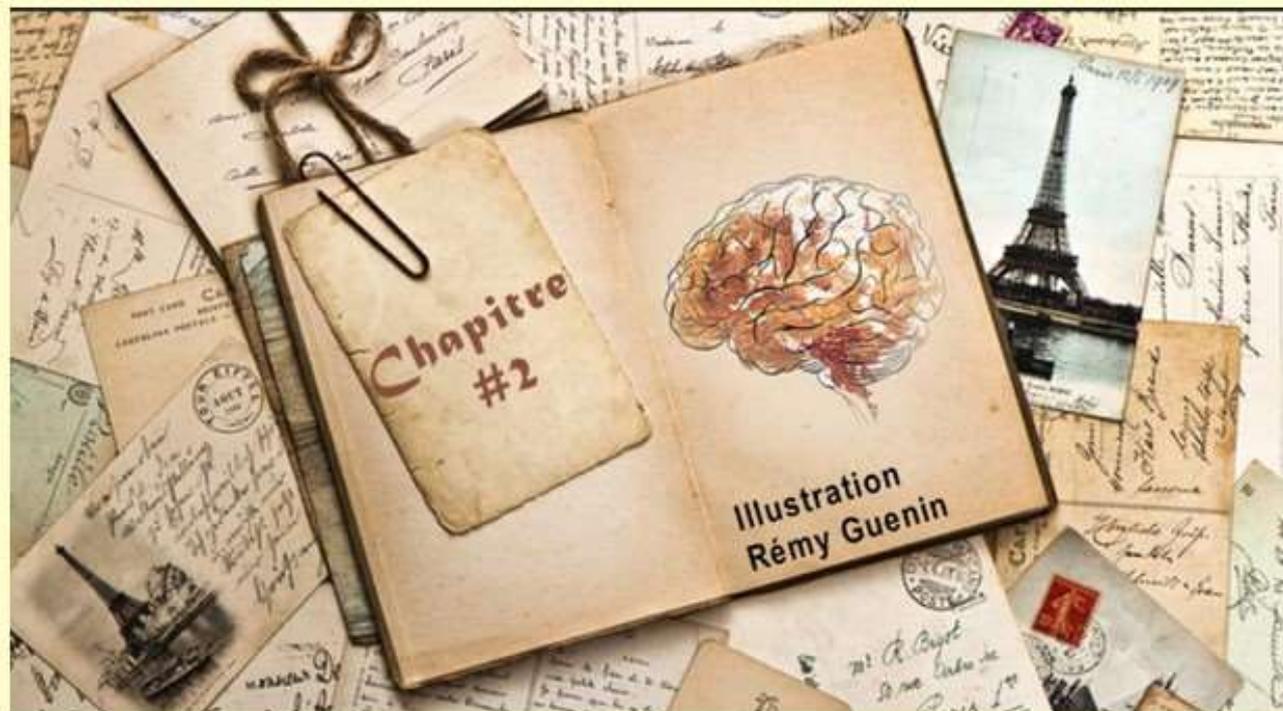
Ancienne et nouvelle grammaire de la communication neuronale



## Depuis 2010 : écriture d'un livre

lundi, 28 mars 2022

### Journal de bord de Notre cerveau à tous les niveaux : De la « poussière d'étoile » à la vie, de l'émergence partout



Dans la foulée du 20<sup>e</sup> anniversaire du Cerveau à tous les niveaux, j'ai commencé dans ce blogue le 17 janvier dernier un « journal de bord » d'un livre sur le cerveau et les comportements humains que j'ai écrit durant la pandémie. Étant encore pour un an en relecture et réécriture, j'ai pensé consigner ici quelques réflexions sur mon travail après chaque chapitre

Recherche -> blogue

#### Billets par catégorie

 Abonnez-vous !

NOUVELLES  
RÉCENTES  
SUR LE CERVEAU 

Deric Bownds'  
Mindblog 

To the mountains - an  
analysis of China's  
current state

Blood-derived signals  
as potent drivers of

Séance 10 : « **Moi** »  
conscient versus  
motivations  
inconscientes :  
notre espèce a-t-elle  
de l'avenir ?

Séance 1 :  
Le « **connais-toi  
toi-même** » de  
Socrate à l'heure  
des sciences  
cognitives

Séance 2 :  
De la « **poussière  
d'étoile** »  
à la vie : ces  
bizarreries qui  
font qu'on est ici  
aujourd'hui

Séance 3:  
L'humain  
découvre la  
grammaire de  
base de son  
système nerveux

Séance 9 :  
Le langage :  
une propriété  
émergente de la  
vie sociale chez  
les humains



The central graphic features a dark blue background. At the top left is a small square icon with a brain and a hand. At the top right is the UPOP logo. The main title is 'Notre cerveau à tous les niveaux' in white. Below it, in smaller white text, is '10 séances pour 10 ans d'UPop !' and 'Automne 2019 - Hiver 2020'. At the bottom, it says 'Les mercredis aux deux semaines, 19h' and 'Café Les Oubliettes, dès le 16 octobre'.

Séance 4 :  
Des circuits de  
millions de  
neurones :  
plaisir, douleur,  
apprentissage,  
mémoire

Séance 8 :  
Cerveau et corps  
ne font qu'un :  
origine et  
fonction  
des émotions

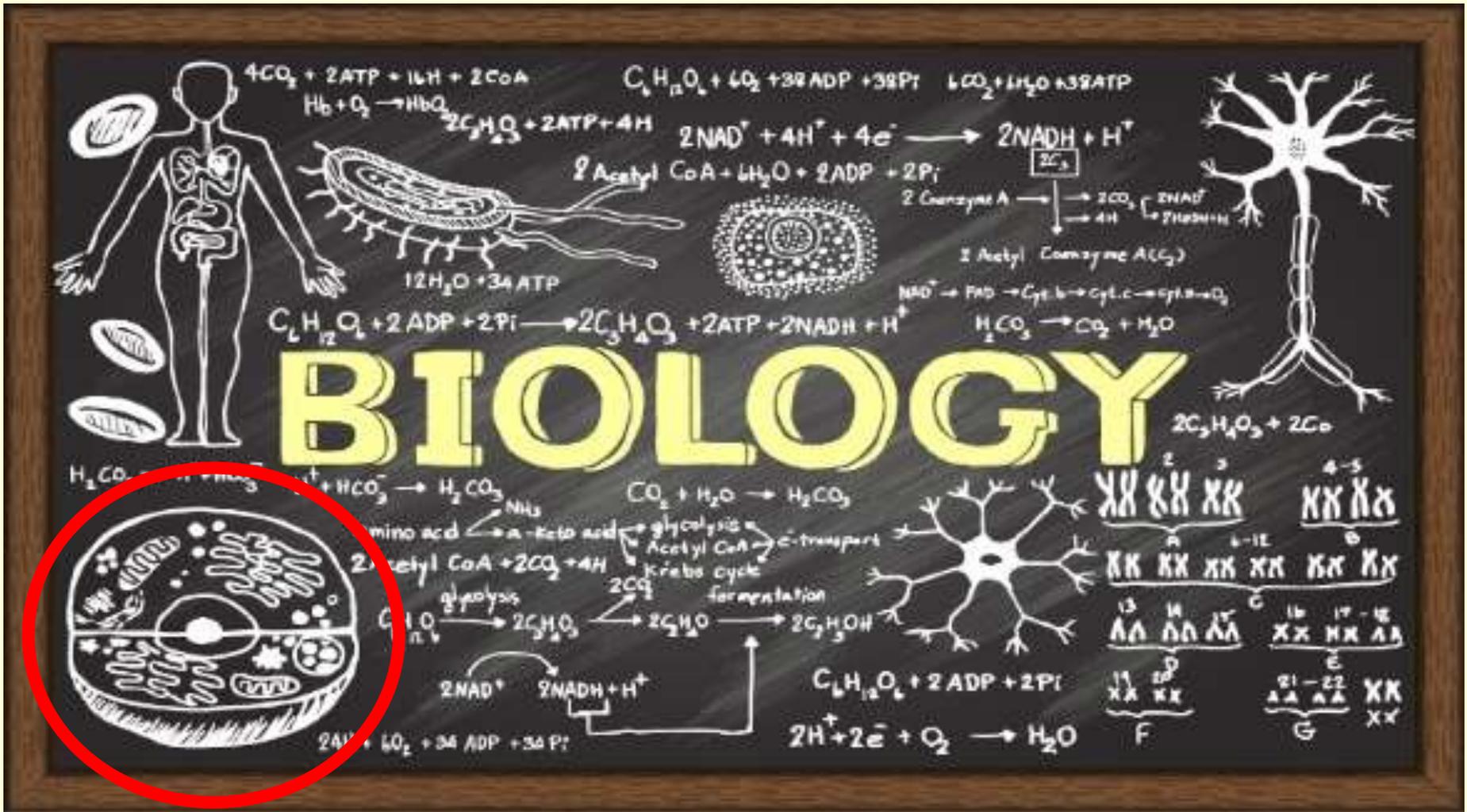
Séance 7 :  
Tout ce qui  
précède permet  
de simuler le  
monde pour  
décider quoi faire

Séance 6 :  
Les rythmes  
cérébraux :  
se synchroniser  
pour mieux  
régner

Séance 5 :  
Cartographe des  
réseaux de milliards  
de neurones  
à l'échelle du  
cerveau entier

# Plan de la séance

**Introduction** : Cours de biologie 101 plate comme on en a tous eus !  
(une base commune de ce qu'il y a à comprendre...  
sans donner les bons outils pour le faire)



Cette semaine on va « voir » la cellule.  
 Tous les êtres vivants sont constitués de cellules.  
 Les cellules sont les unités de base de la vie.

# La cellule VS L'usine

Le cytoplasme Le planchet

La membrane cellulaire Le mur

La mitochondrie La productrice d'énergie

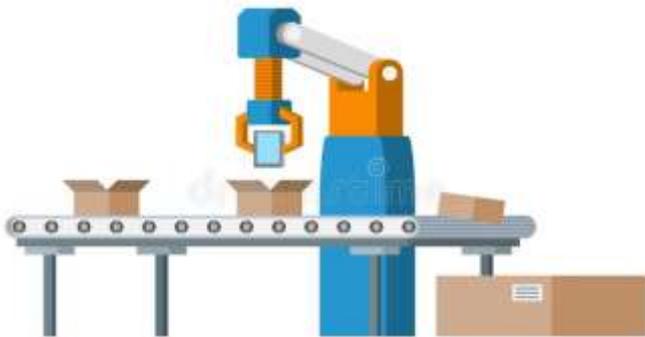
Le noyau Le centre opérationnel

ADN Les instructions

Le reticulum endoplasmique  
La chaîne de montage

L'appareil de Golgi  
Le plan d'expédition

Le ribosome la machine



La cellule est une petite « usine chimique ».

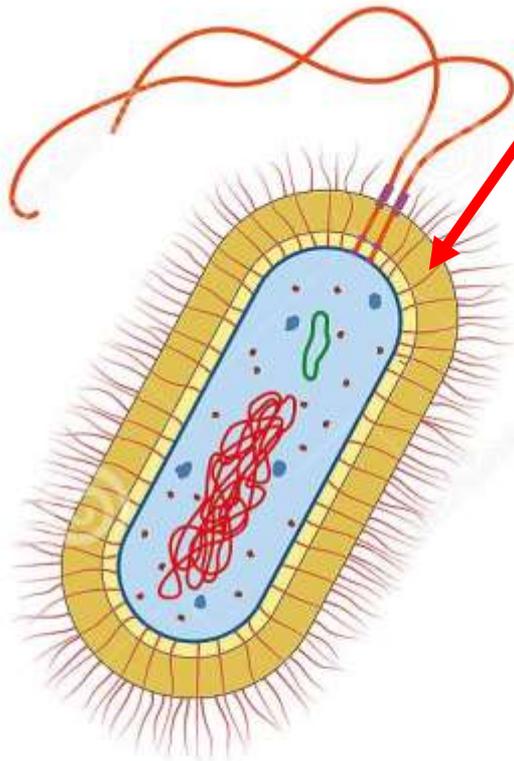
Les cellules **procaryotes** n'ont pas de noyau: leur ADN est libre dans le cytoplasme.

Les procaryotes actuels sont les bactéries et les archées.

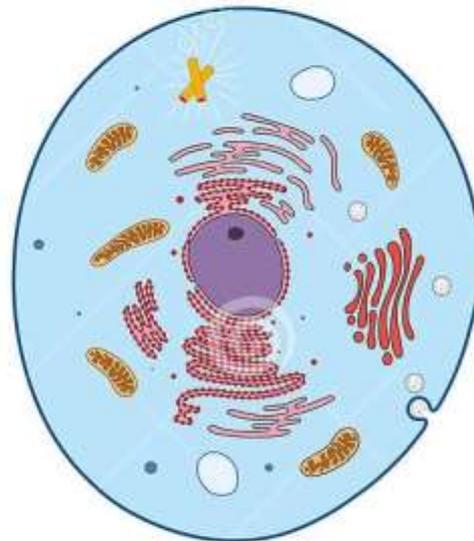
Les cellules **eucaryotes** sont caractérisées par la présence d'un noyau et d'organites spécialisés.

Ce sont les cellules des animaux ou des plantes uni ou multicellulaires.

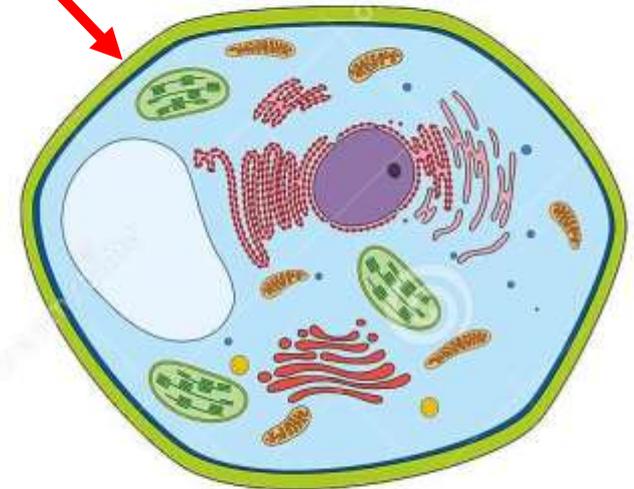
**Paroi cellulaire** assez rigide, à l'extérieur de la membrane cellulaire des cellules végétales et de la plupart des procaryotes



Bacterial cell



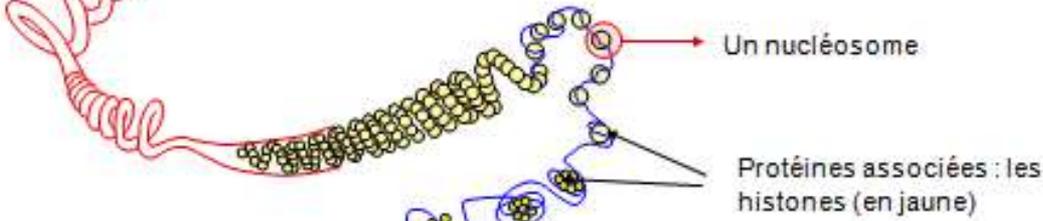
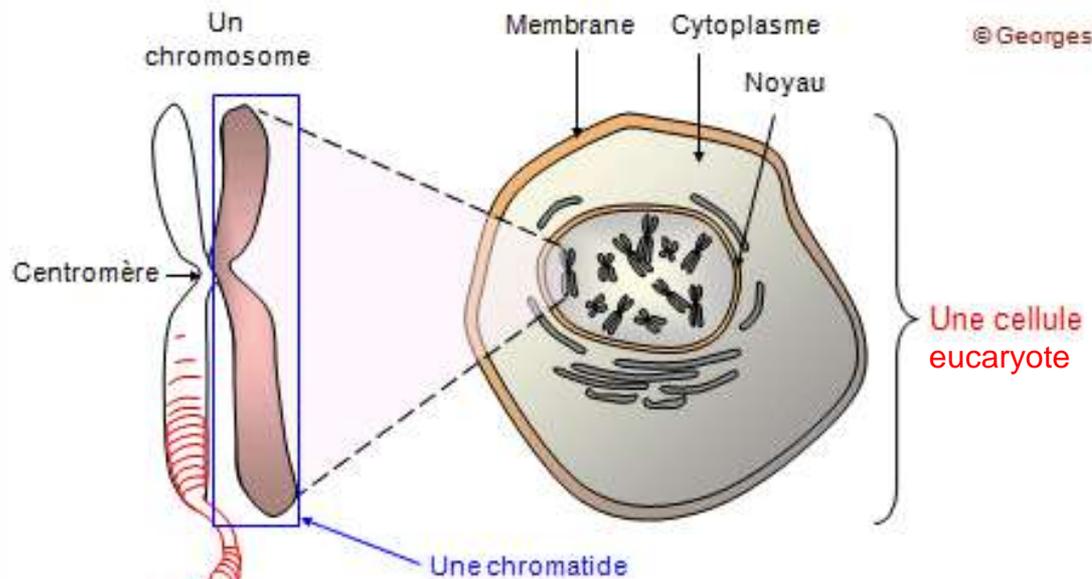
Animal cell



Plant cell

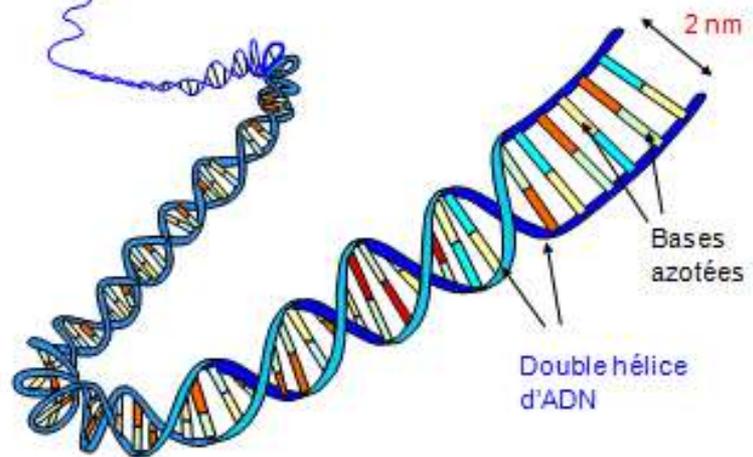
Entre 1 et 10  $\mu\text{m}$

Entre 10 et 100  $\mu\text{m}$

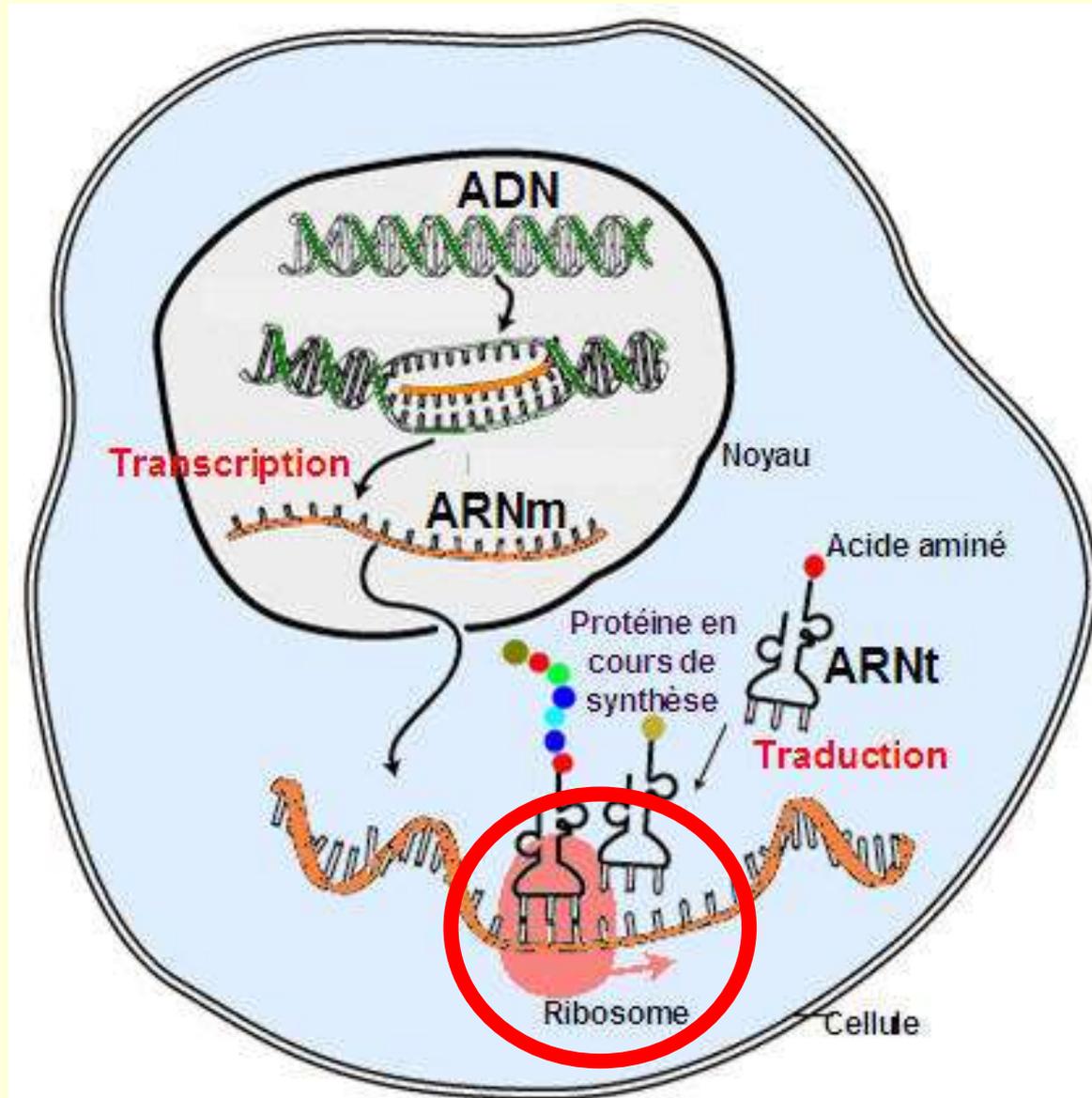


**De l'ADN  
au chromosome :  
les enroulements  
successifs**

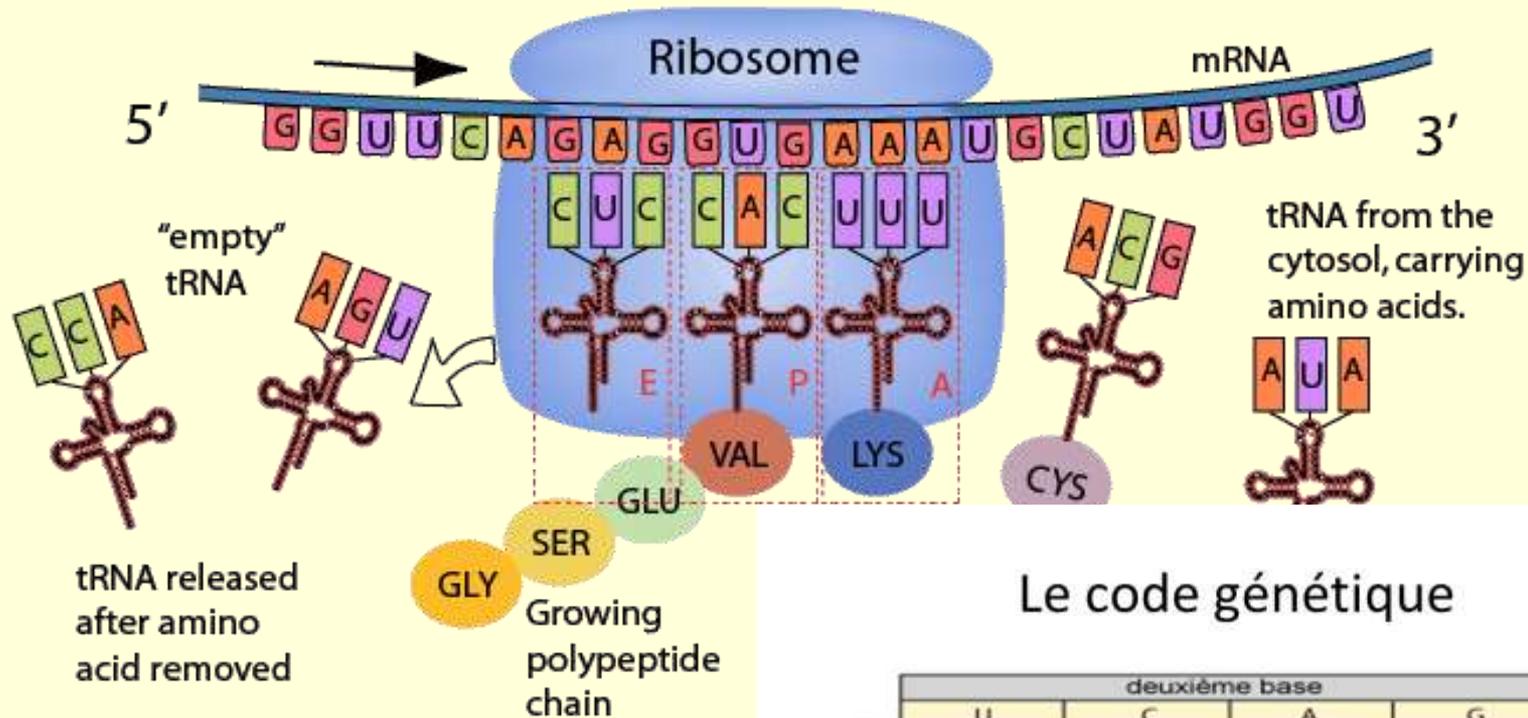
- Cytosine
- Guanine
- Adénine
- Thymine



**Transcription** de l'ADN en ARN messager (dans le noyau),  
puis **traduction** de l'ARN messager en protéine (dans le cytoplasme)



Le **code génétique** est l'ensemble des règles permettant de traduire les informations contenues dans l'ADN du noyau afin de synthétiser les **protéines**.



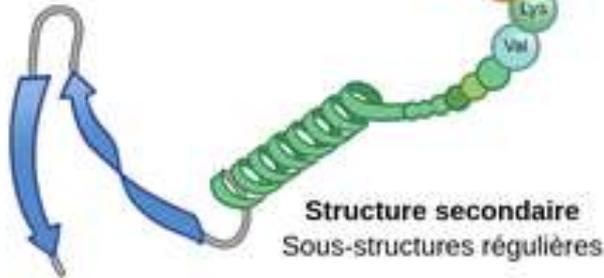
## Le code génétique

		deuxième base				
		U	C	A	G	
extrémité 5'	U	UUU } Phe UUC } UUA } Leu UUG }	UCU } Ser UCC } UCA } UCG }	UAU } Tyr UAC } UAA Stop UAG Stop	UGU } Cys UGC } UGA Stop UGG Trp	U C A G
	C	CUU } Leu CUC } CUA } CUG }	CCU } Pro CCC } CCA } CCG }	CAU } His CAC } CAA } Gln CAG }	CGU } Arg CGC } CGA } CGG }	U C A G
	A	AUU } Ile AUC } AUA } Met AUG }	ACU } Thr ACC } ACA } ACG }	AAU } Asn AAC } AAA } Lys AAG }	AGU } Ser AGC } AGA } Arg AGG }	U C A G
	G	GUU } Val GUC } GUA } GUG }	GCU } Ala GCC } GCA } GCG }	GAU } Asp GAC } GAA } Glu GAG }	GGU } Gly GGC } GGA } GGG }	U C A G
						extrémité 3'

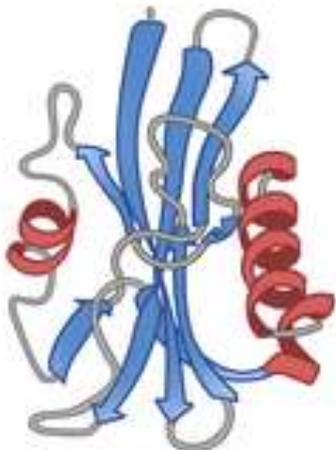
# les protéines assurent de nombreuses fonctions essentielles dans l'organisme :



**Structure primaire**  
Séquence d'acides aminés



**Structure secondaire**  
Sous-structures régulières



**Structure tertiaire**  
Structure tridimensionnelle



**Structure quaternaire**  
Complexe de molécules protéiques



les enzymes digestifs facilitent les réactions chimiques



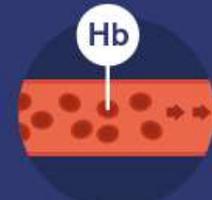
elles soutiennent la régulation et l'expression de l'ADN et de l'ARN



les anticorps soutiennent la fonction immunitaire



elles soutiennent la contraction et le mouvement des muscles



elles déplacent les molécules essentielles dans l'organisme



elles fournissent un soutien à l'organisme



les hormones aident à la coordination des fonctions corporelles

Les protéines sont les « briques » du vivant...

...qui se retrouve dans tous les grands systèmes du corps humain.



Musculo-squelettique

Nerveux

Endocrinien

Circulatoire

Immunitaire



Essayons de repartir sur de meilleures bases...

# Plan de la séance

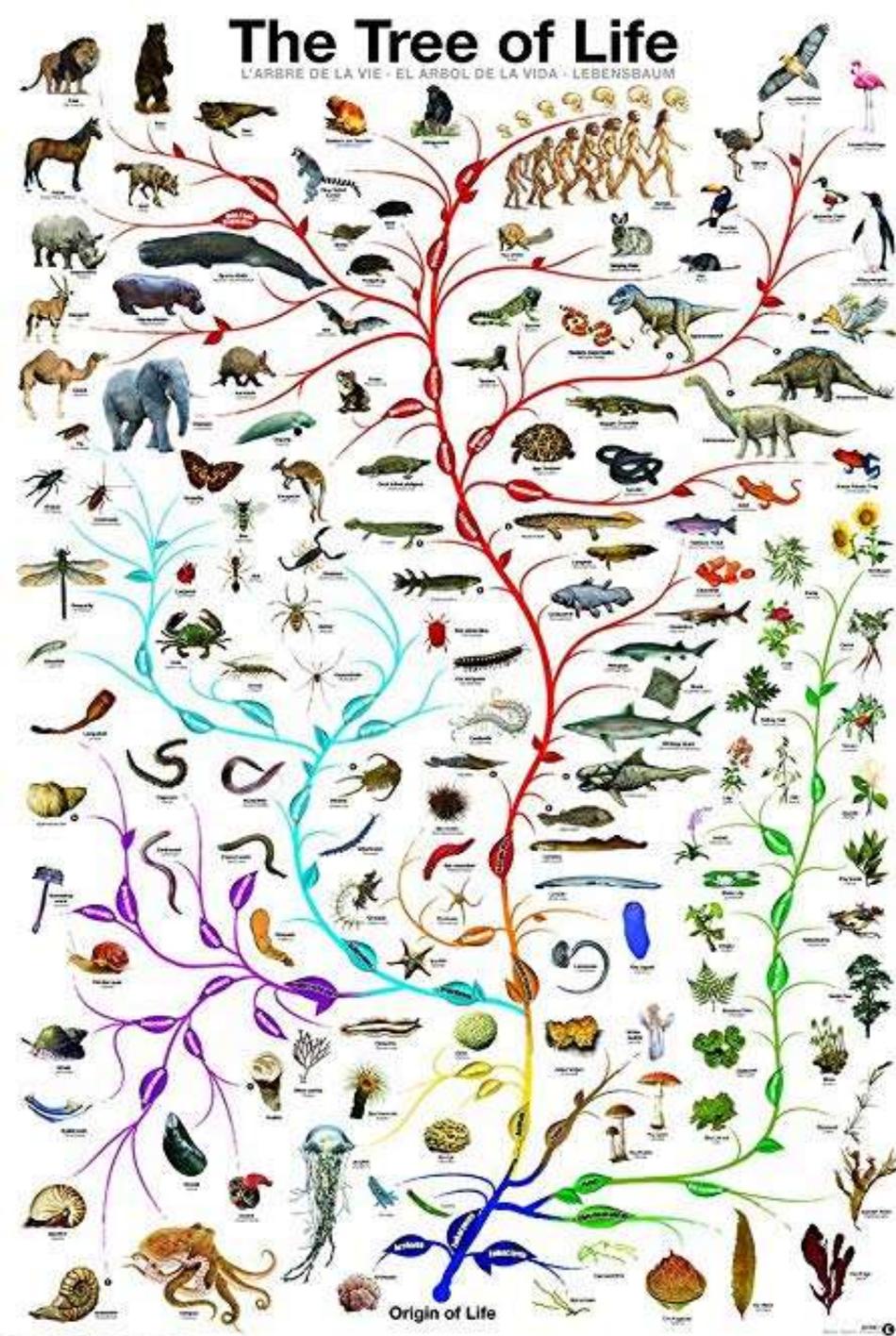
**Introduction** : Cours de biologie 101 plate comme on en a tous eus !

(une base commune de ce qu'il y a à comprendre...  
sans donner les bons outils pour le faire)

Toujours avoir une **perspective évolutive**

# The Tree of Life

L'ARBRE DE LA VIE - EL ARBOL DE LA VIDA - LEBENSBAUM

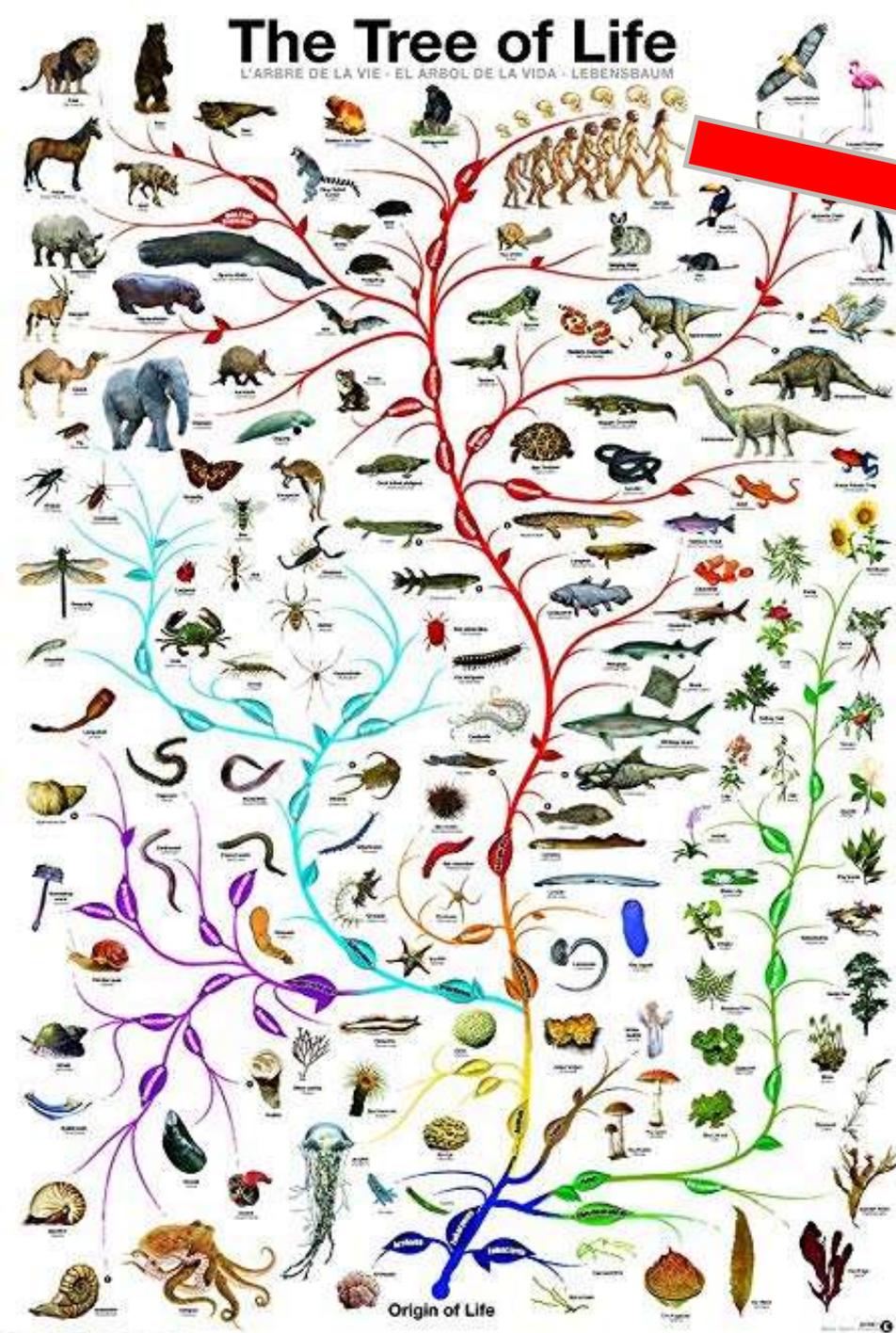


« Rien en biologie n'a de sens, si ce n'est à la lumière de l'évolution »

- Theodosius Dobzhansky  
(1900-1975)

# The Tree of Life

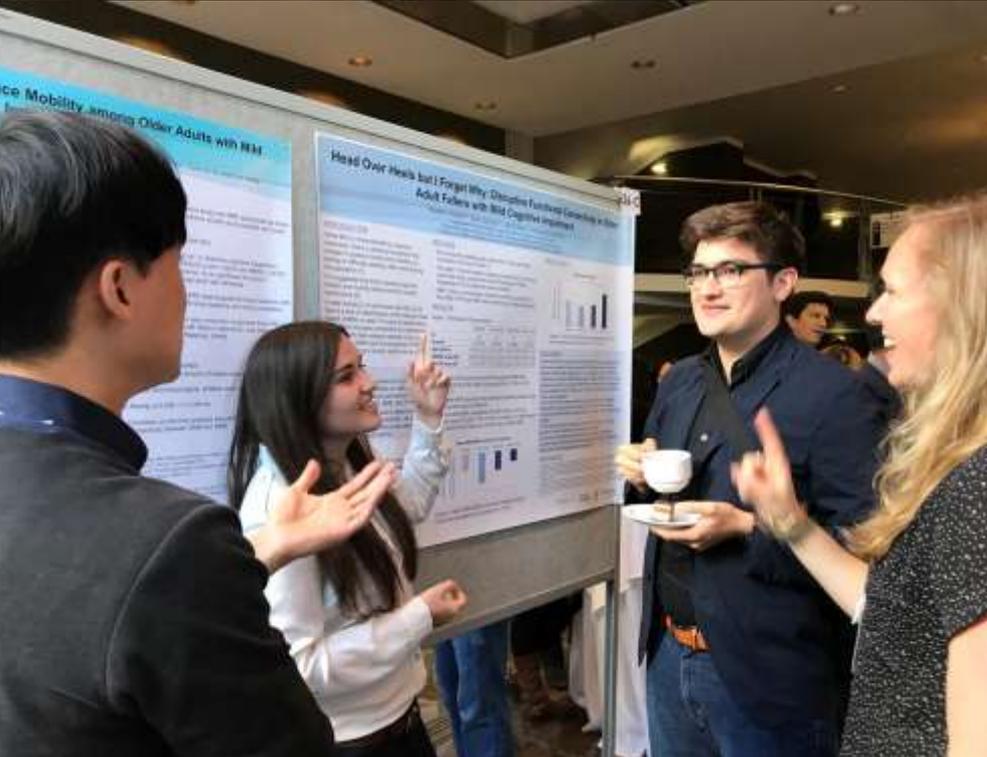
L'ARBRE DE LA VIE - EL ARBOL DE LA VIDA - LEBENSBAUM



Seul l'être humain utilise son cerveau pour tenter de comprendre...

**son cerveau et le reste du monde vivant !**

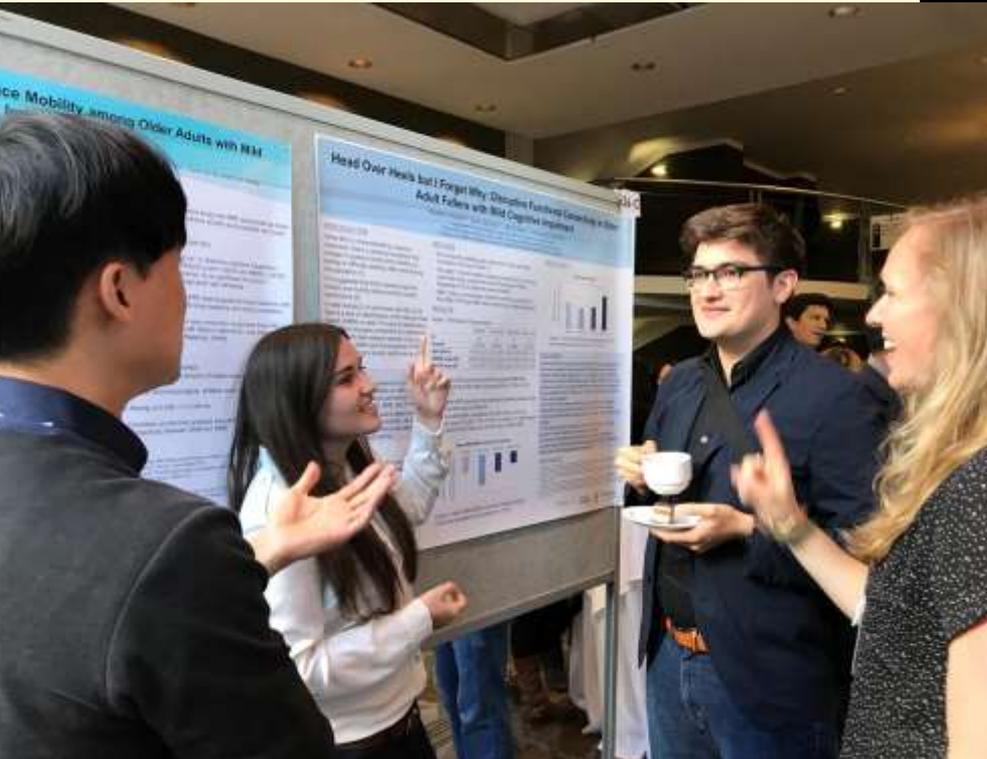
...mais pas science !



Culture, outil, politique...

...mais pas science !

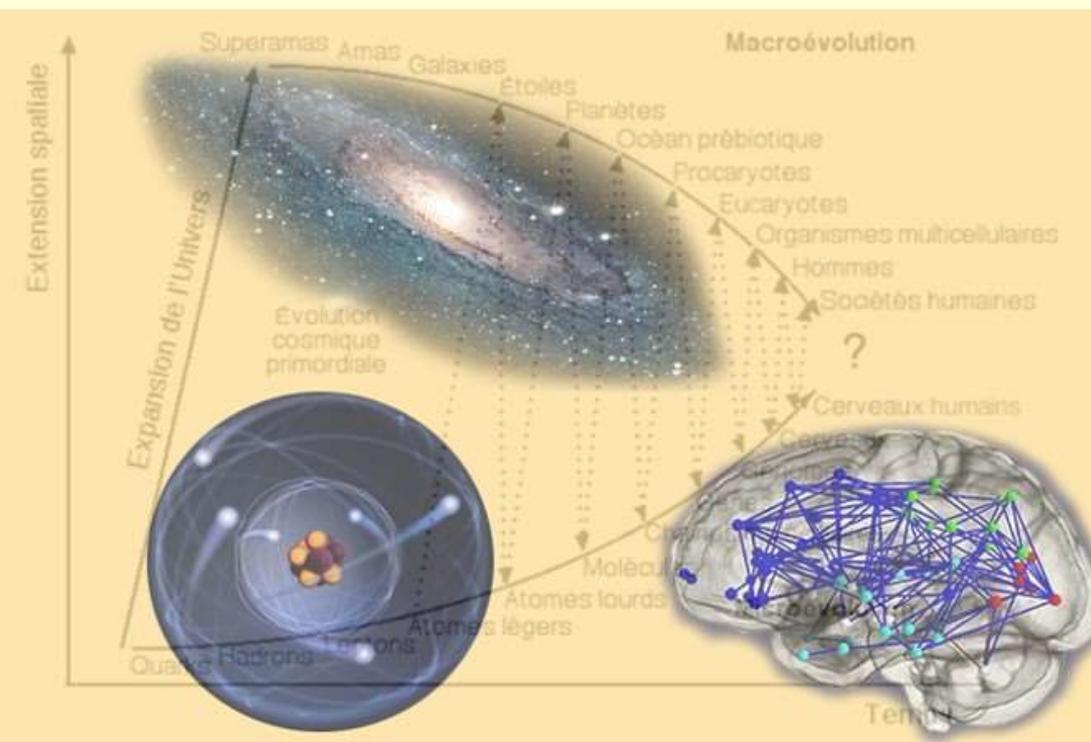
... c'est-à-dire **créer un monde de sens commun** à partir de **subjectivités partagées** à propos d'éléments du monde comme...



Culture, outil, politique...

...mais pas science !

... c'est-à-dire **créer un monde de sens commun** à partir de **subjectivités partagées** à propos d'éléments du monde comme...



Culture, outil, politique...

2015

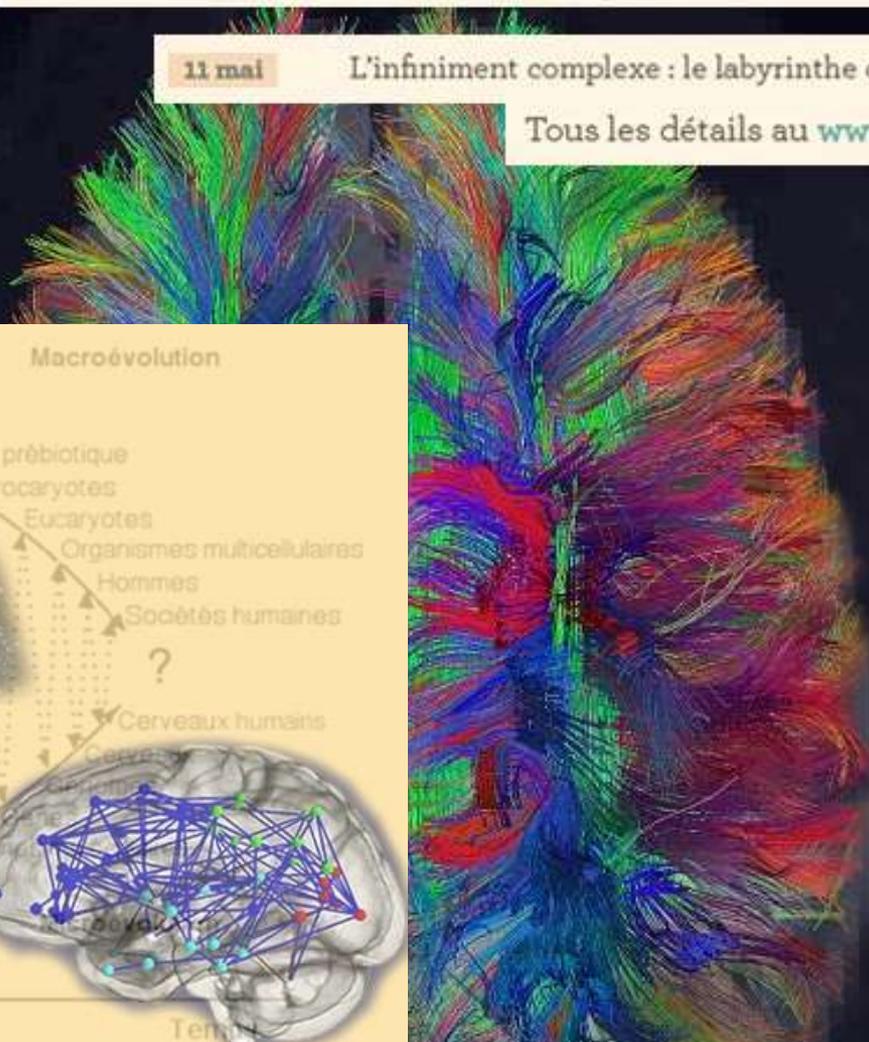
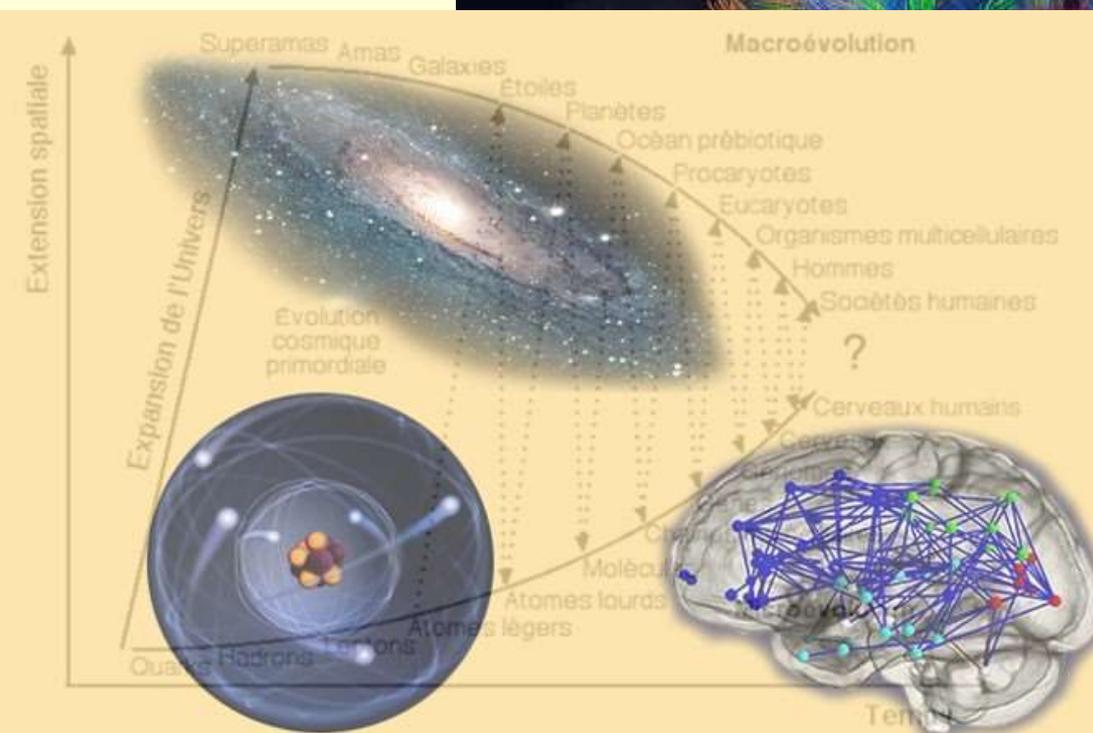
# neurons univers mécanique quantique Tout ce que vous avez toujours voulu savoir sur... **Les trois infinis : le petit, le grand et le complexe**

Les séances, présentées par Bruno Dubuc, ont lieu au bar Les Pas Sages, 951, rue Rachel Est, les lundis suivants à 19 h :

11 mai

L'infiniment complexe : le labyrinthe de nos réseaux cérébraux

Tous les détails au [www.upopmontreal.com](http://www.upopmontreal.com)





Vous êtes nés il y a  
13,8 milliards  
d'années

**Évolution cosmique, chimique et biologique**



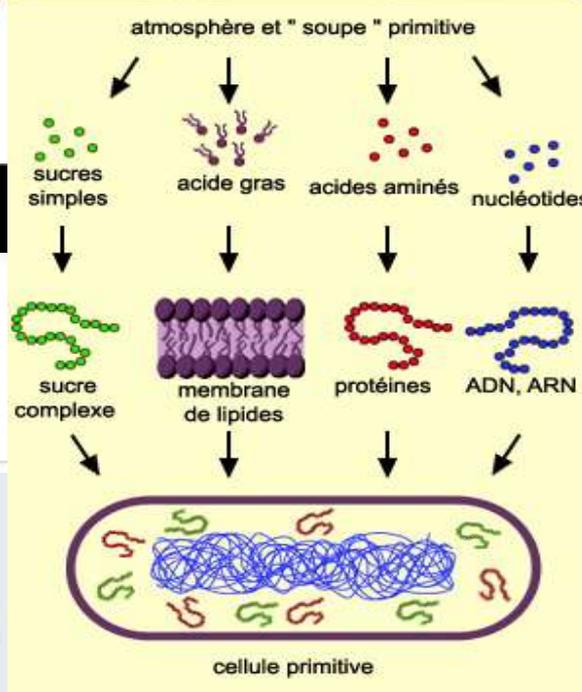
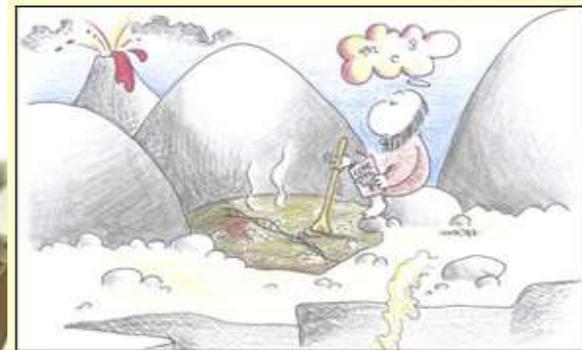
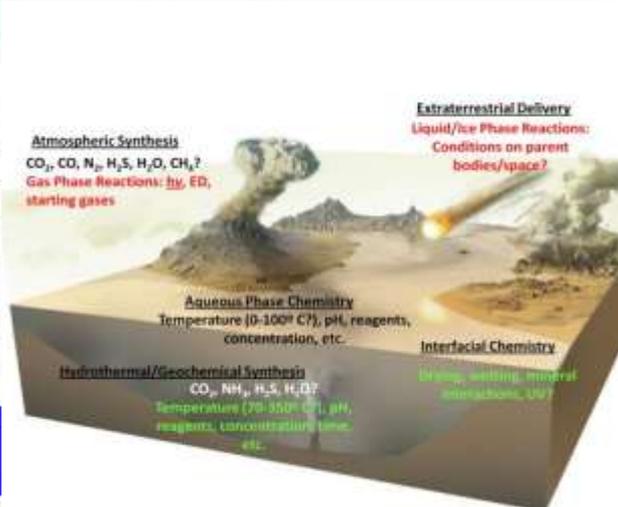
(Crédit : modifié de Robert Lamontagne)



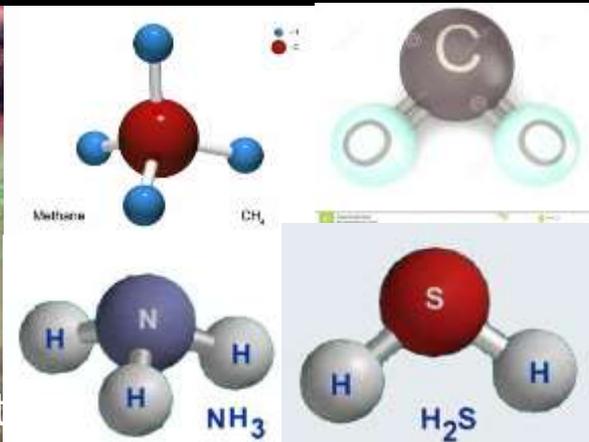
# Croissance de complexité

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

## Tableau Périodique des Éléments



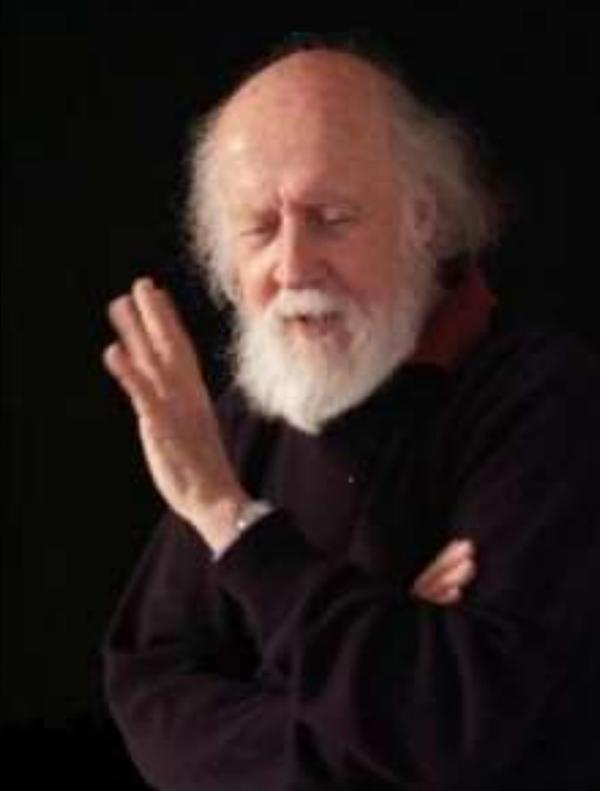
## Évolution cosmique, chimique



(Crédit : modifié de Robert Lamont)



« L'histoire de l'Univers, c'est comment ces quarks et ces électrons sont devenus vous-mêmes.



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 13,8 milliards d'années d'organisation et de complexification depuis le Big Bang ont été nécessaires pour concrétiser ce simple fait. »



- Hubert Reeves

# Plan de la séance

**Introduction** : Cours de biologie 101 plate comme on en a tous eus !  
(une base commune de ce qu'il y a à comprendre...  
sans donner les bons outils pour le faire)

Toujours avoir une **perspective évolutive**

Le vivant est fait de multiples **niveaux d'organisation**  
dont il doit **maintenir la structure**

# LE CERVEAU À TOUS LES NIVEAUX!

Thème  
**Le plaisir et la douleur**

Sous-thème  
**La quête du plaisir**  
Les paradis artificiels  
L'ivresse et la drogue

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 bruit de l'horloge du bureau.

Si un stimulus se réveille et se réveille à ce stimulus, en l'ignorant tout simplement, il nous attire nous attirer pour nous attirer et nous attirer.

Niveau d'application

Débutant  
Intermédiaire  
Avancé

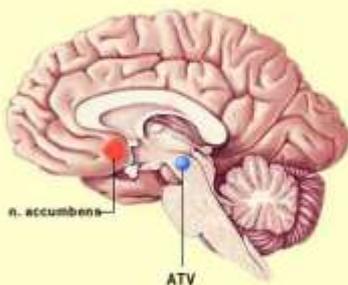


Niveau d'organisation

Social  
Psychologique  
Cérébral  
Cellulaire  
Moléculaire

## LES CENTRES DU PLAISIR

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**.

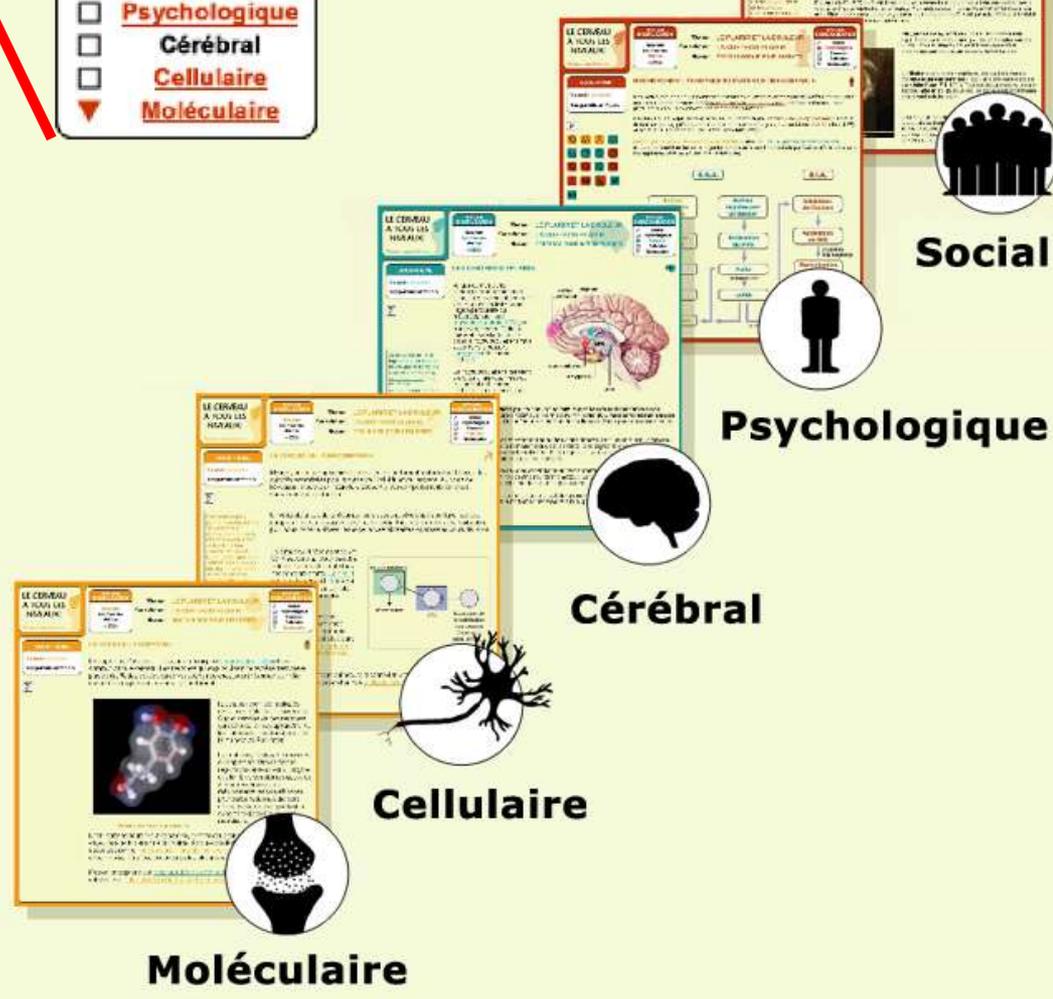
L'**aire tegmentale ventrale (ATV)**, un groupe de neurones situés en plein centre du cerveau, est particulièrement importante dans ce circuit. Elle reçoit de l'information de plusieurs autres régions qui l'informent du niveau de satisfaction des besoins fondamentaux ou plus spécifiquement humains.

L'aire tegmentale ventrale transmet ensuite cette information à une autre structure cérébrale située plus en avant : le **noyau accumbens**. Cette transmission s'effectue grâce à un mécanisme chimique particulier : la **dopamine**. Son action réside dans la

### Niveau d'organisation

- ▲ Social
- Psychologique
- Cérébral
- Cellulaire
- ▼ Moléculaire

# 5 niveaux d'organisation



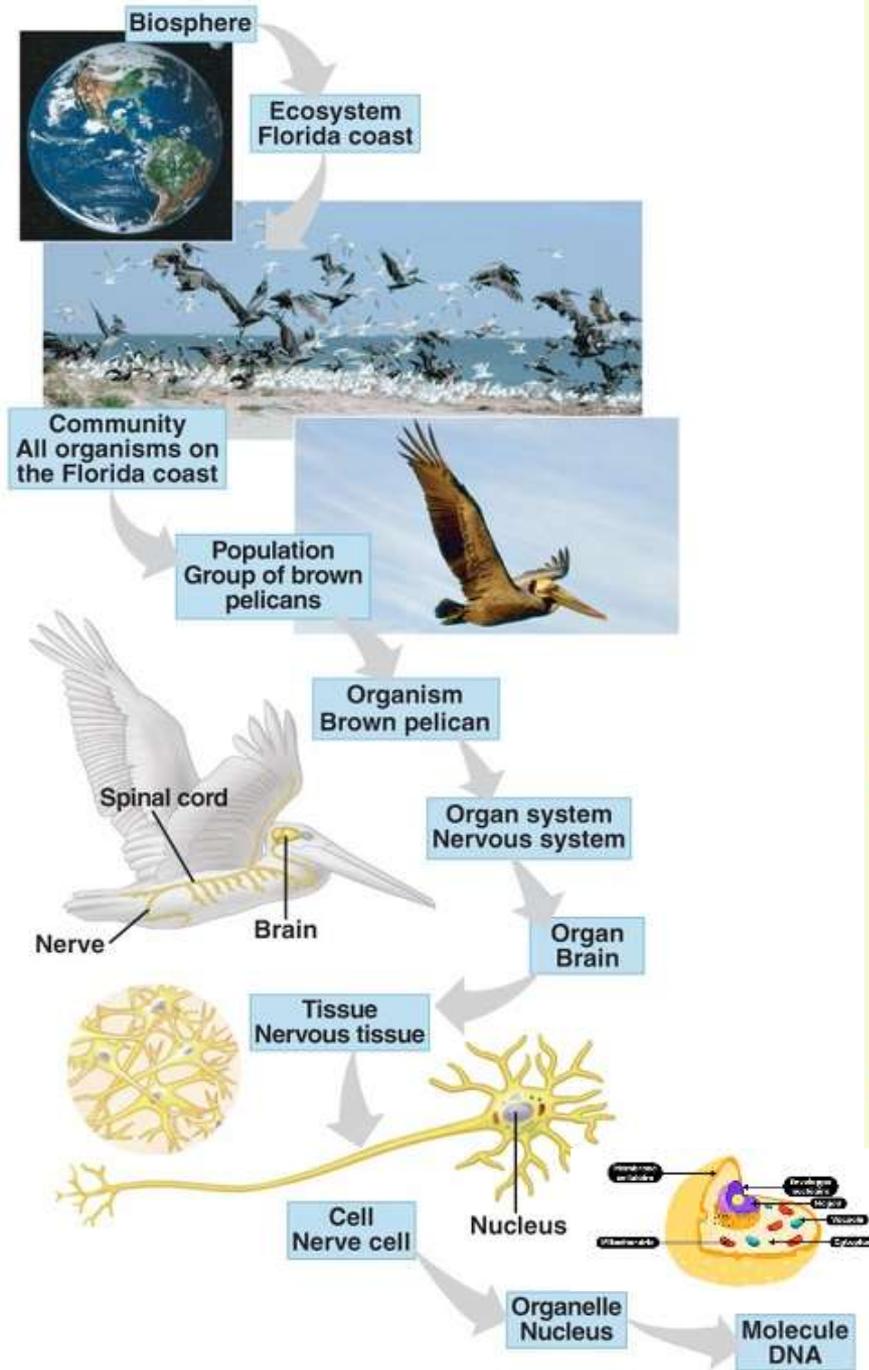
Social

Psychologique

Cérébral

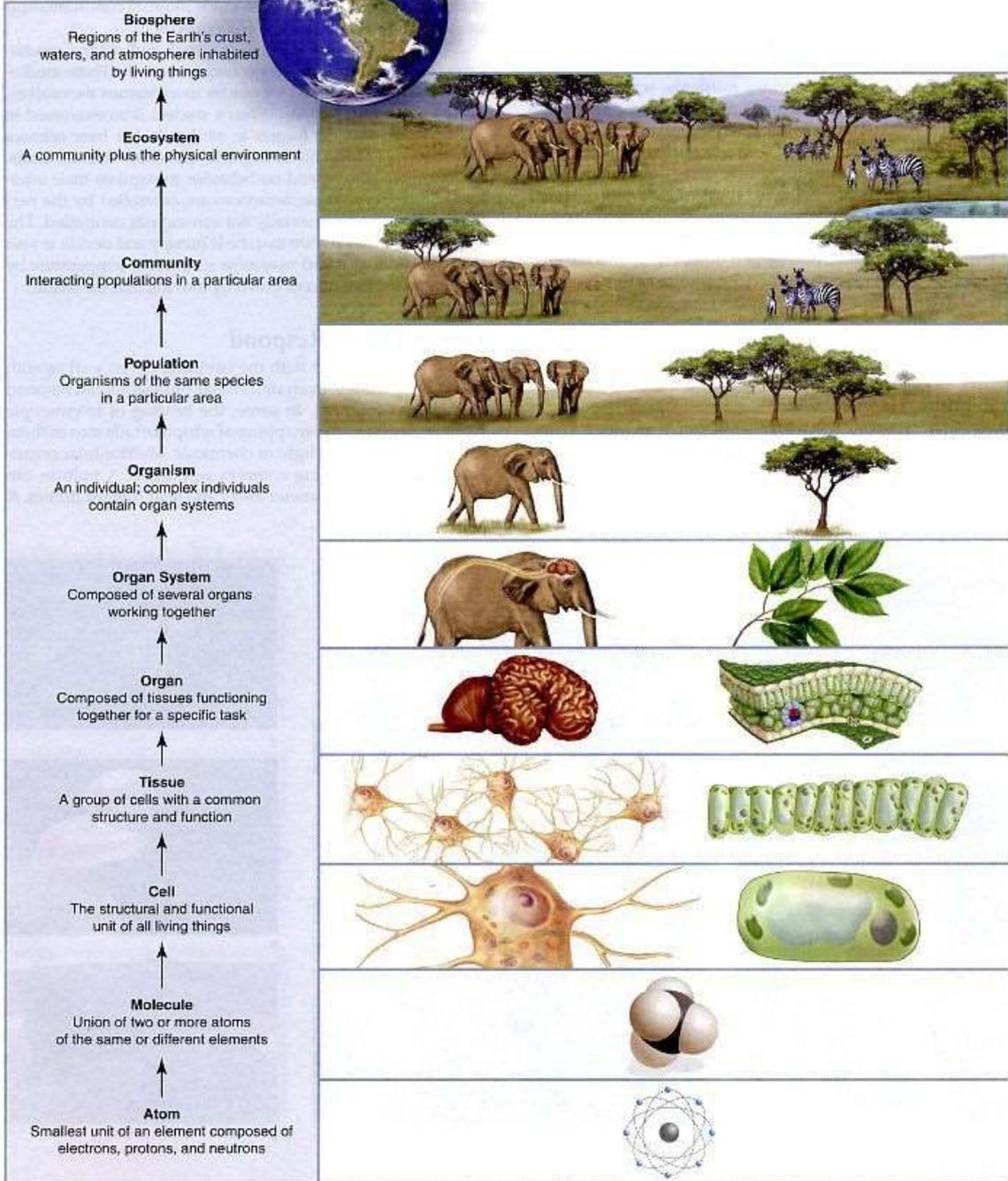
Cellulaire

Moléculaire



# 5 niveaux d'organisation

**Social**  
**Psychologique**  
**Cérébral**  
**Cellulaire**  
**Moléculaire**



Le nombre de niveaux n'est pas fixé dans l'absolu

mais dépend de ce qu'on veut étudier.

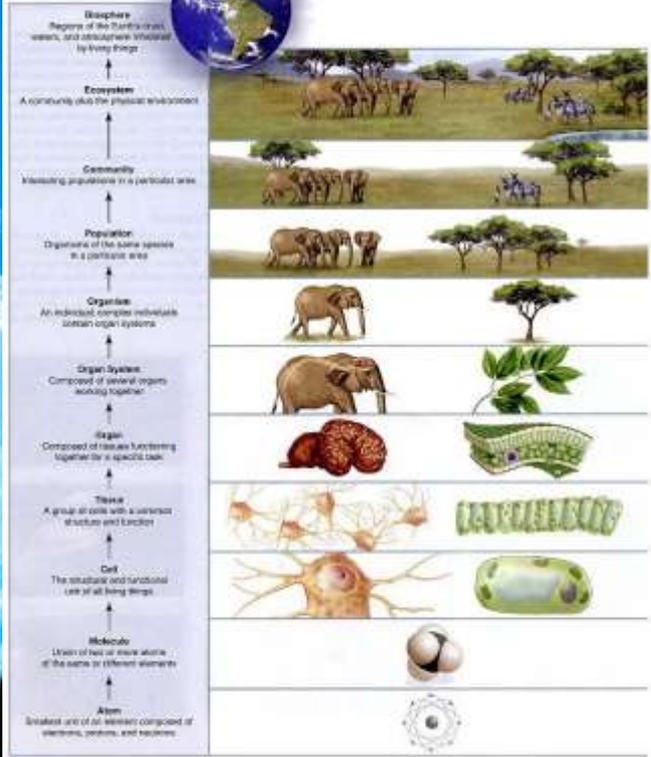
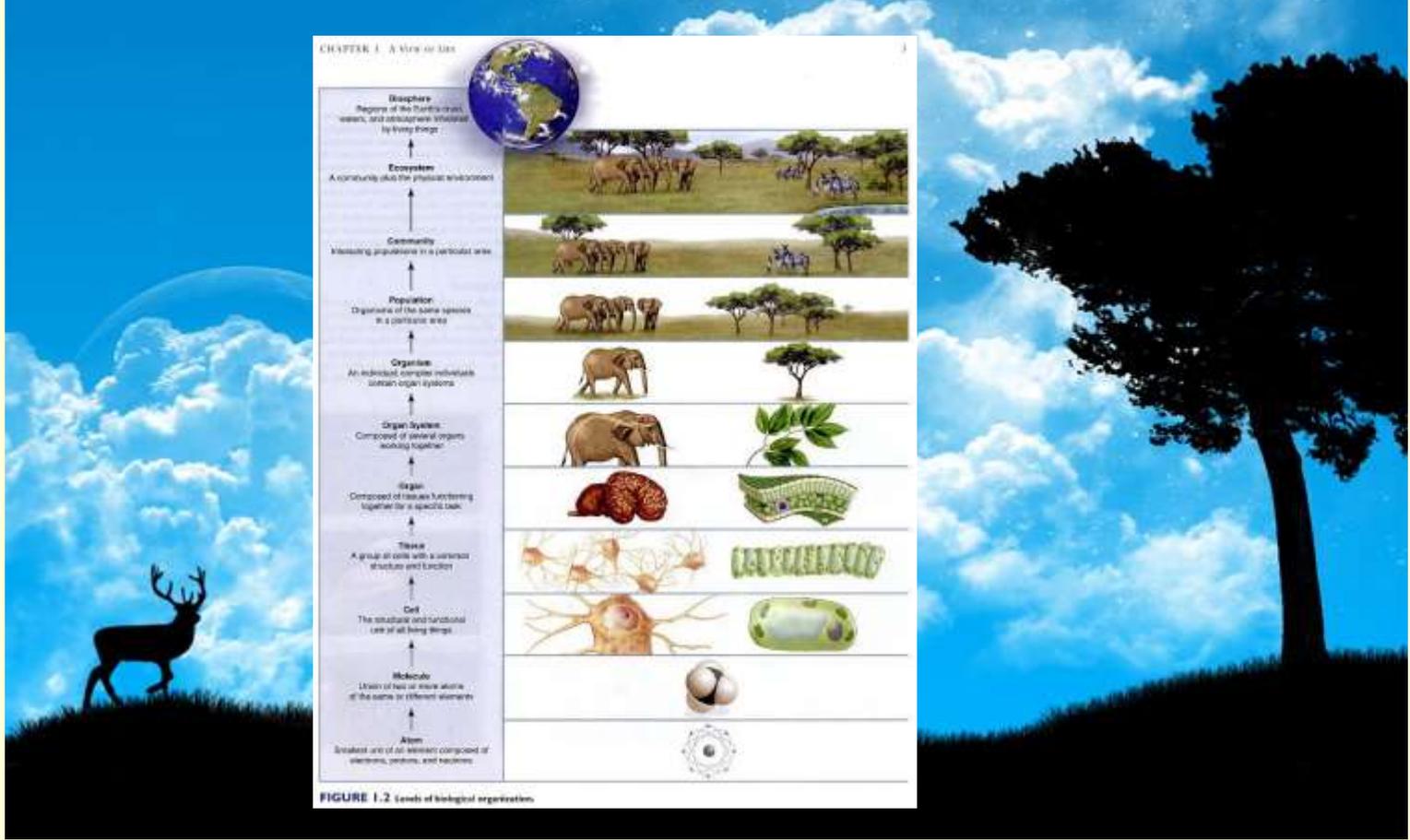


FIGURE 1.2 Levels of biological organization.





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

- Henri Laborit

2<sup>e</sup> principe de la thermodynamique :

l'entropie (désordre) croît constamment



## Concept / Cadre théorique :

**Claude BERNARD** (1813-1878), en **1865**, 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**.

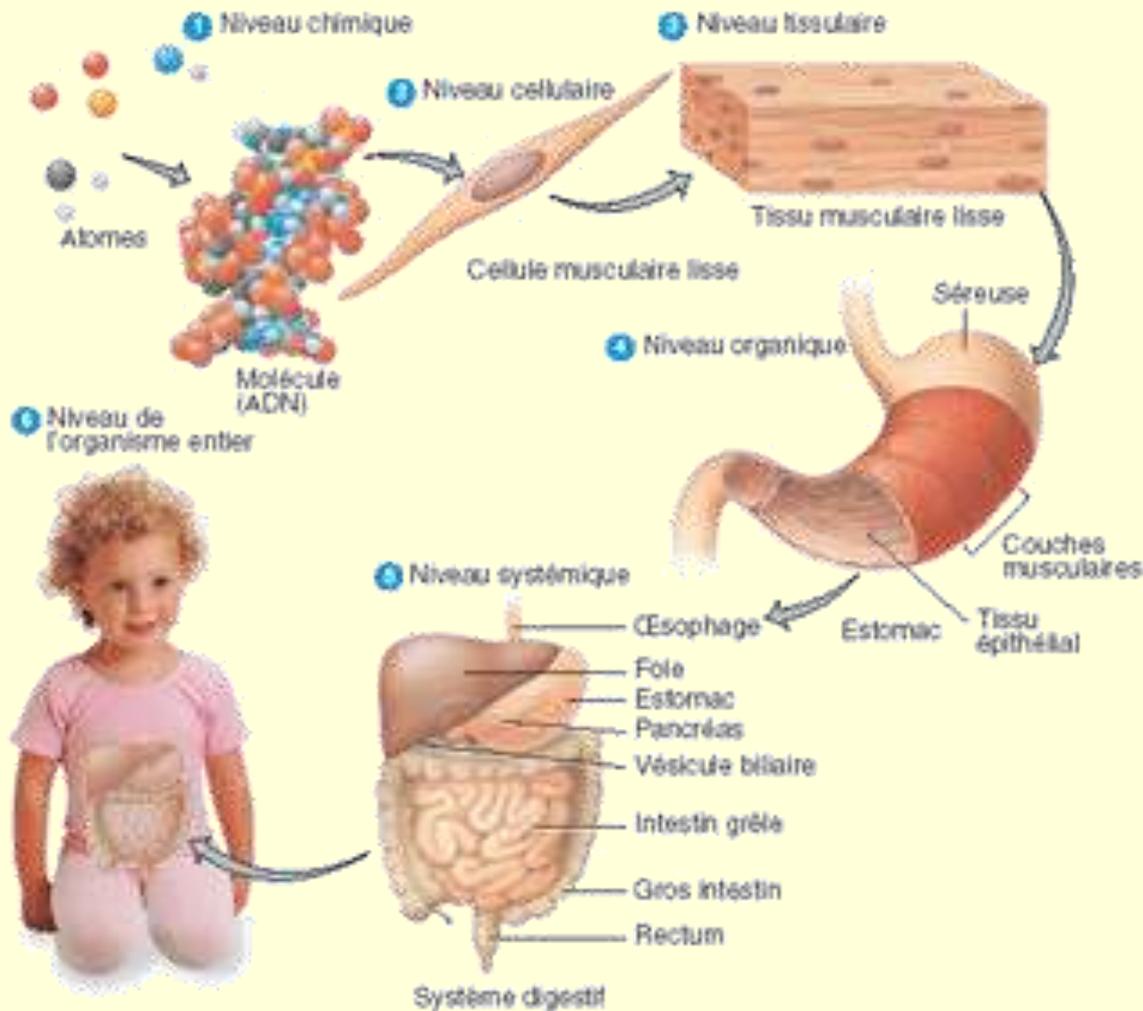
« The physiology of biological systems can be reduced almost entirely to their **homeostasis**. »

- Karl Friston (**2010**)

« Technically, biological systems **revisit the same set of characteristic states** that constitute a [...] *dynamical attractor*. »

- M. Ramstead, A. Constant, P. Badcock, K. Friston (**2019**)

## Organisation structurale du corps humain (Figure 1.1)

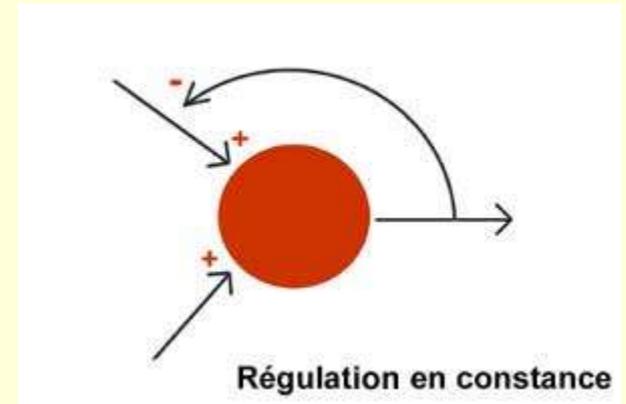
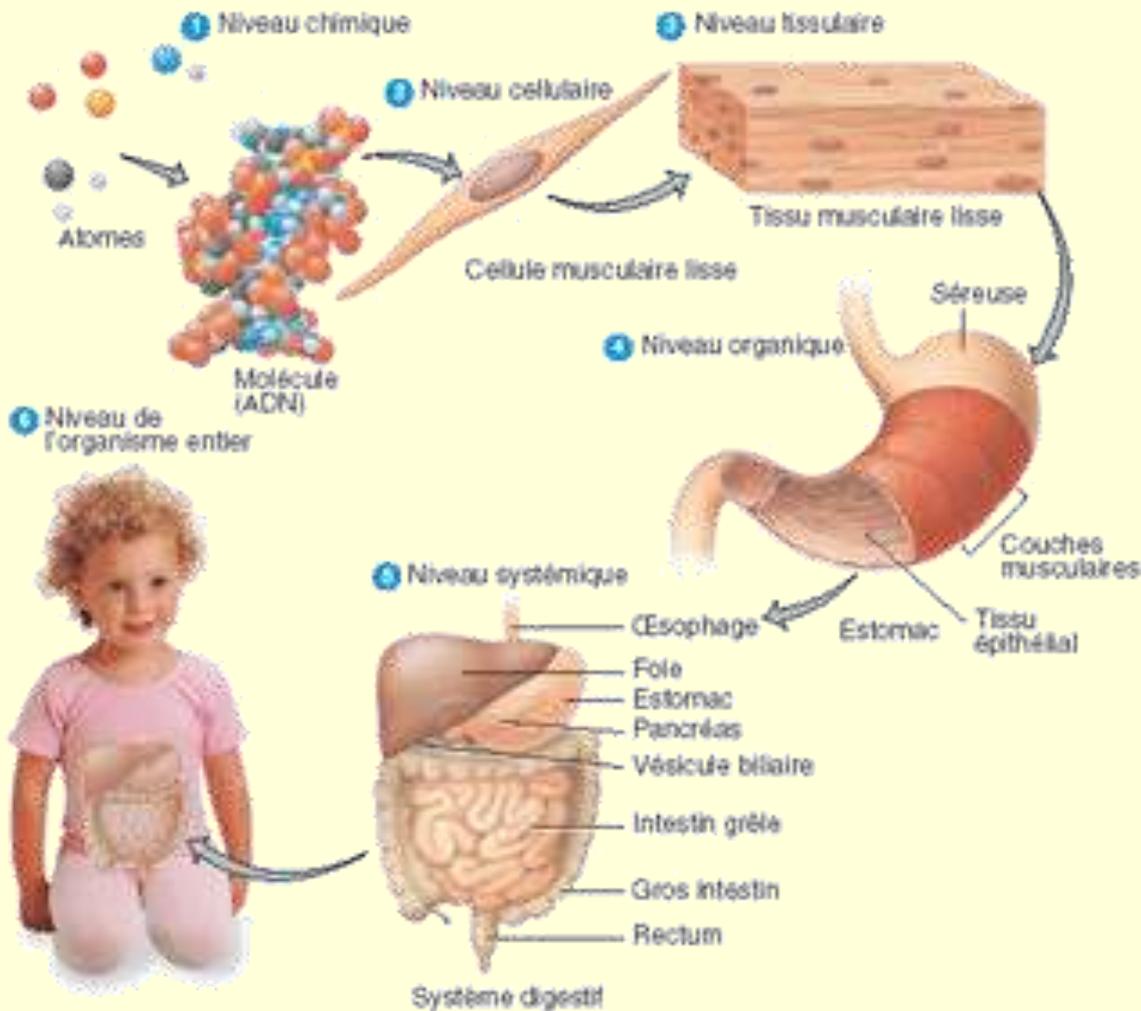


Dans un organisme, chacun de ces « niveaux d'organisation » doit donc **collaborer** pour **maintenir l'homéostasie** de l'ensemble.

Comment ?

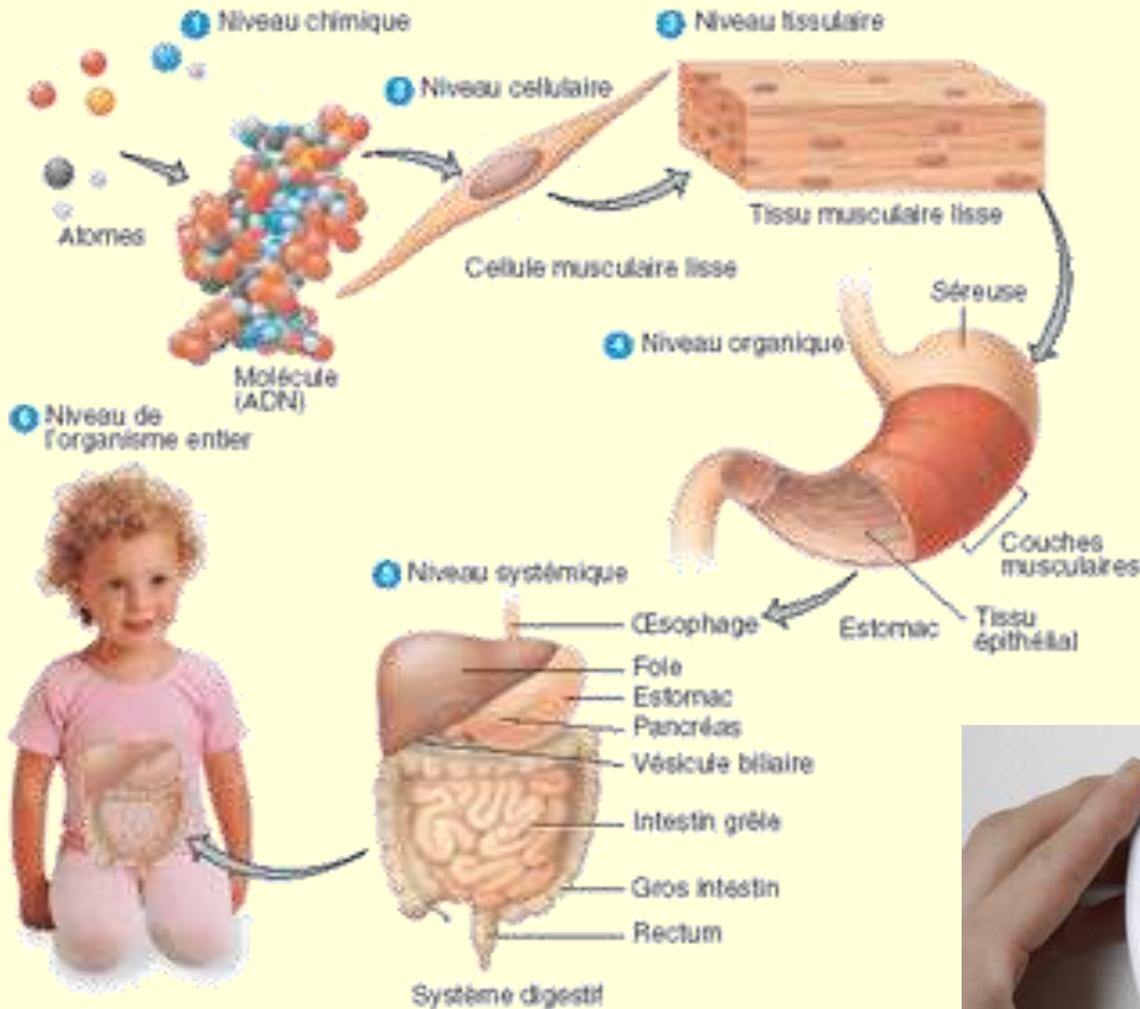
# Par régulation de chaque niveau...

Organisation structurale du corps humain (Figure 1.1)



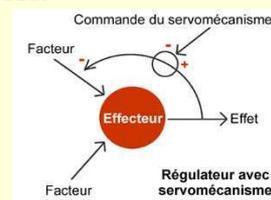
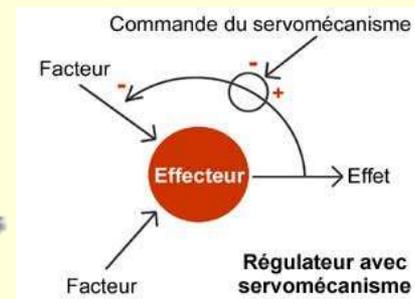
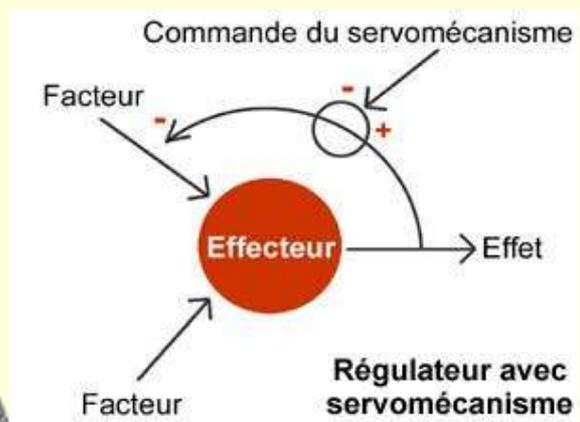
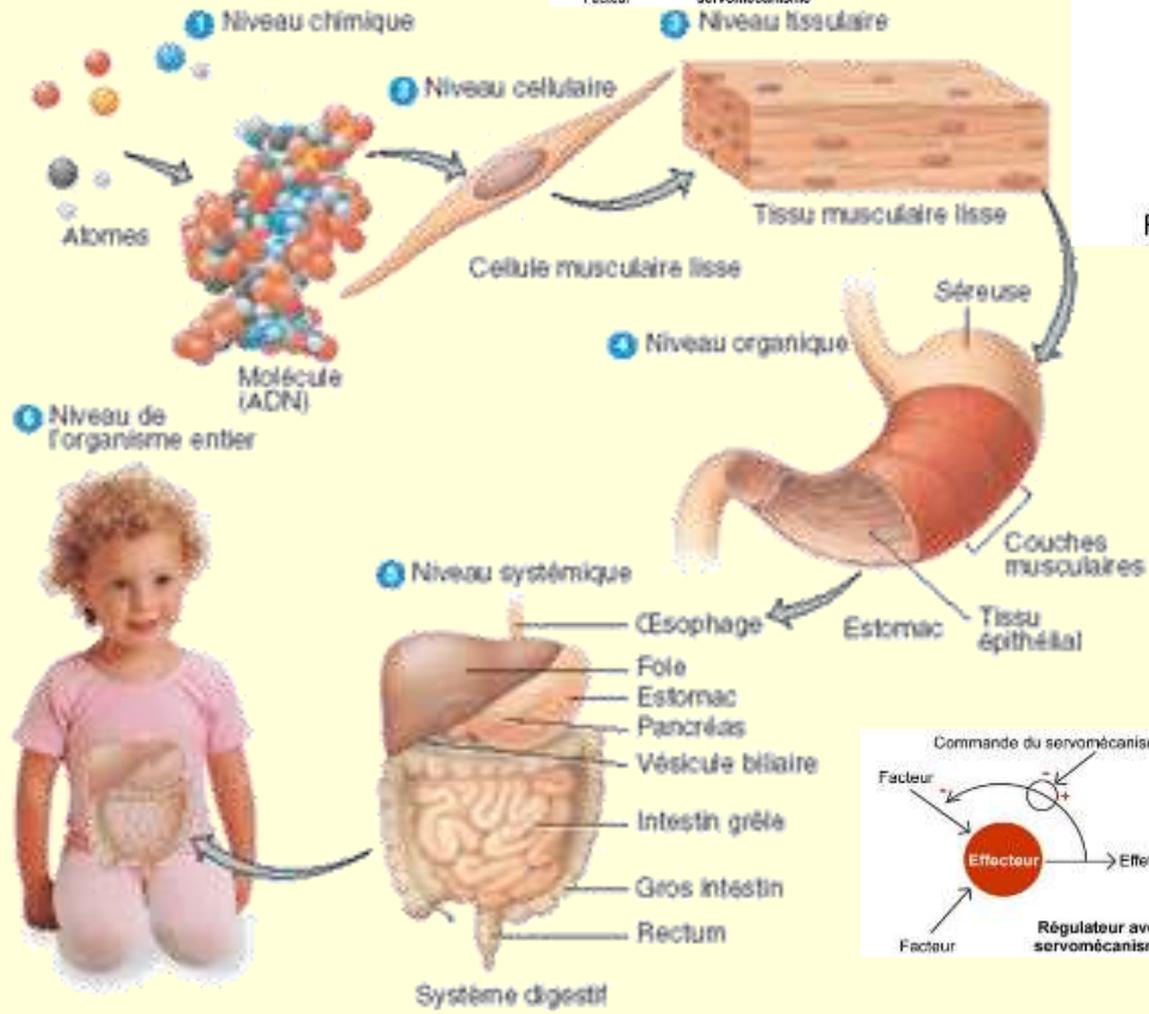
# ...et ajustement constant à la demande du niveau supérieur.

Organisation structurale du corps humain (Figure 1.1)

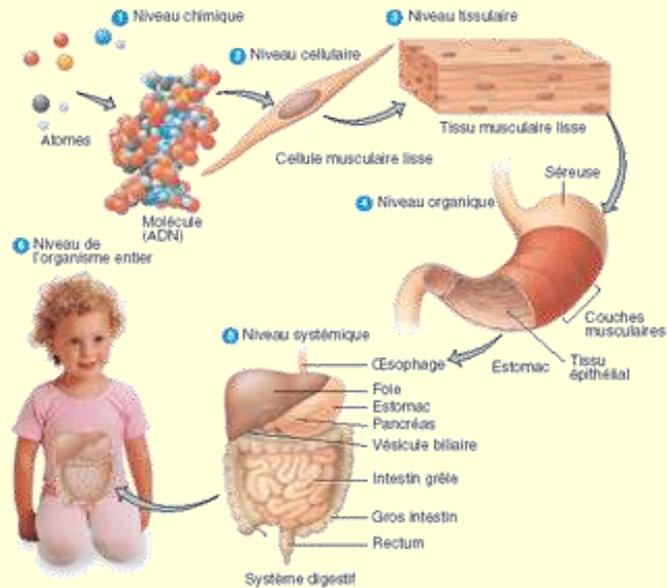


rganisation structurale du

(Figure 1



Les 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

« Rien en biologie n'a  
de sens, si ce n'est à la  
lumière de l'évolution  
et du 2<sup>e</sup> principe de  
la thermodynamique ! »

- Paul Savary ;-)

C'est ce qui va nous  
permettre d'être des  
petits ilots d'ordre  
dans un océan de  
désordre,

pendant un temps,  
du moins...

« 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

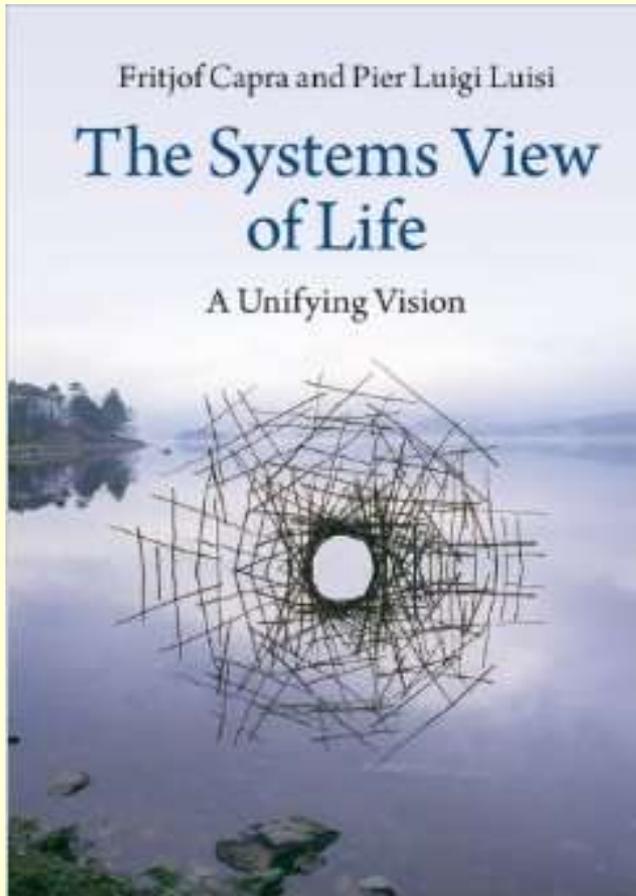
# Plan de la séance

**Introduction** : Cours de biologie 101 plate comme on en a tous eus !  
(une base commune de ce qu'il y a à comprendre...  
sans donner les bons outils pour le faire)

Toujours avoir une **perspective évolutive**

Le vivant est fait de multiples **niveaux d'organisation**  
dont il doit **maintenir la structure**

L'évolution **cosmique** : « Nous sommes faits de poussières d'étoiles »



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

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



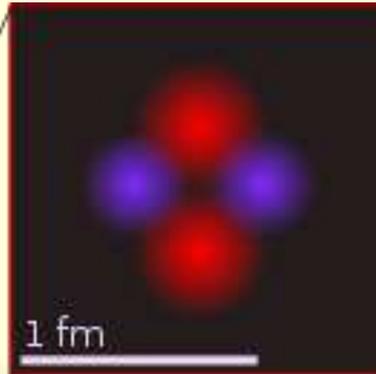
- l'étude de la **matière** : de quoi c'est fait ?



Tout est fait  
d'atomes !



L'**atome** est constitué d'un **noyau** concentrant plus de 99,9 % de sa masse



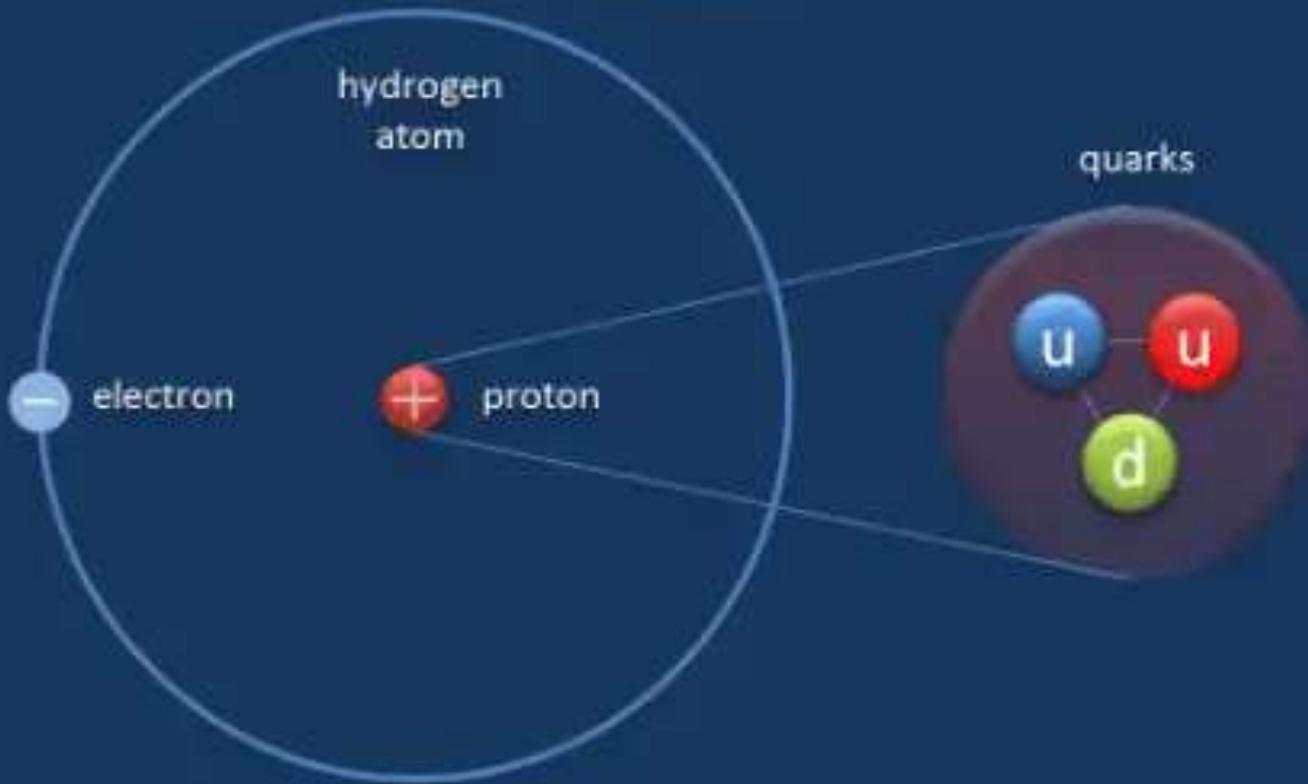
Le noyau d'**hélium 4** est formé de deux **protons** et de deux **neutrons**.

autour duquel se distribuent des **électrons** pour former un nuage 100 000 fois plus étendu que le noyau lui-même (donc schéma pas à l'échelle ici !).

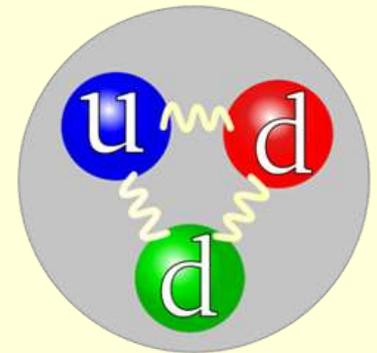
1 Å = 100 pm



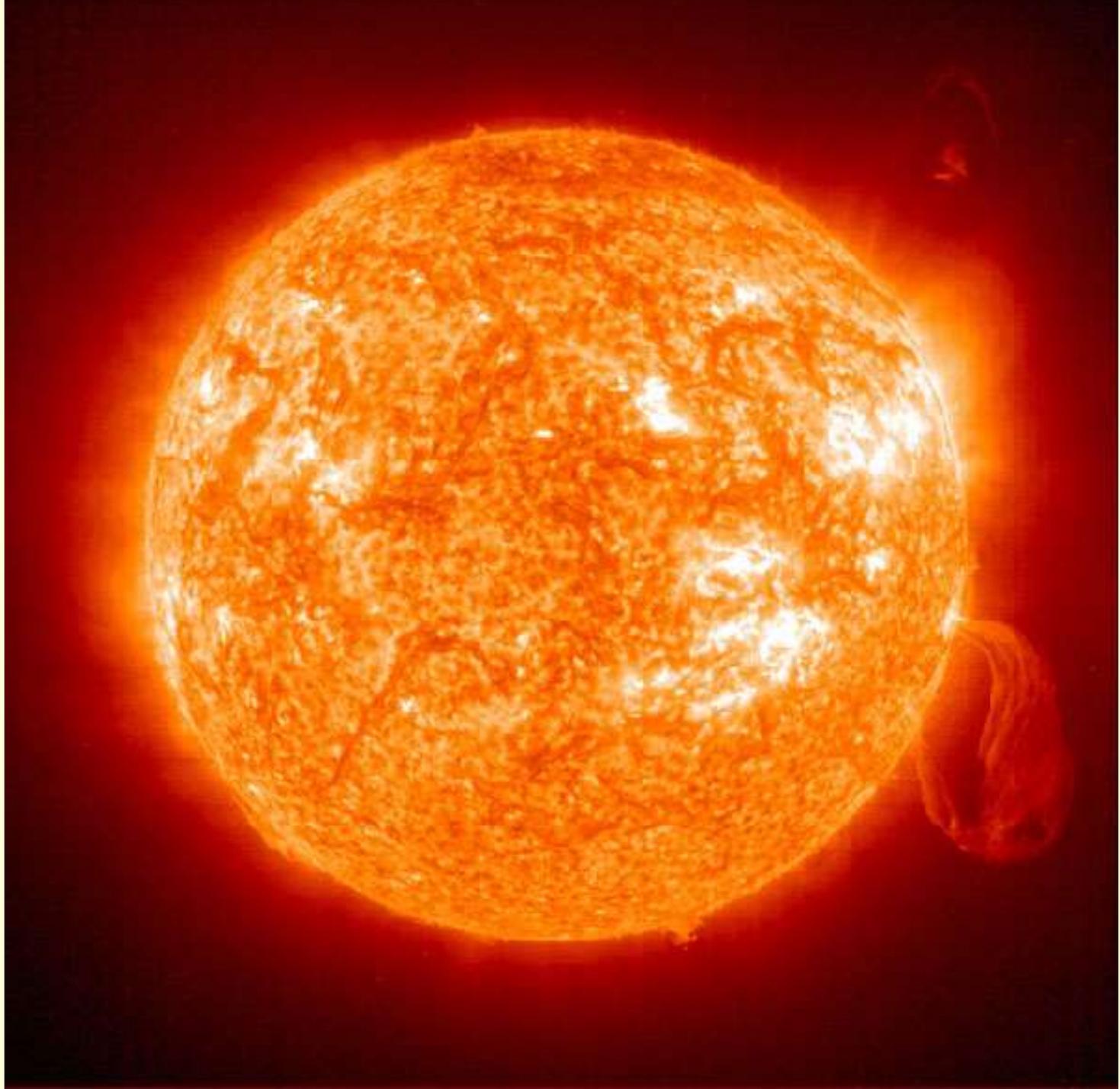
# Matter

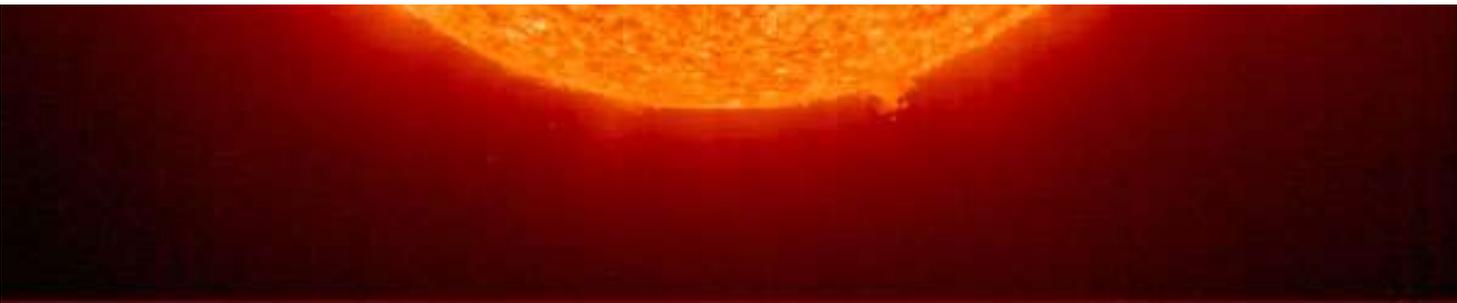
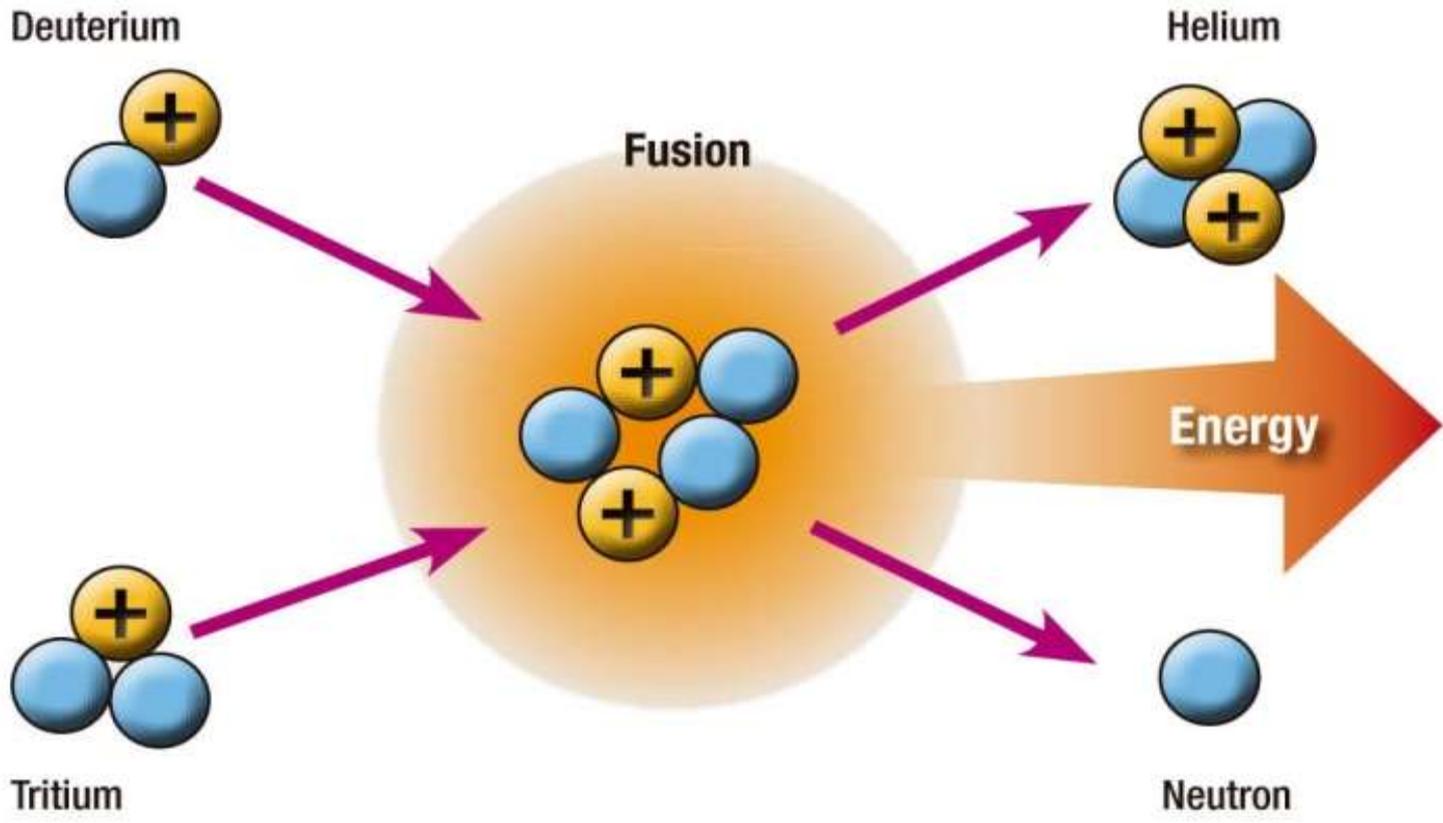


Neutron



1 quark up  
2 quarks down





Hydrogène

Deuterium

Helium

Fusion

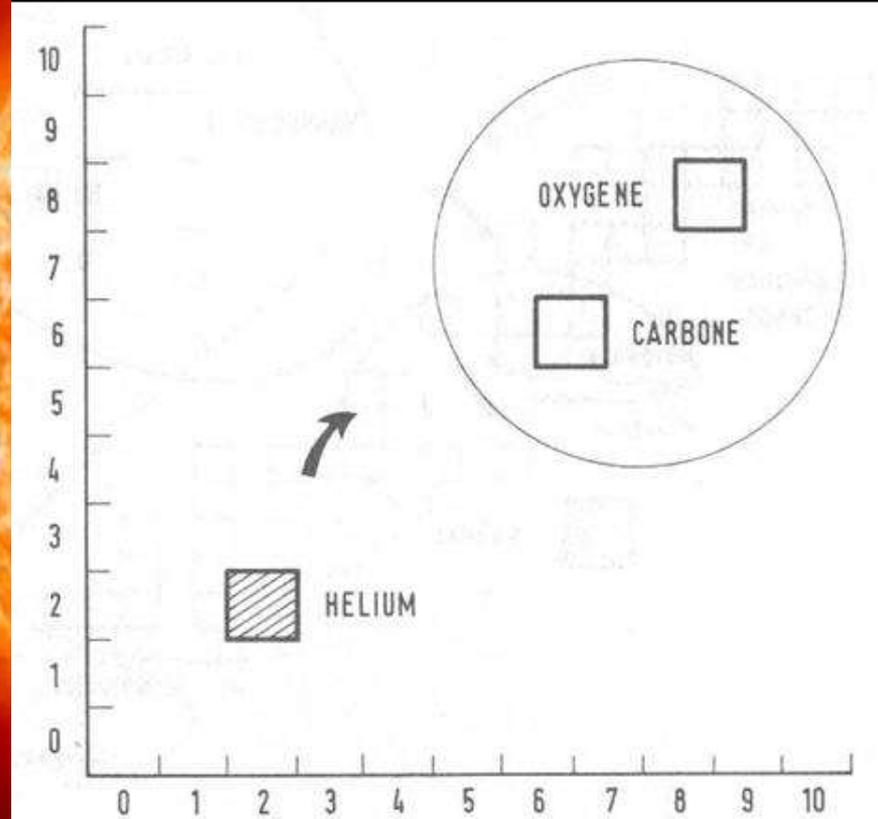
Energy

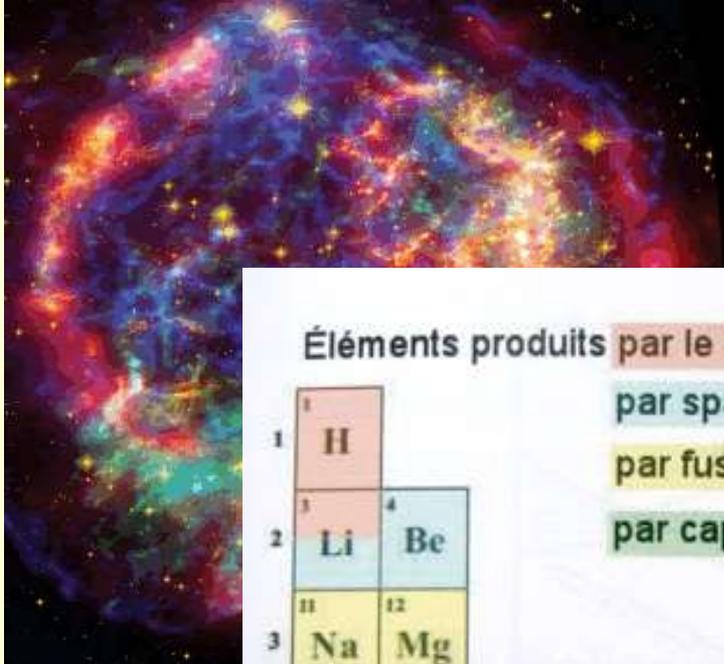
Hydrogène

Tritium

Neutron

# Combustion de l'hélium





# Elles s'éclatent pour vous!

Sans les étoiles mortes, vous ne seriez pas là.

Éléments produits par le Big Bang

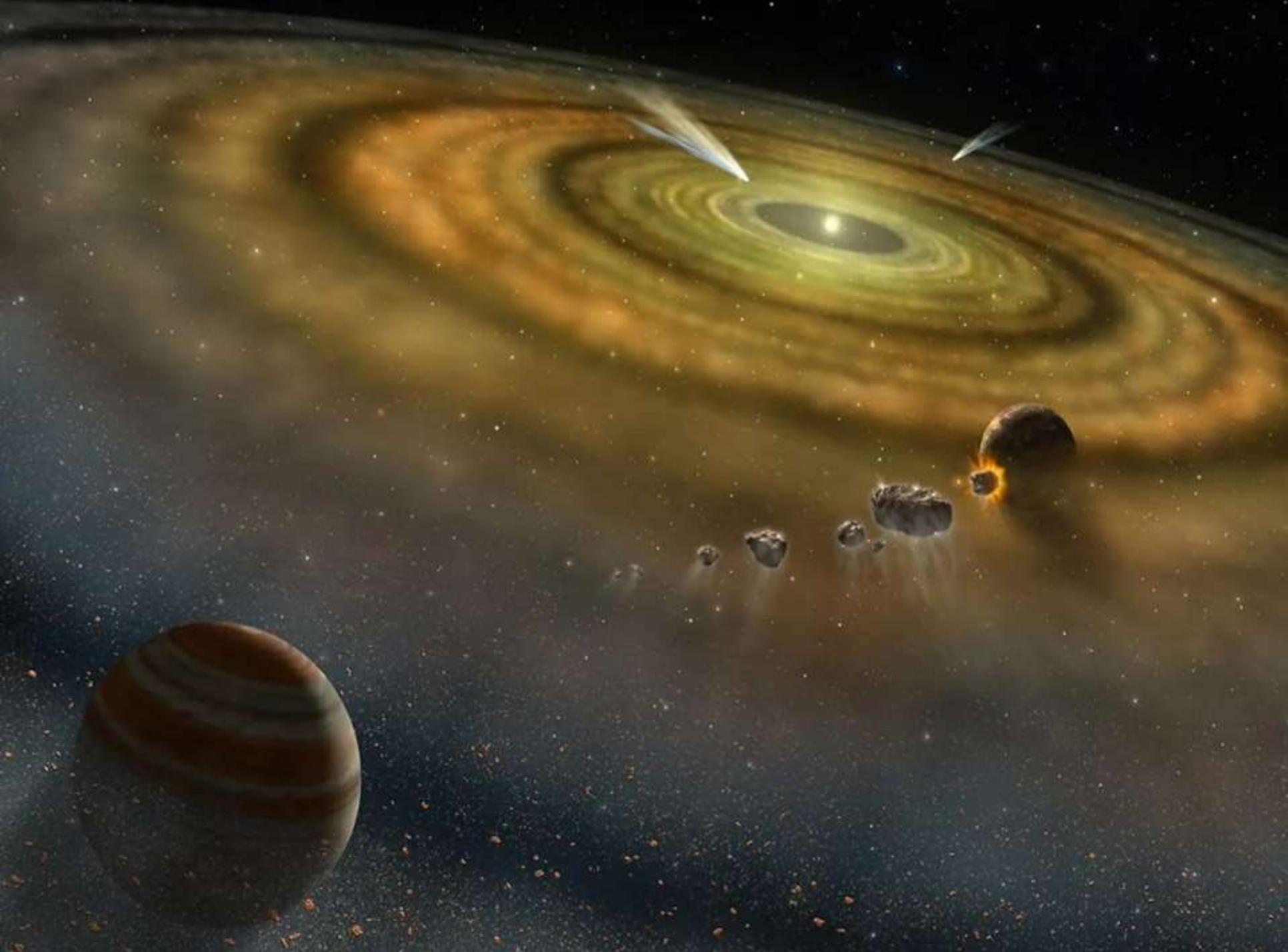
1	par spallation																2													
1	par fusion et réactions d'accompagnement																2													
1	par capture de neutrons																2													
1	H																	2	He											
2	Li	Be																	5	B	6	C	7	N	8	O	9	F	10	Ne
3	Na	Mg																	13	Al	14	Si	15	P	16	S	17	Cl	18	Ar
4	K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr												
5	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe												
6	Cs	Ba	La-Lu Lanthanides	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn												
7	Fr	Ra	Ac-Lr Actinides																											

Lanthanides

6	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71
	La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu

Actinides

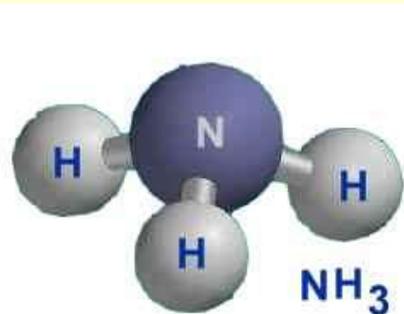
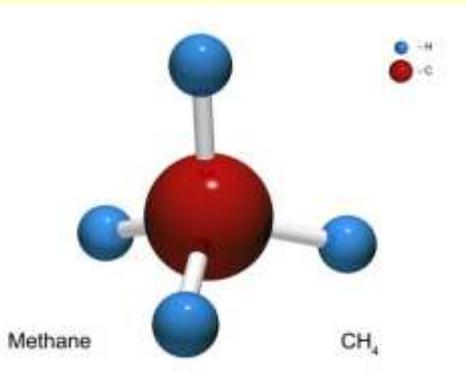
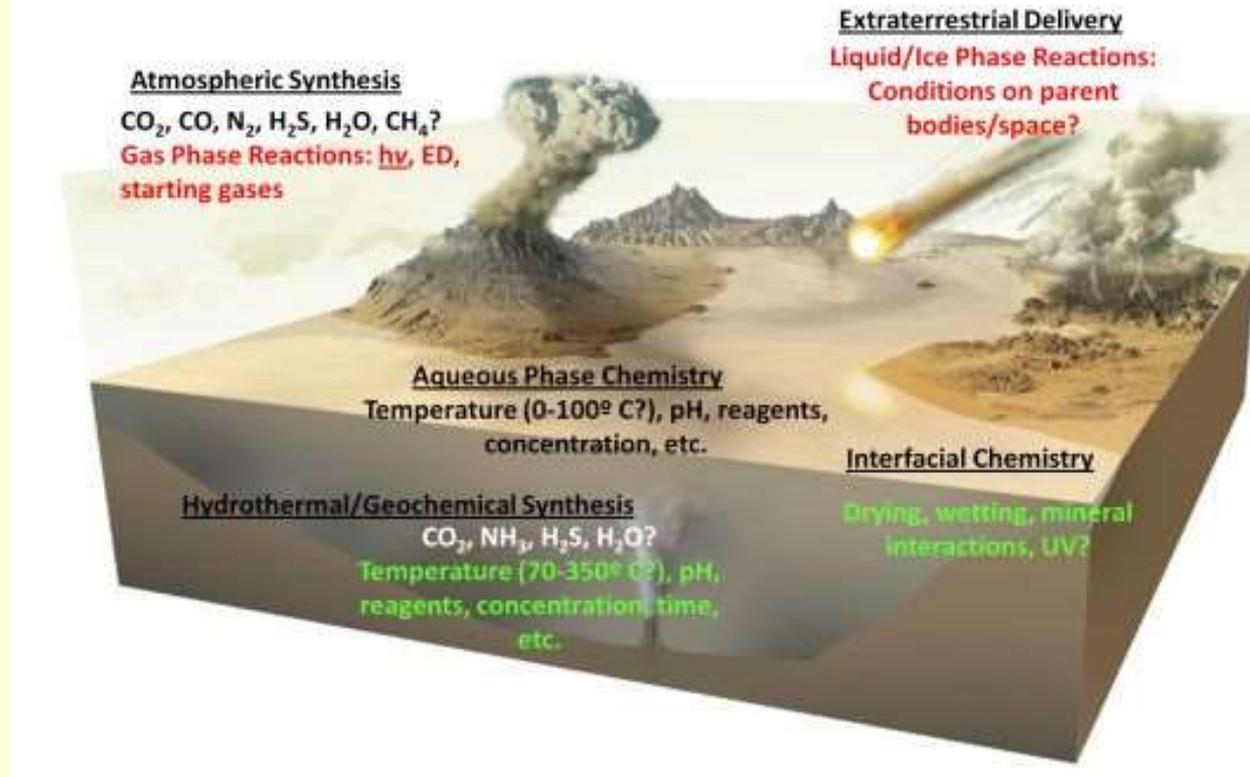
7	89	90	91	92
	Ac	Th	Pa	U





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

méthane ( $\text{CH}_4$ ),  
ammoniac ( $\text{NH}_3$ ),  
de vapeur d'eau ( $\text{H}_2\text{O}$ ),  
de dioxyde de carbone ( $\text{CO}_2$ ) et de sulfure d'hydrogène ( $\text{H}_2\text{S}$ ).



# Plan de la séance

**Introduction** : Cours de biologie 101 plate comme on en a tous eus !  
(une base commune de ce qu'il y a à comprendre...  
sans donner les bons outils pour le faire)

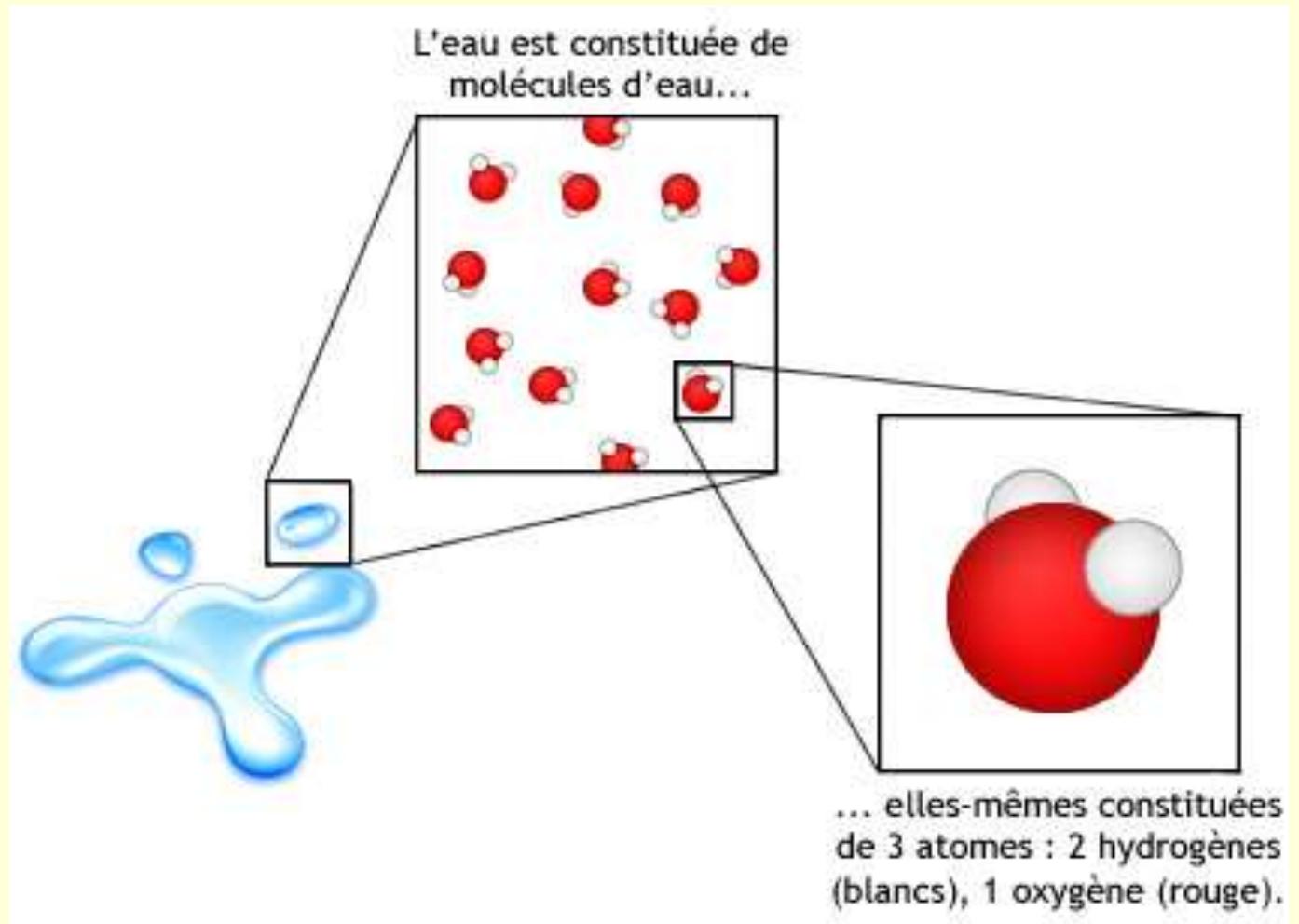
Toujours avoir une **perspective évolutive**

Le vivant est fait de multiples **niveaux d'organisation**  
dont il doit **maintenir la structure**

L'évolution **cosmique** : « Nous sommes faits de poussières d'étoiles »

L'évolution **chimique** : Des molécules de plus en plus complexes

## Molécule :

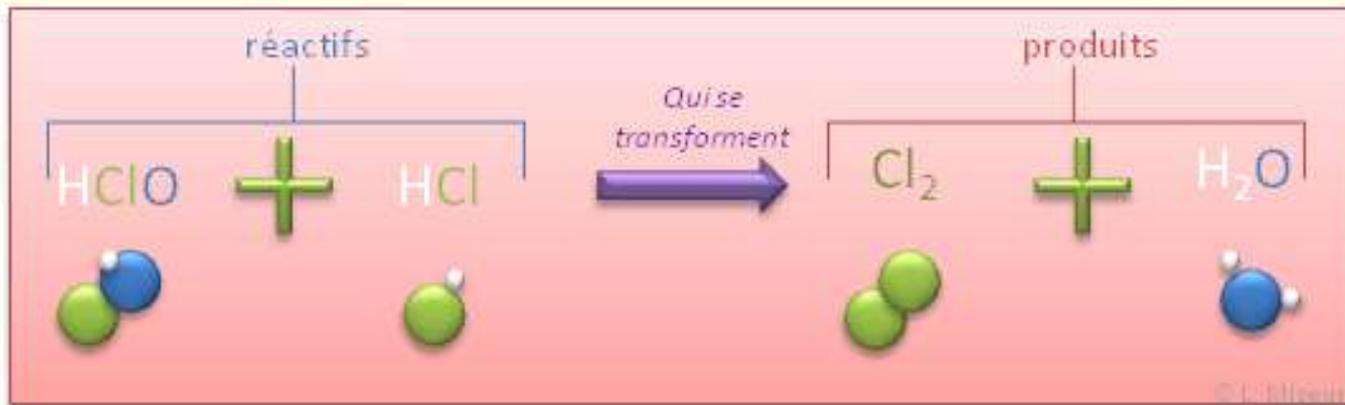


## Molécule :

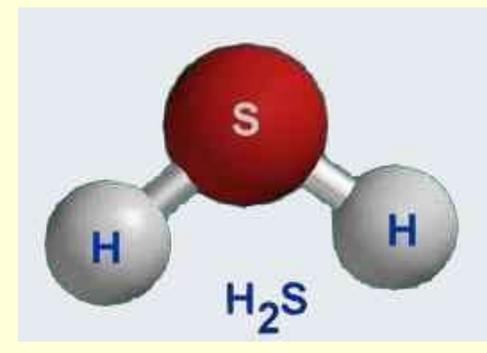
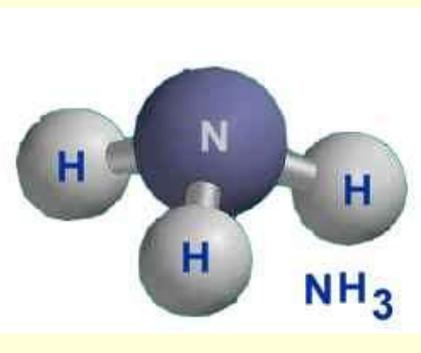
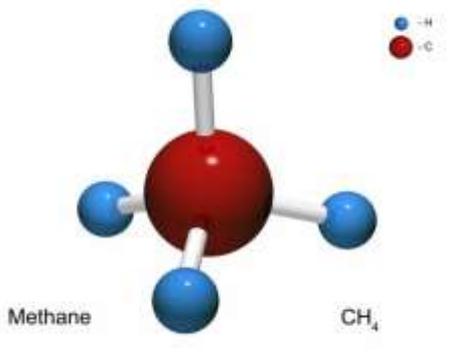
Les molécules constituent des **agrégats atomiques** liés par des liaisons dites « covalentes » d'au moins deux atomes, différents ou non.

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

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



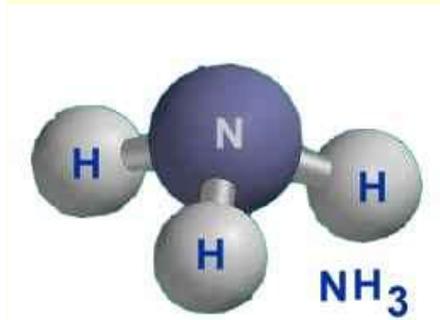
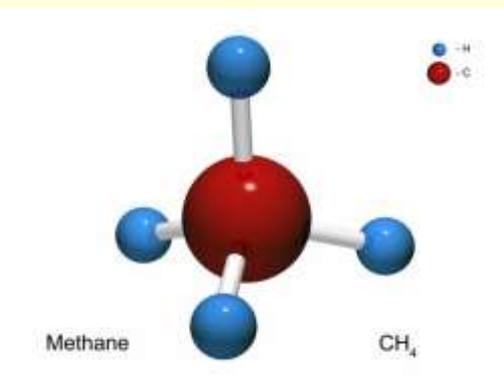
Les molécules ont de nouvelles propriétés « émergentes » par rapport aux atomes...



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



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** ».

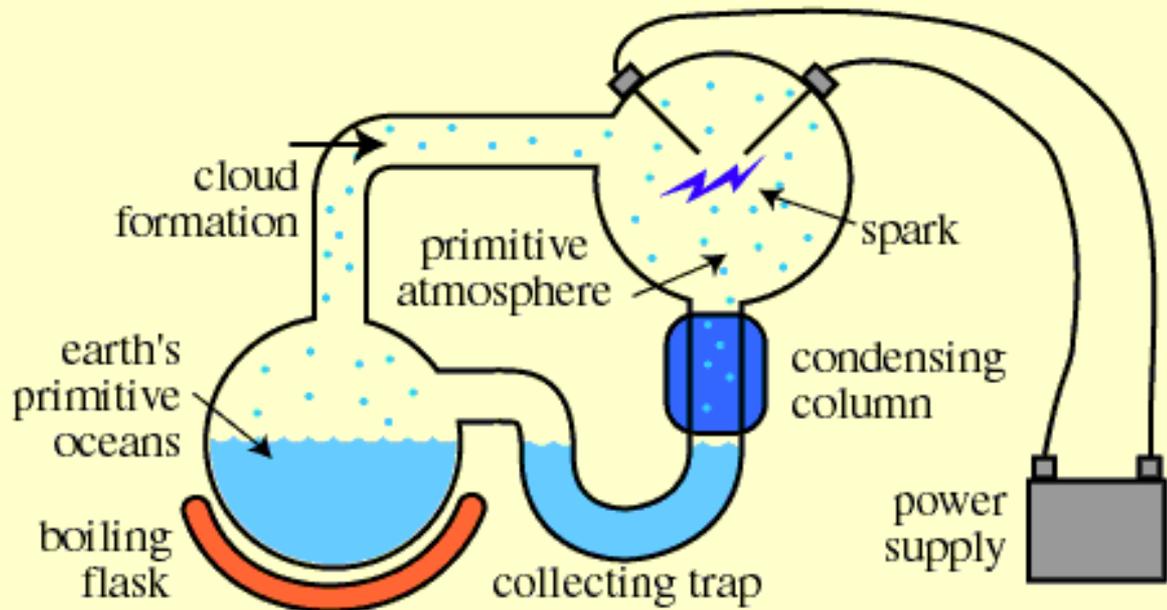


atmosphère et "soupe" primitive

**1953, Miller et Urey :**

confirment cette hypothèse par une célèbre expérience in vitro où des **molécules organiques** apparaissent

(**acides aminés**, etc.)

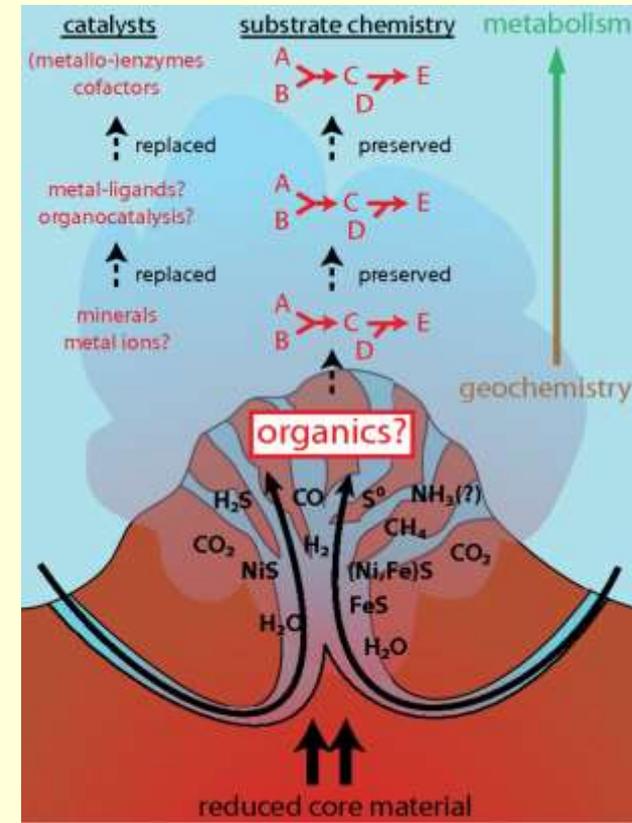


# 'Lost City' seabed rocks hold clues to Earth's first amino acids

<https://www.chemistryworld.com/news/evidence-emerges-from-the-deep-of-earths-first-amino-acids-/3009746.article>

14 November 2018

Bénédicte Ménez at Paris Diderot University, France and her colleagues have identified the **amino acid tryptophan** – and other organic molecules – preserved in rock samples taken from almost 175m below the mid-Atlantic ocean floor at the Lost City hydrothermal field.



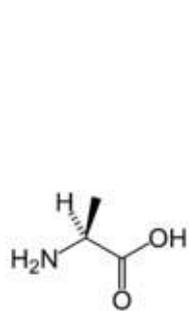
**Abiotic synthesis of amino acids in the recesses of the oceanic lithosphere**

<https://www.nature.com/articles/s41586-018-0684-z>

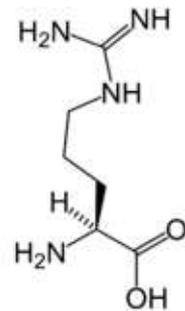
Bénédicte Ménez, et al. *Nature*, volume 564,

pages 59–63 (2018)

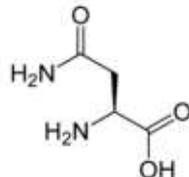
D'une façon ou d'une autre apparaissent bientôt sur la Terre plusieurs **molécules plus complexe** telles que les **acides aminés**.



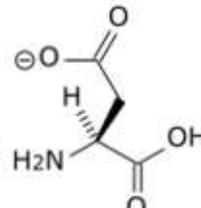
L-Alanine



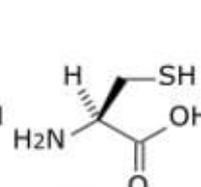
L-Arginine



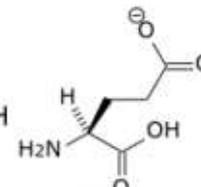
L-Asparagine



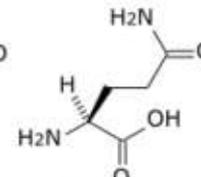
L-Aspartate



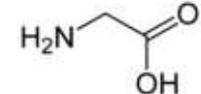
L-Cystéine



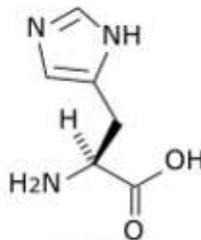
L-Glutamate



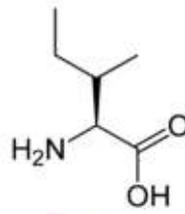
L-Glutamine



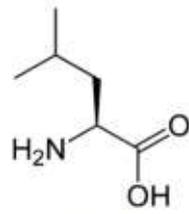
Glycine



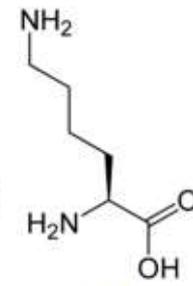
L-Histidine



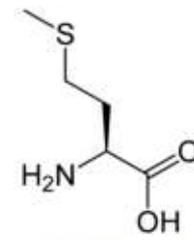
L-Isoleucine



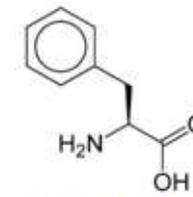
L-Leucine



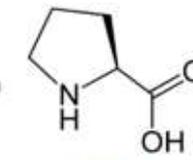
L-Lysine



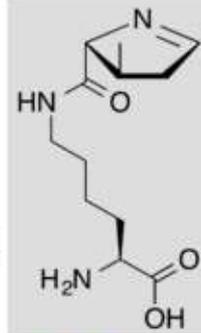
L-Méthionine



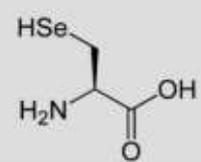
L-Phénylalanine



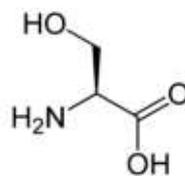
L-Proline



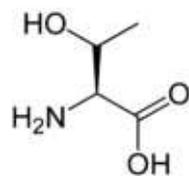
L-Pyrrolysine



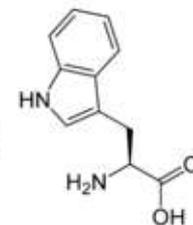
L-Sélocystéine



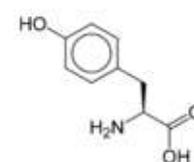
L-Sérine



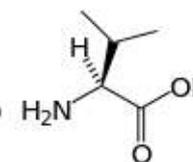
L-Thréonine



L-Tryptophane



L-Tyrosine



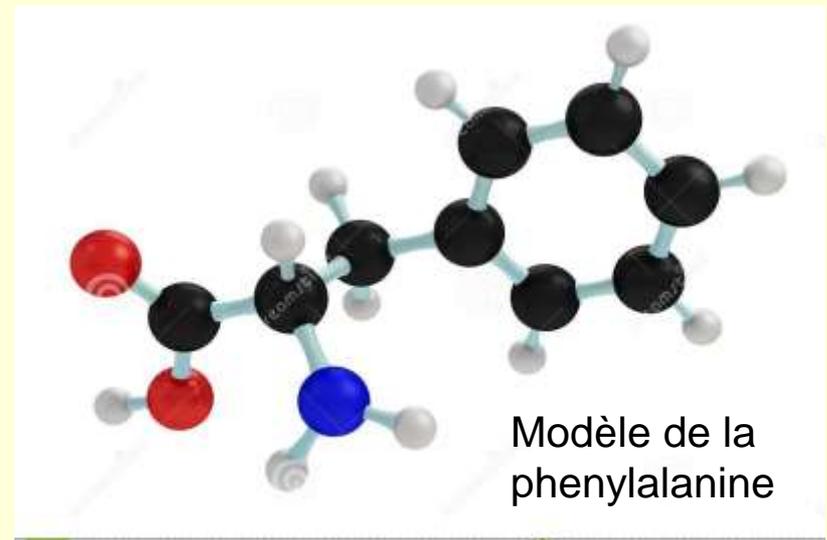
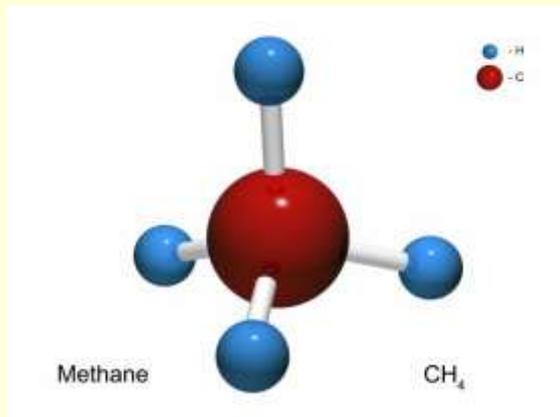
L-Valine

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.

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

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.



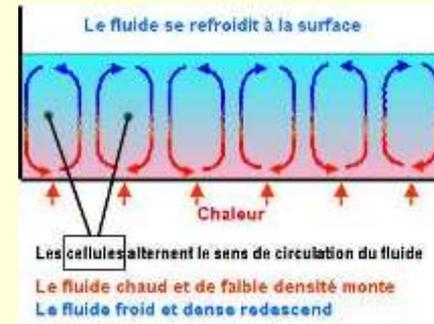
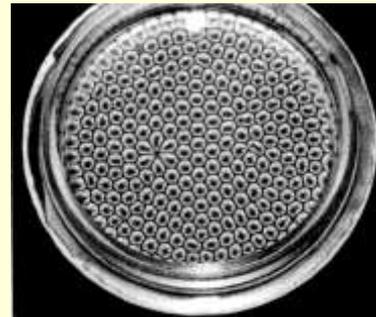
La notion d'**auto-organisation** permet de comprendre comment **de l'ordre peut apparaître spontanément au sein du désordre [...]**

et amener l'**émergence spontanée d'une structure**

(grâce aux propriétés et interactions de la matière explicables par des lois naturelles, et aucune autre « volonté » extérieure)

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...**

# Plan de la séance

**Introduction** : Cours de biologie 101 plate comme on en a tous eus !  
(une base commune de ce qu'il y a à comprendre...  
sans donner les bons outils pour le faire)

Toujours avoir une **perspective évolutive**

Le vivant est fait de multiples **niveaux d'organisation**  
dont il doit **maintenir la structure**

L'évolution **cosmique** : « Nous sommes faits de poussières d'étoiles »

L'évolution **chimique** : Des molécules de plus en plus complexes

L'évolution **biologique** : Qu'est-ce que la vie ?

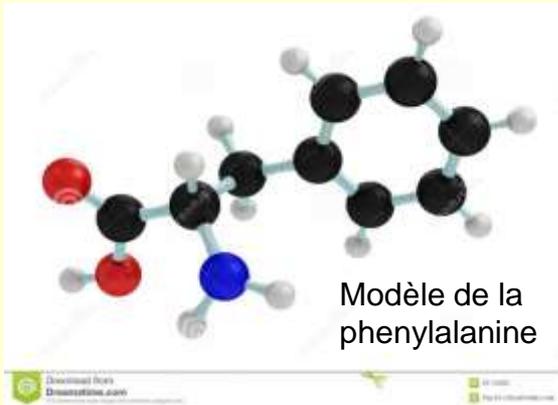
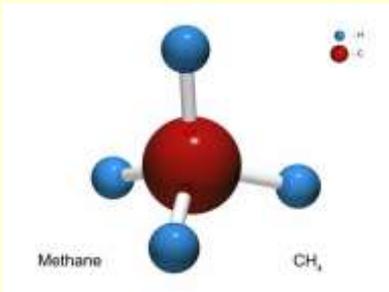
**Les définitions** de la vie sont souvent des listes de critères comprenant des éléments comme :

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

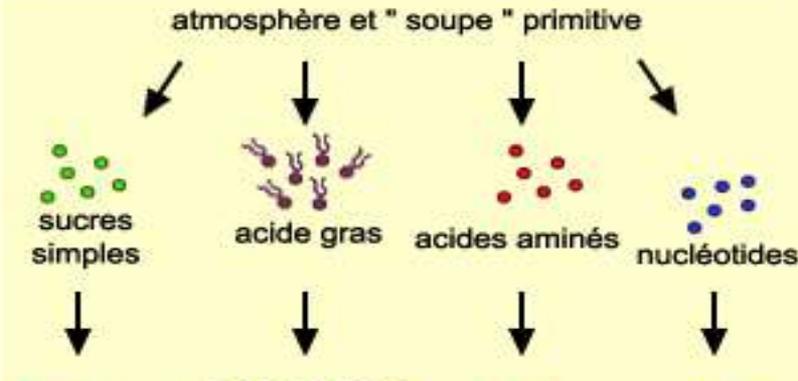
Le biologiste Radu Popa a listé plus de 300 définitions de la vie... dont aucune ne fait l'unanimité !



atmosphère et " soupe " primitive



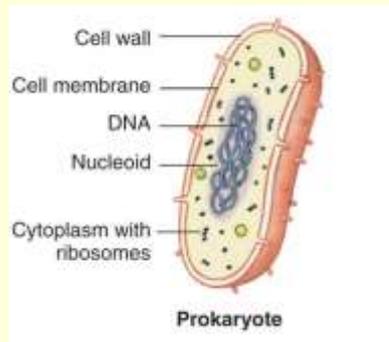
Non



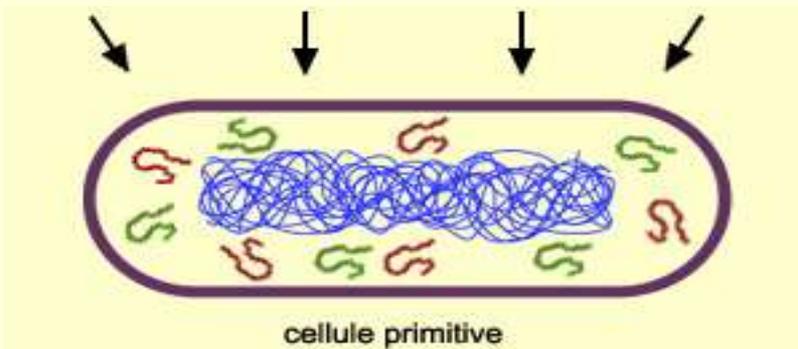
Qu'est-ce qui se passe entre les deux ?

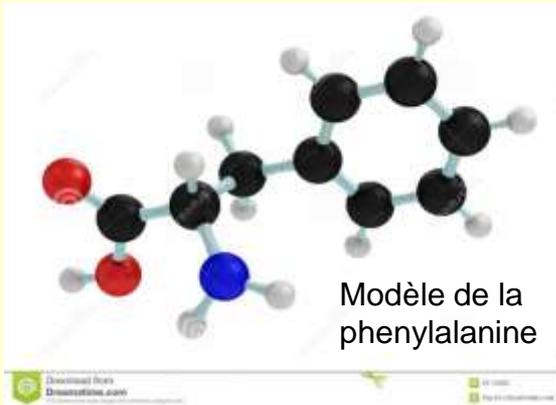
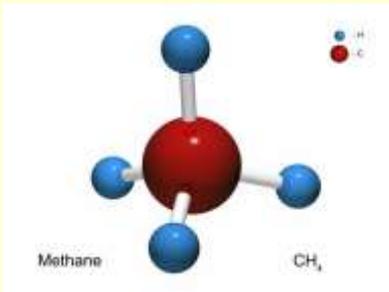
?

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



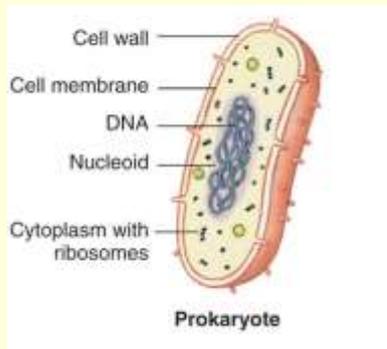
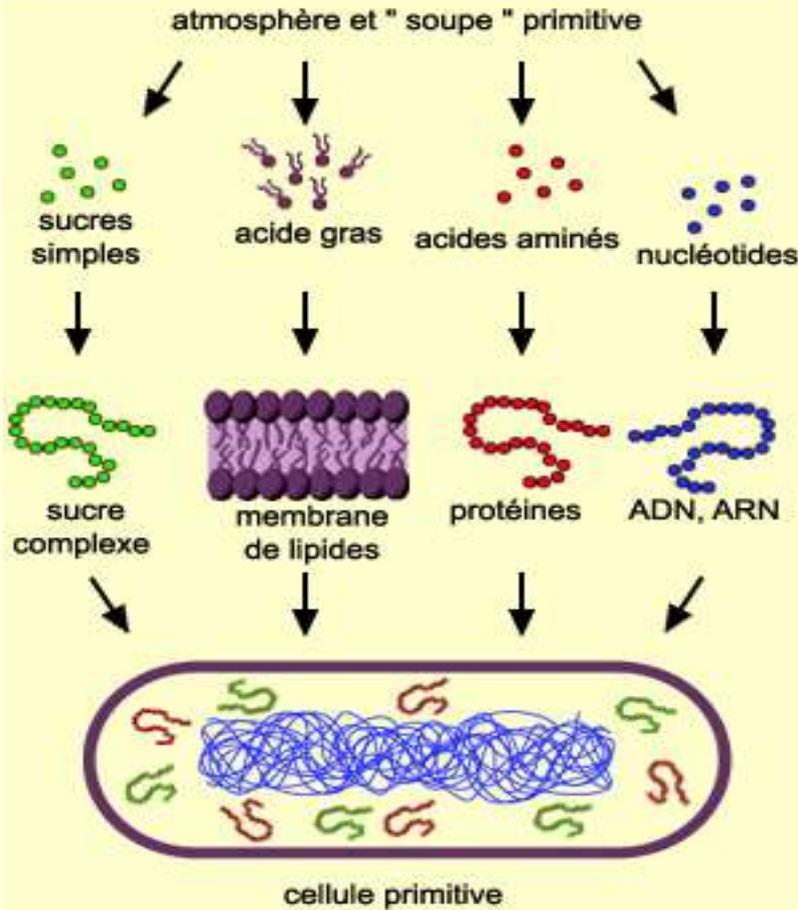
Oui





Non

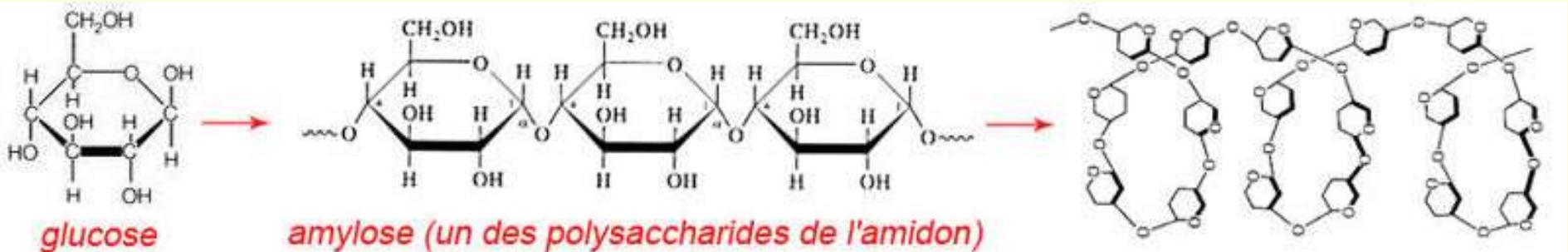
On va voir apparaître des « chaînes de molécules simples »



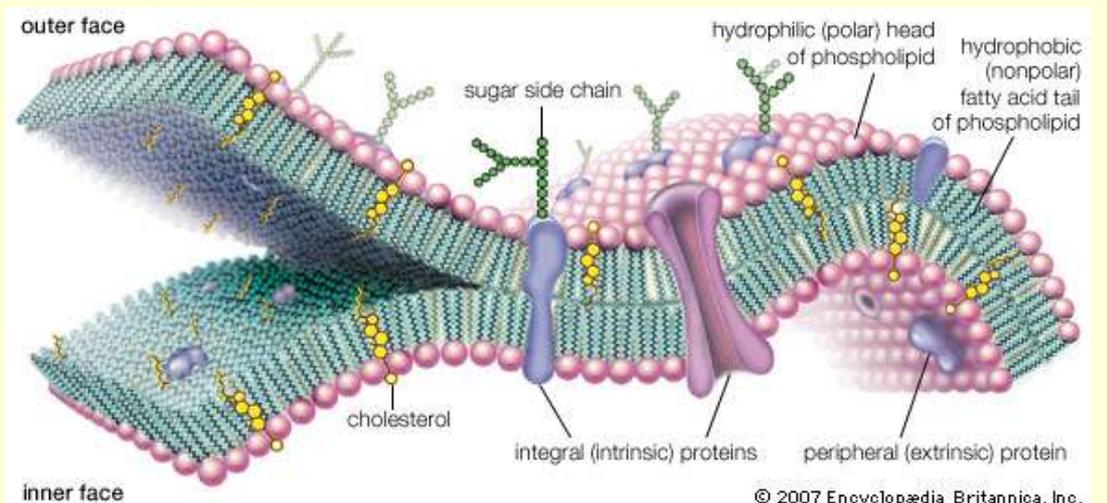
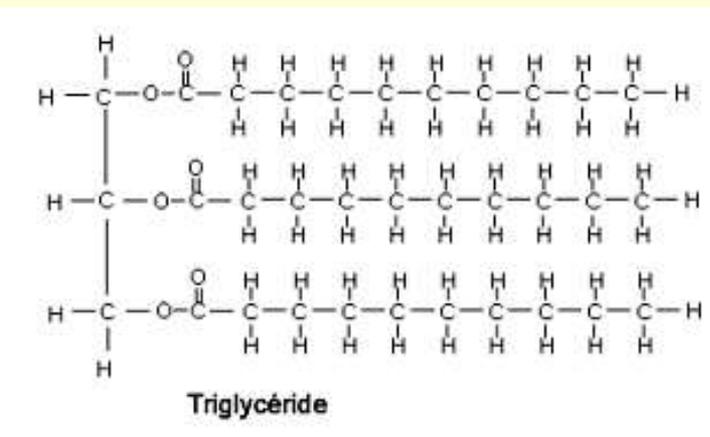
Oui

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 **bicouches lipidiques**

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

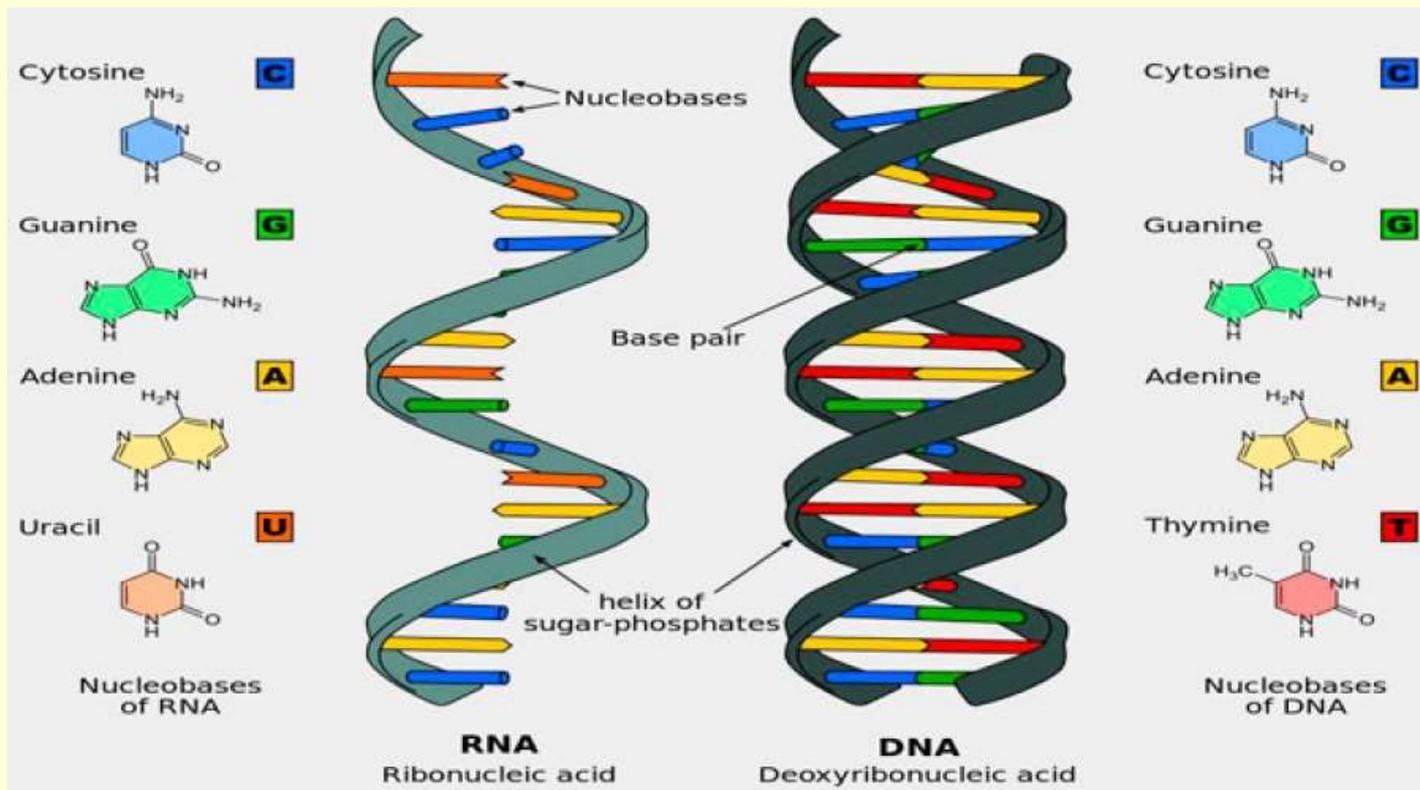


« Pas de membrane, pas de cellules.  
Pas de cellules, pas de neurones.  
Pas de neurones, pas de cerveaux.  
Pas de cerveaux, pas d'humains ! »

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**



**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

### **4e et dernière catégorie de molécules organiques qui forment des chaînes...**

Comment nos muscles se contractent ?

Comment notre système immunitaire nous défend ?

Comment notre rétine transforme de la lumière en influx nerveux ?

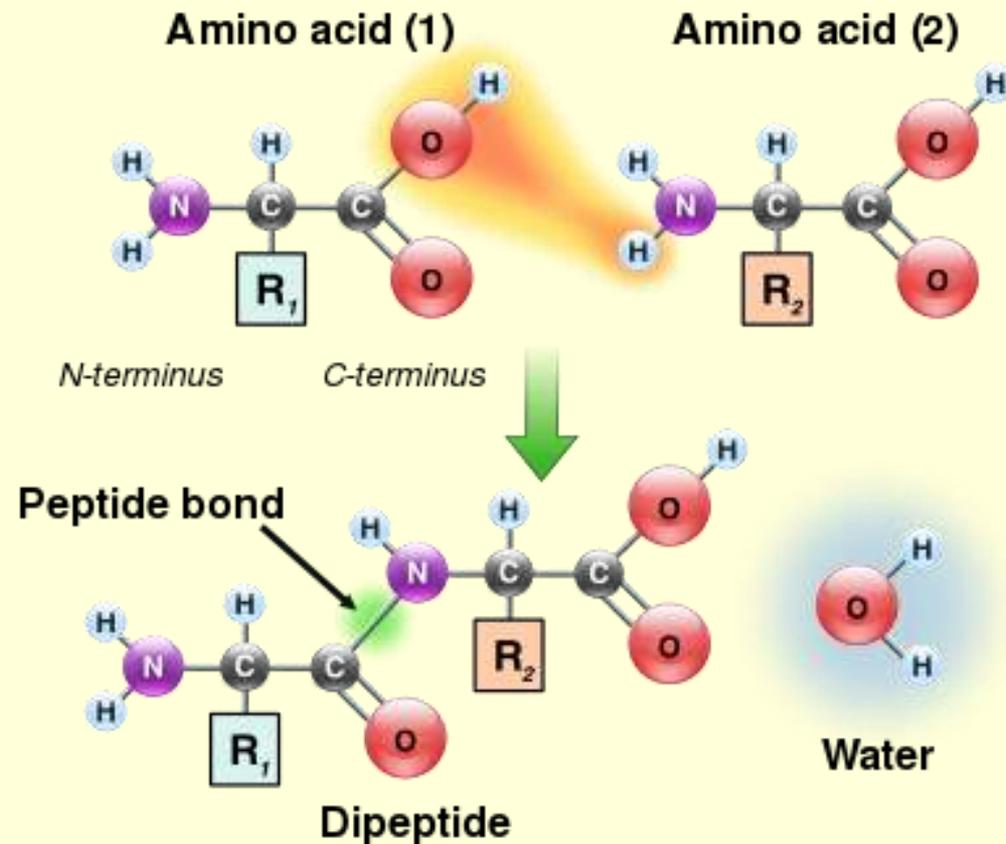
Comment les plantes convertissent cette lumière en énergie ?

Comment nos neurotransmetteurs permettent le passage de l'influx nerveux d'un neurone à l'autre ?

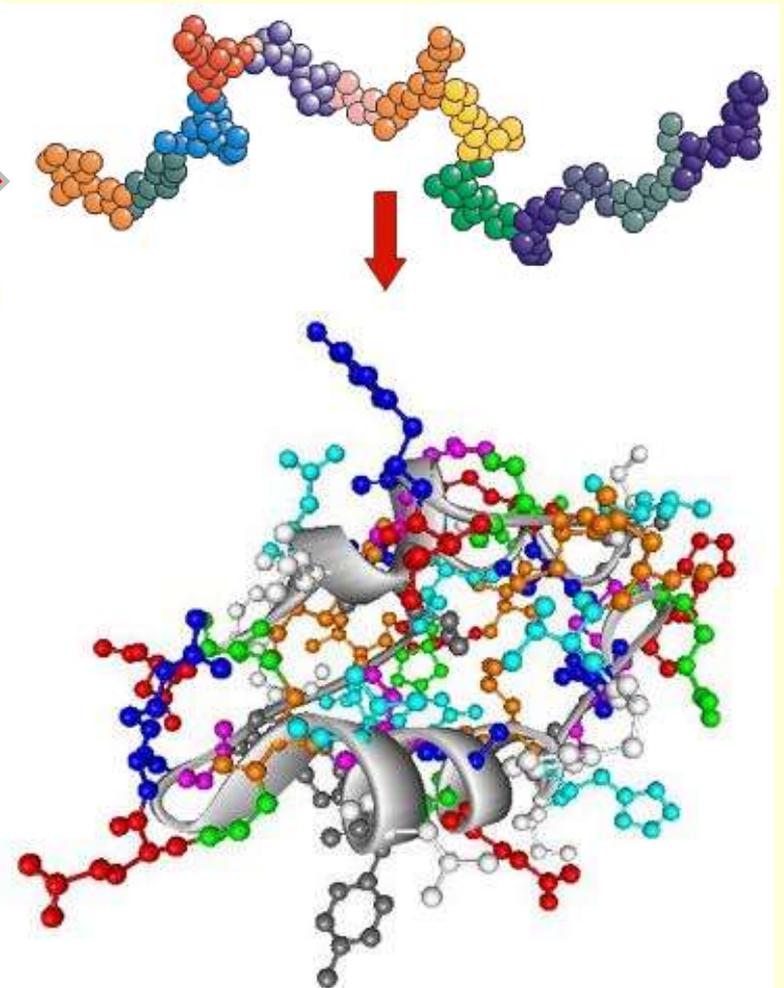
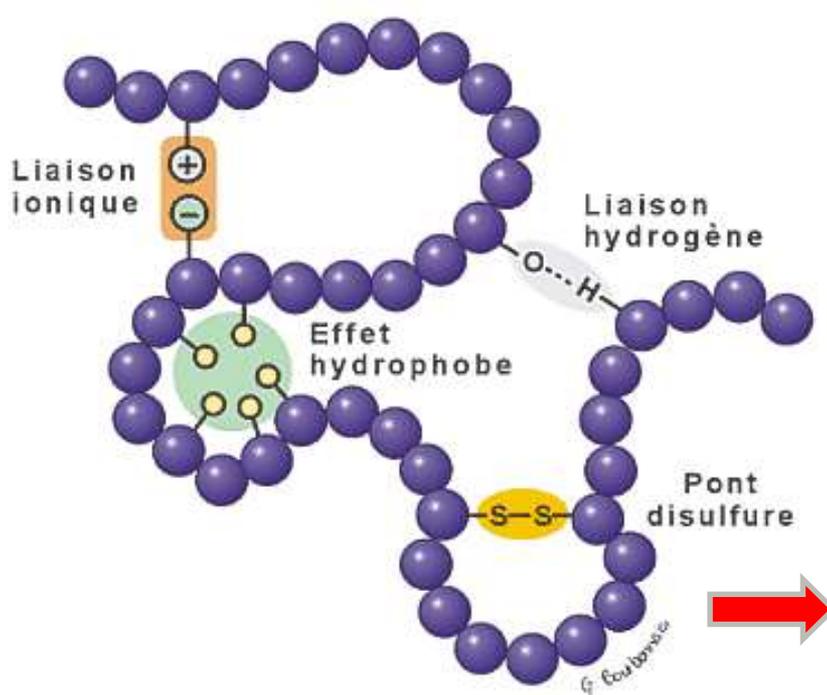
**Grâce à des protéines !**

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

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



Réaction chimique « balancée » !



→ 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

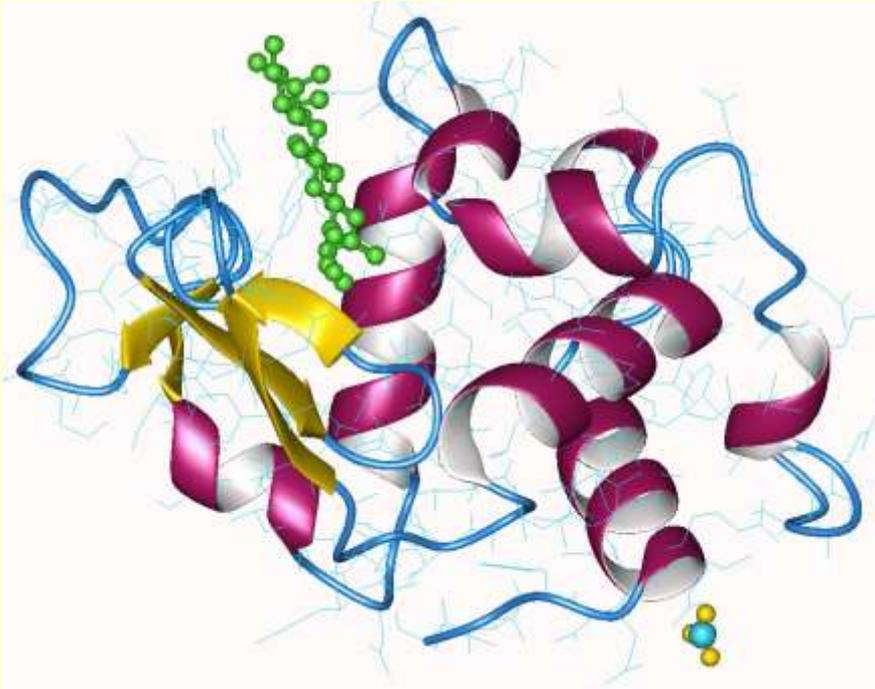
(la suite des « perles » dans le  
« collier de perles »).

# 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?

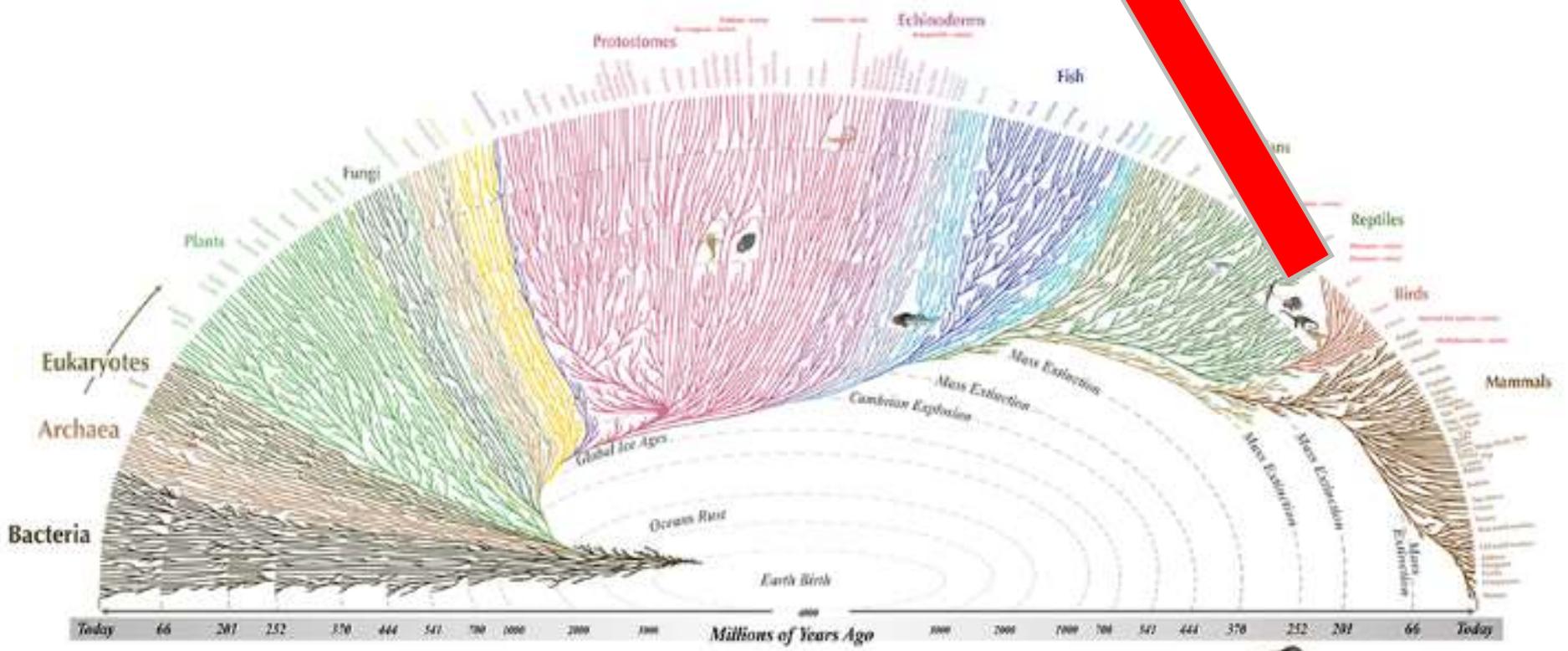
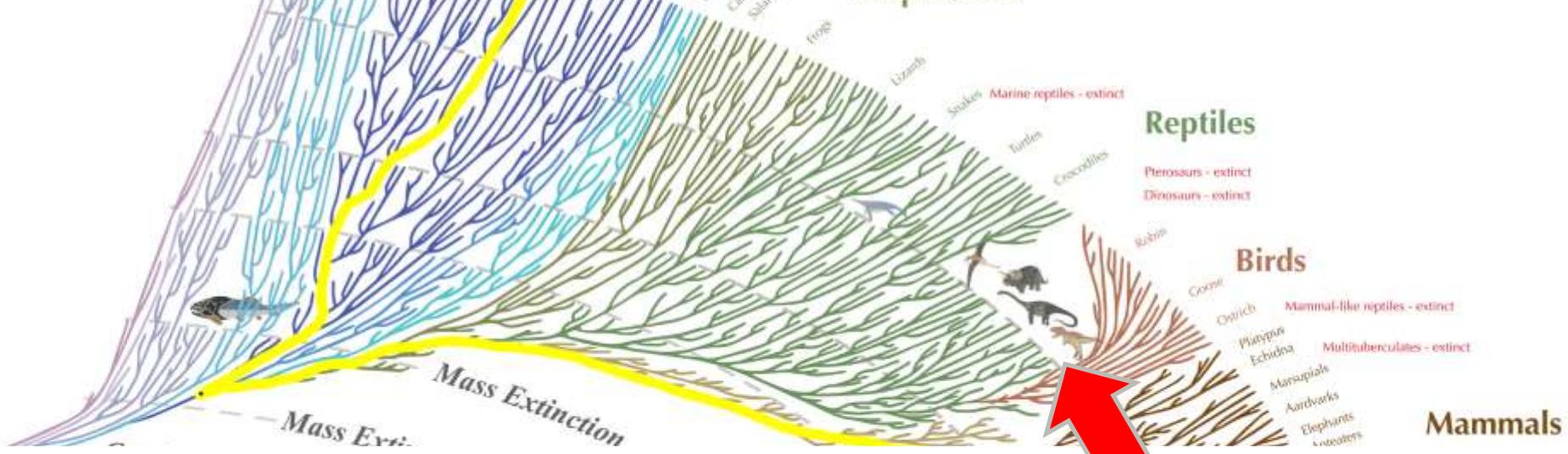
Comme il existe 20 acides aminés différents, cela donne  $20^{129}$ ,  
ou encore  $10^{168}$  (10 suivi par 168 zéros).

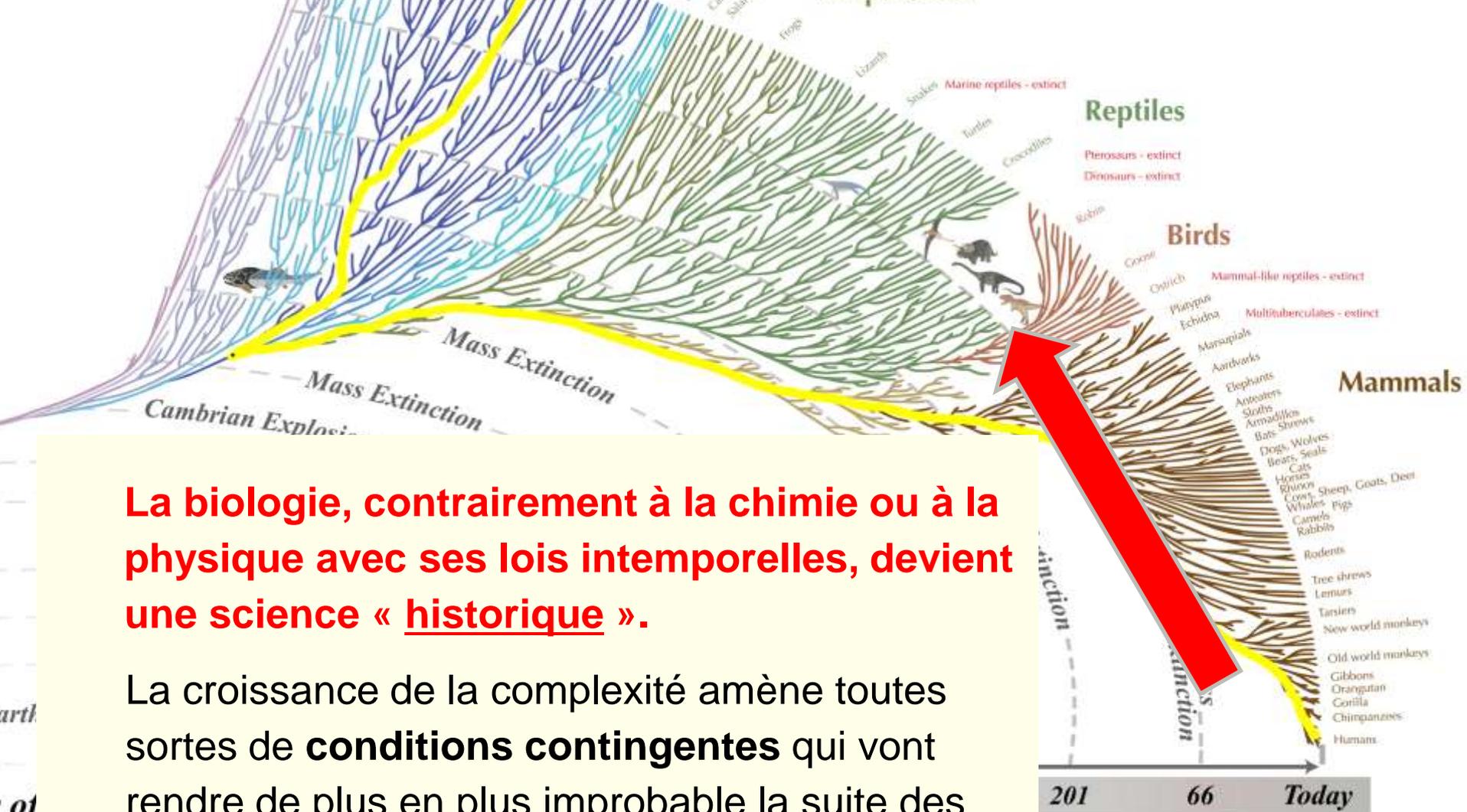
Donc rendu à ce niveau de complexité, il semble y avoir des événements « **accidentels** »

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...)



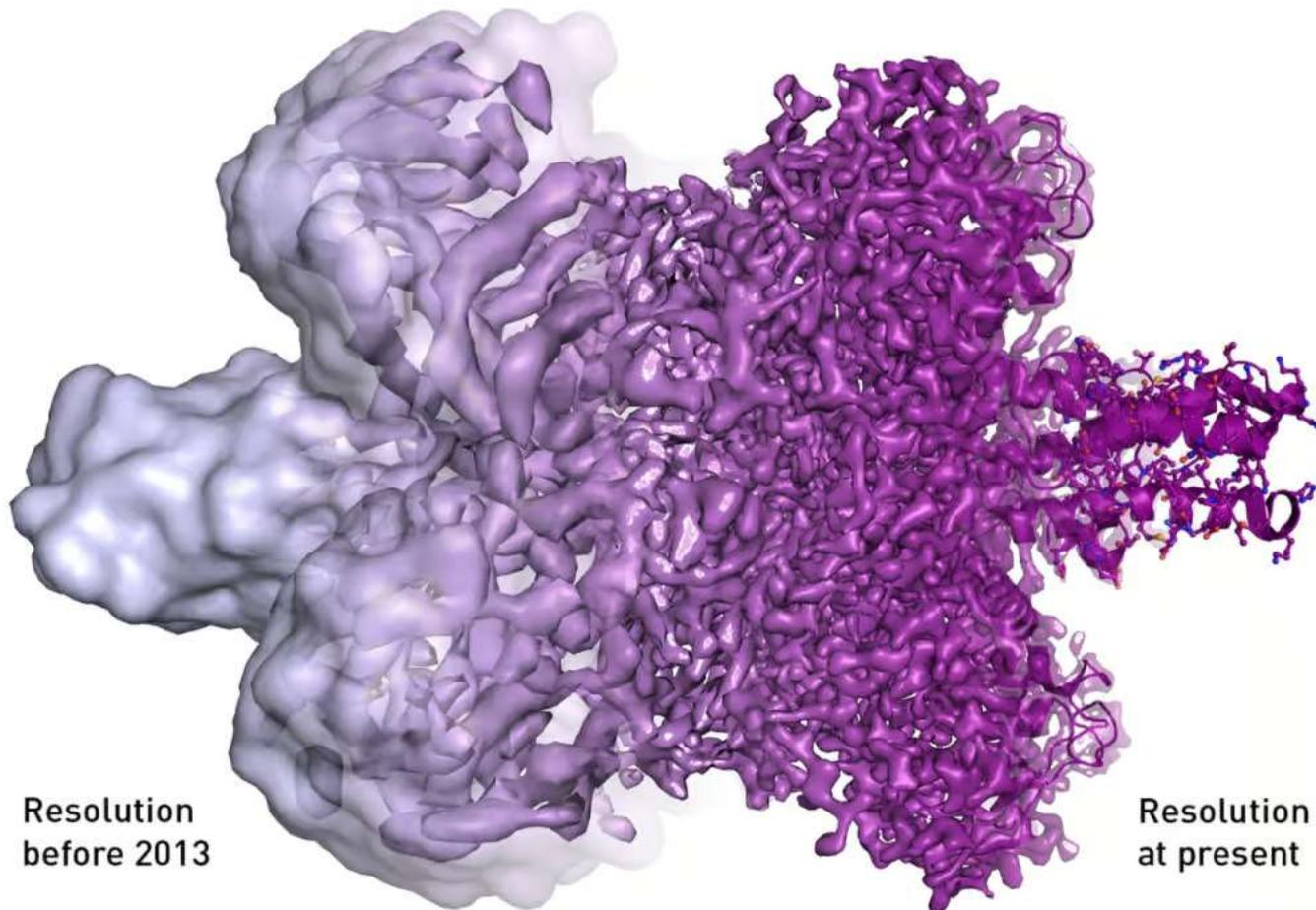


La biologie, contrairement à la chimie ou à la physique avec ses lois intemporelles, devient une science « historique ».

La croissance de la complexité amène toutes sortes de **conditions contingentes** qui vont rendre de plus en plus improbable la suite des choses.

Toutes sortes de petites **bifurcations** dues au hasard que l'on ne connaîtra sans doute jamais pour la plupart et qui vont faire en sorte qu'à partir de là plus rien n'est écrit d'avance.

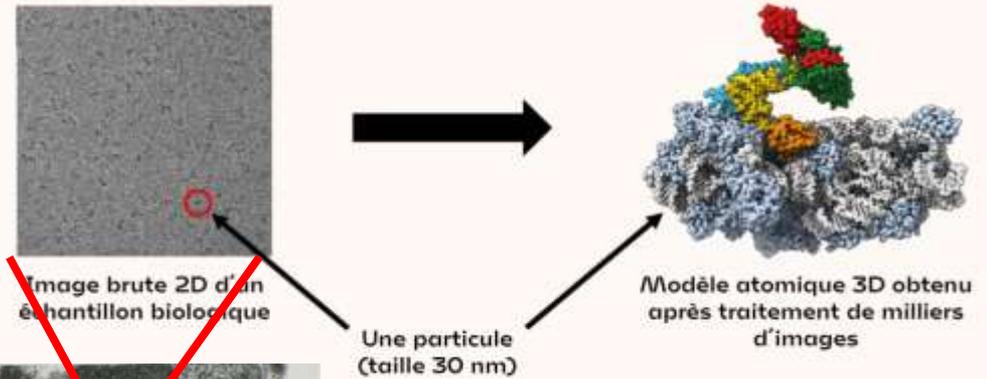
On peut donc dire que le **repliement des protéines est le fait de l'auto-organisation** (toujours sous contrôle thermodynamique) **ET** d'événements **contingents**.



La **cryo-microscopie électronique** permet de distinguer les détails les plus intimes de la structure moléculaire des **protéines**.

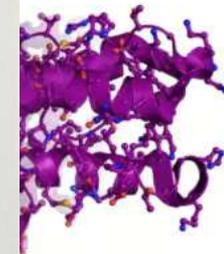
<https://www.futura-sciences.com/sciences/actualites/chimie-prix-nobel-chimie-2017-cryo-microscopie-electronique-68814/>

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



<https://www.insights.com/dossiers/sante-et-biotech/biomolecules-trois-techniques-de-cryo-microscopie-electronique-la-revolution-de-la-resolution/>  
<https://scholar.org/paper/La-cryo-microscopie%2C-une-alternative-%C3%A0-la-269f8a1d04aac70b771b12b65091a9d0f4b2>

La **cryo-microscopie électronique** permet de distinguer les détails les plus intimes de la structure moléculaire des **protéines.**



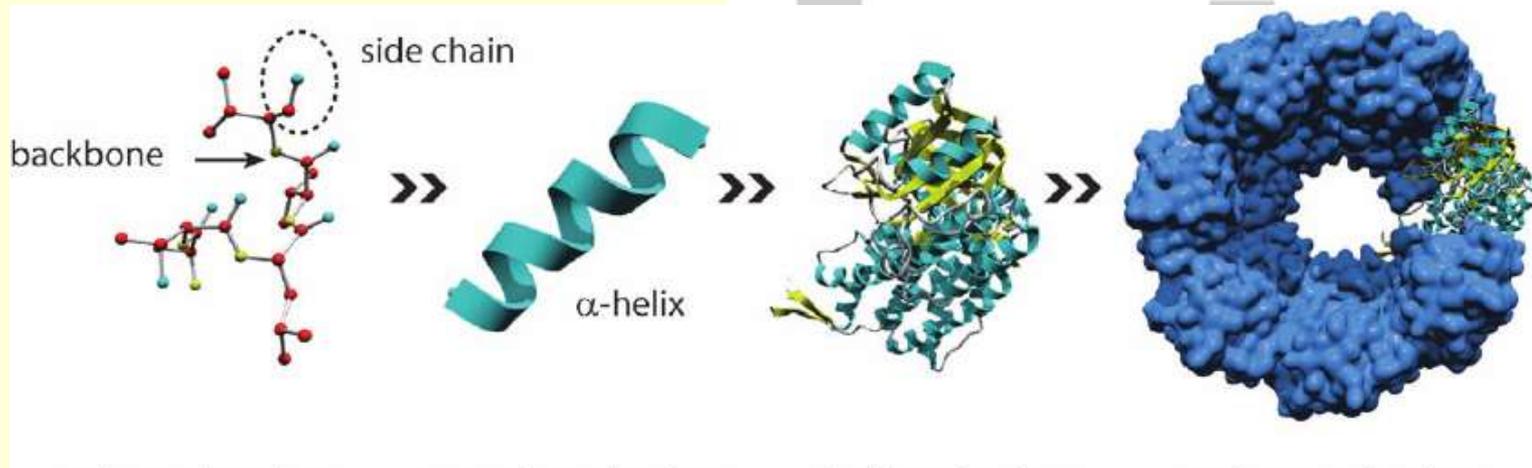
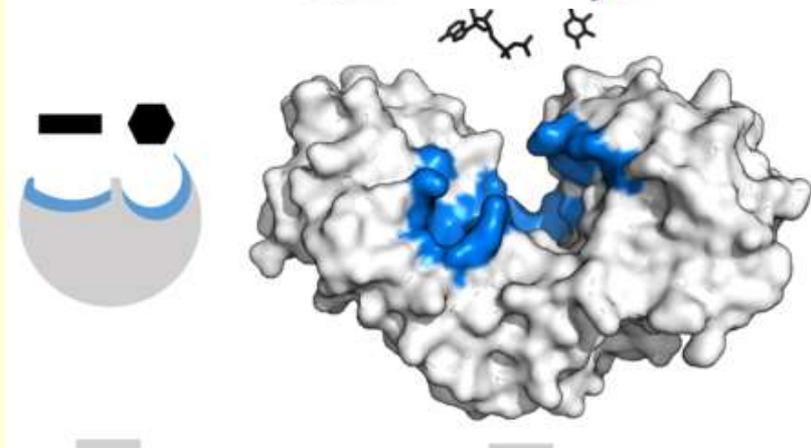
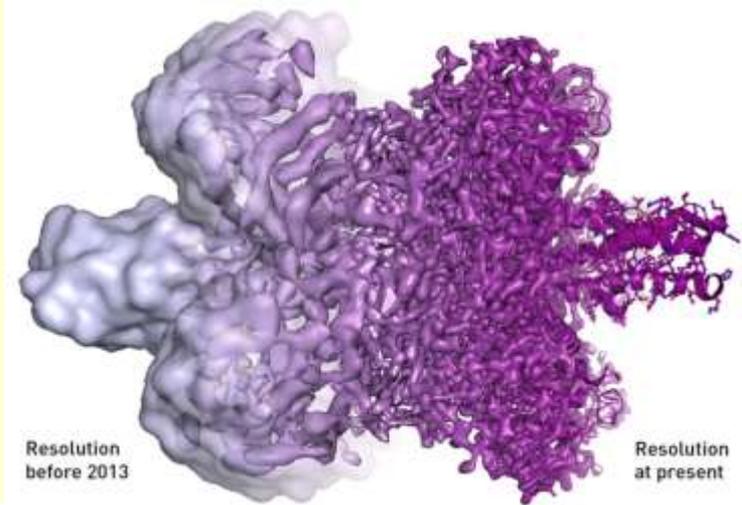
Resolution  
at present

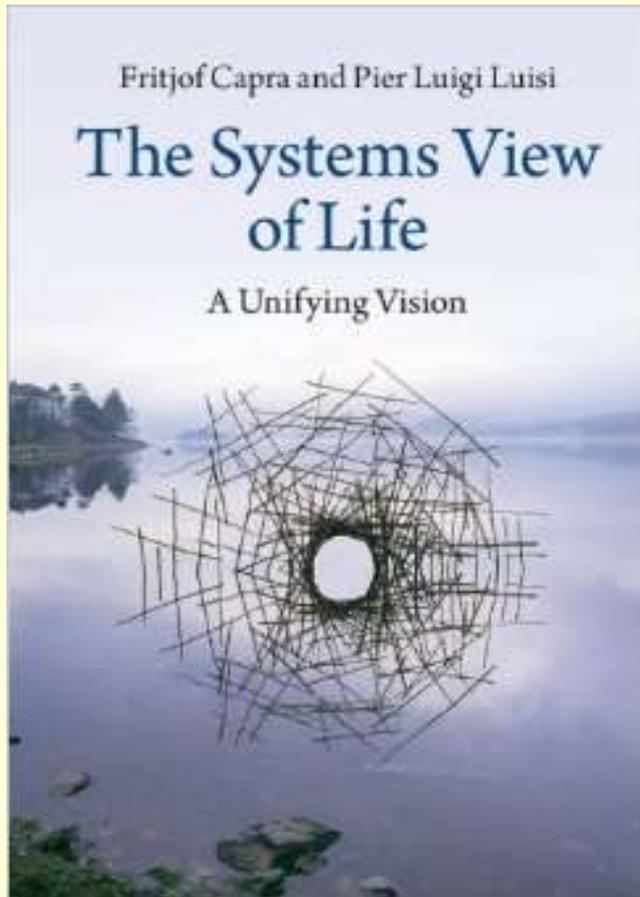
<https://www.futura-sciences.com/sciences/actualites/chimie-prix-nobel-chimie-2017-cryo-microscopie-electronique-68814/>



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 ça va amener « **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...)





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**.

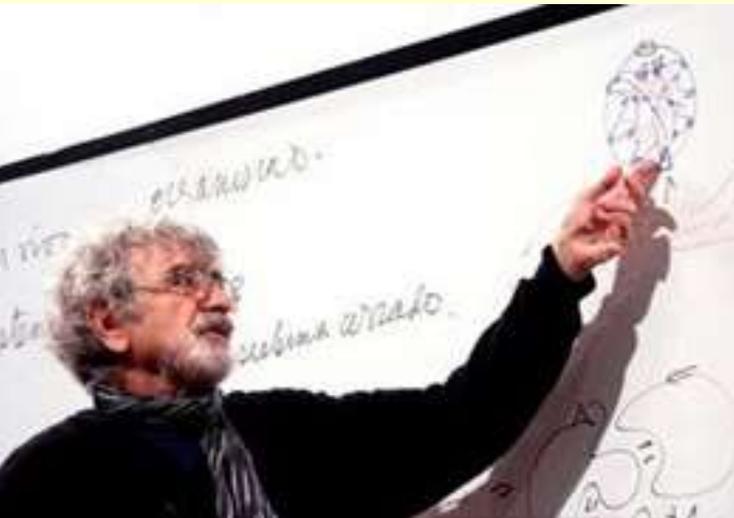
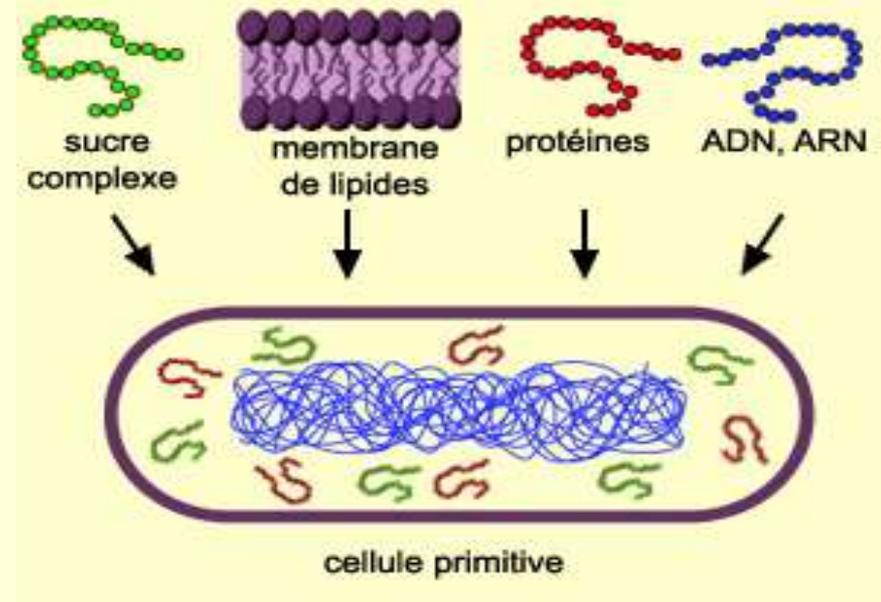
Et ça va devenir fondamental avec les premières **cellules vivantes**...

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

une notion très utile est celle **d'autopoïèse**,

élaborée par Humberto Maturana et Francisco Varela

dans les années 1970.

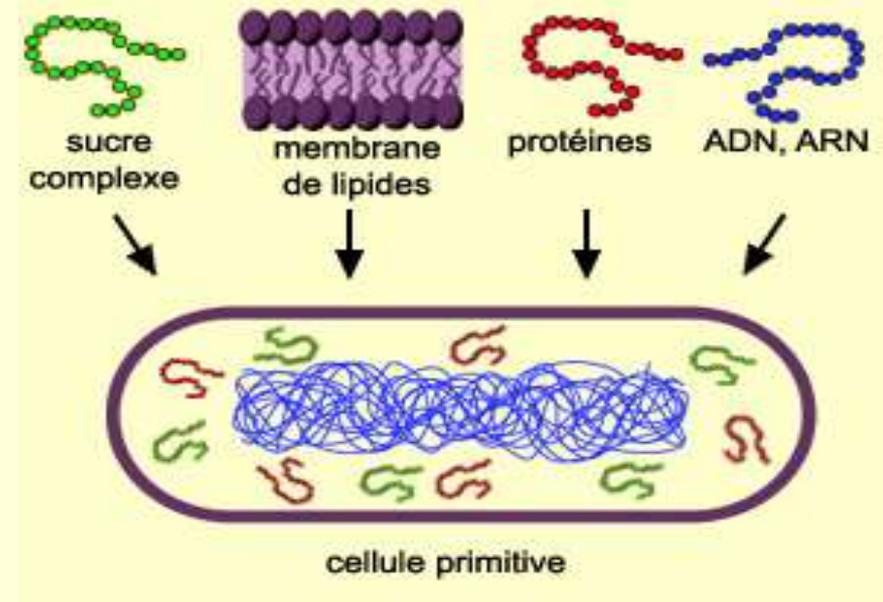


Pour comprendre ce qu'est une **cellule vivante**,

une notion très utile est celle **d'autopoïèse**,

élaborée par Humberto Maturana et Francisco Varela

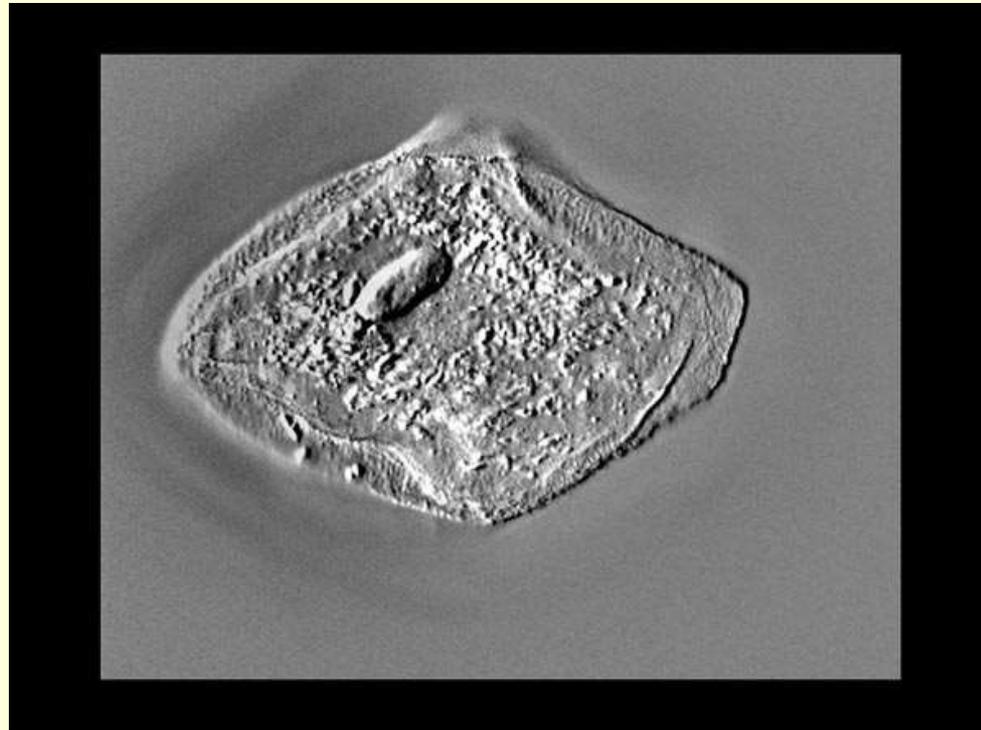
dans les années 1970.



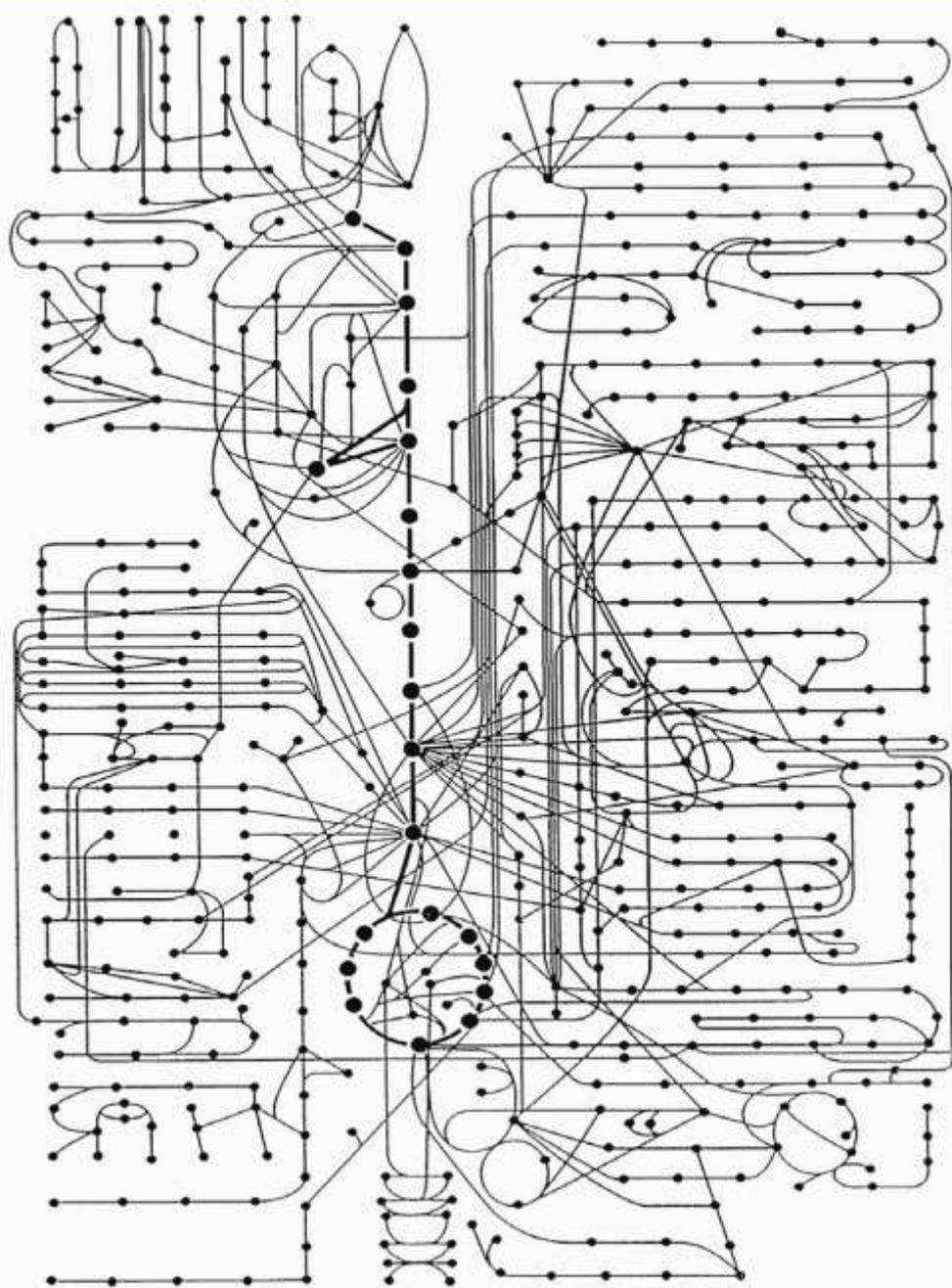
« Notre proposition est que les êtres vivants sont caractérisés par le fait que, littéralement, ils sont continuellement en train de **s'auto-produire**. »

- 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. »



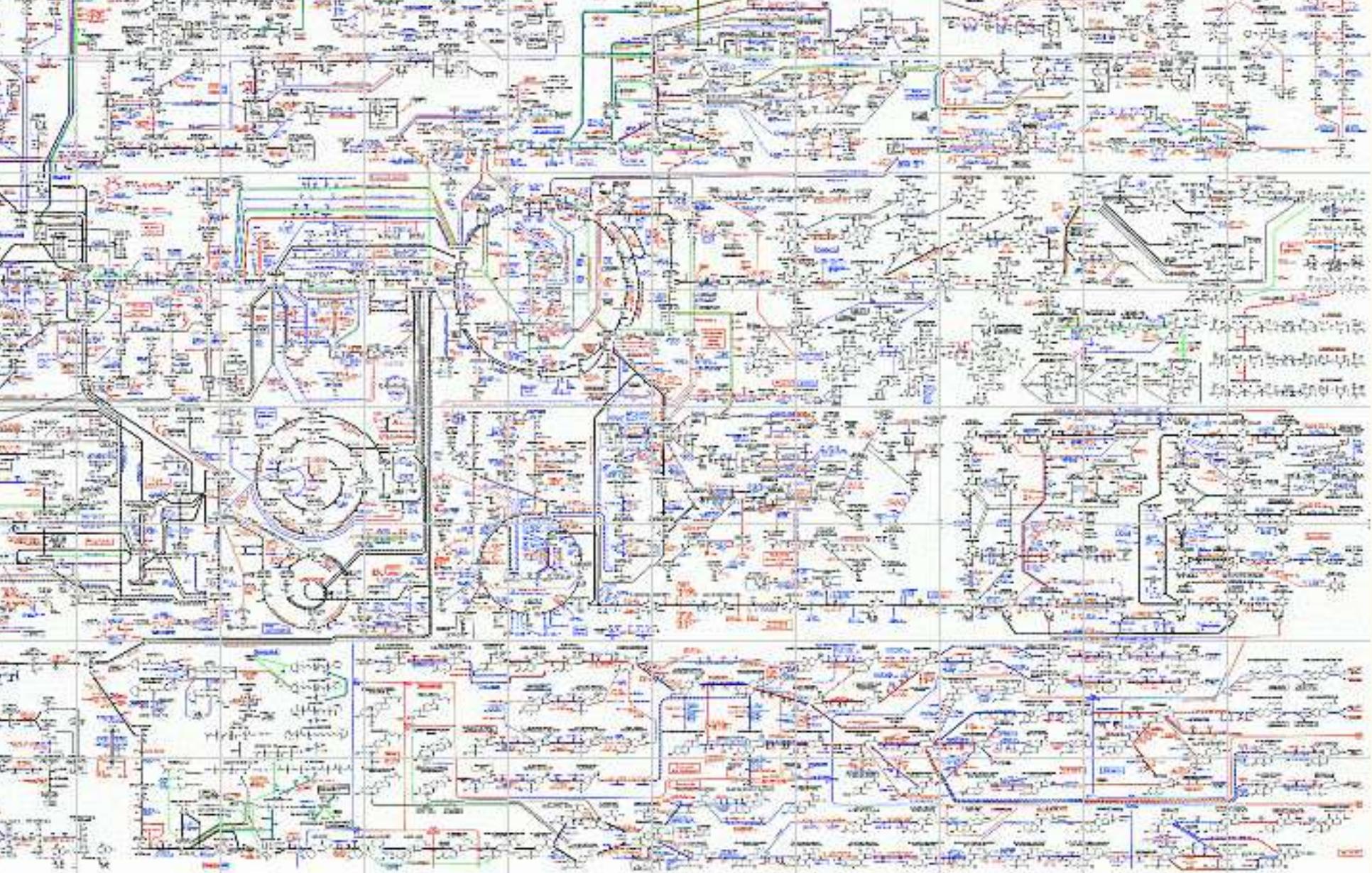
An image of a human buccal epithelial cell obtained using Differential Interference Contrast (DIC) microscopy  
([www.canisius.edu/biology/cell\\_imaging/gallery.asp](http://www.canisius.edu/biology/cell_imaging/gallery.asp))



« un réseau »...

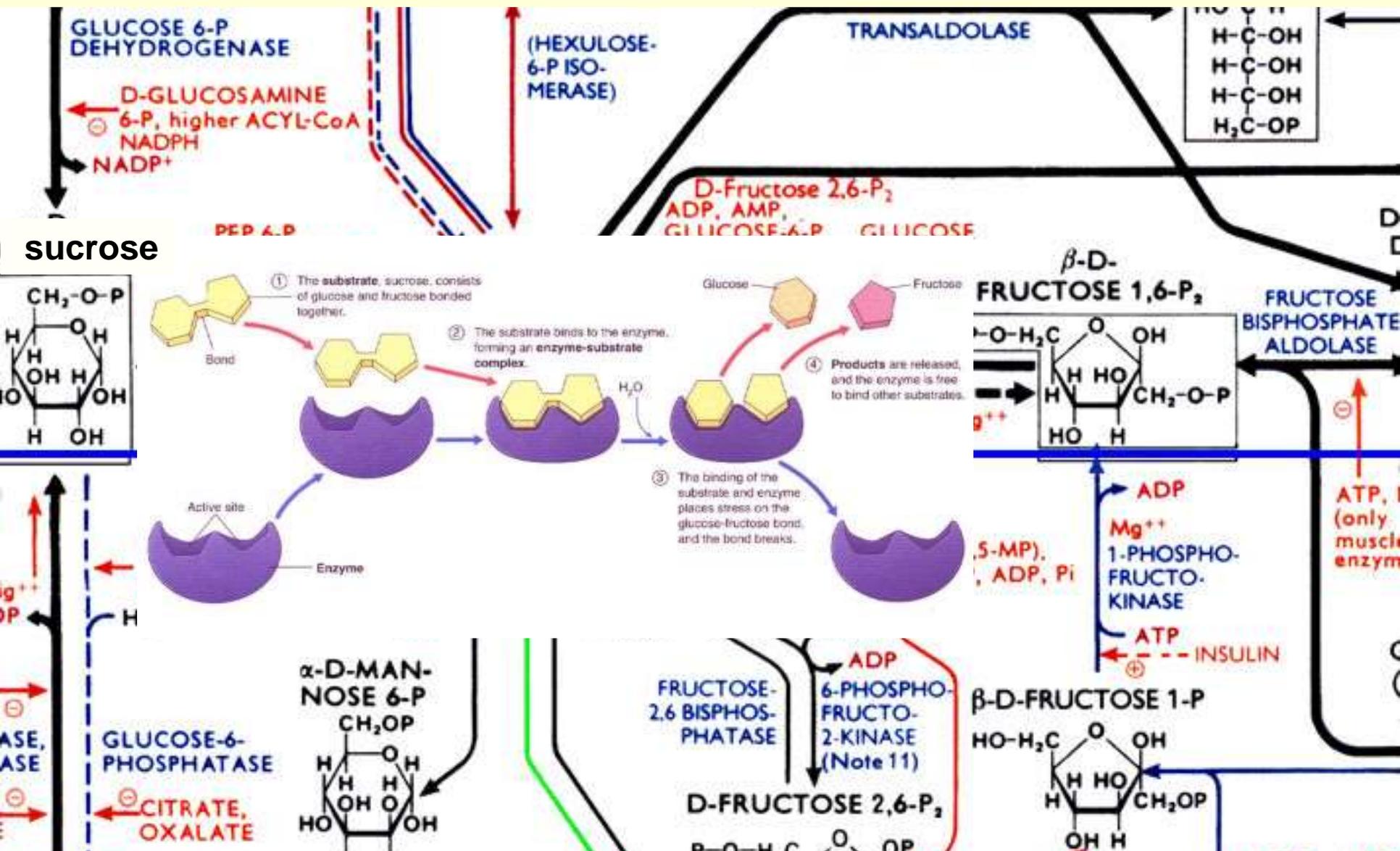
= des éléments qui entretiennent des relations

Et dans ce réseau, il y a **constance de la structure** générale malgré le changement de ses éléments constitutants.



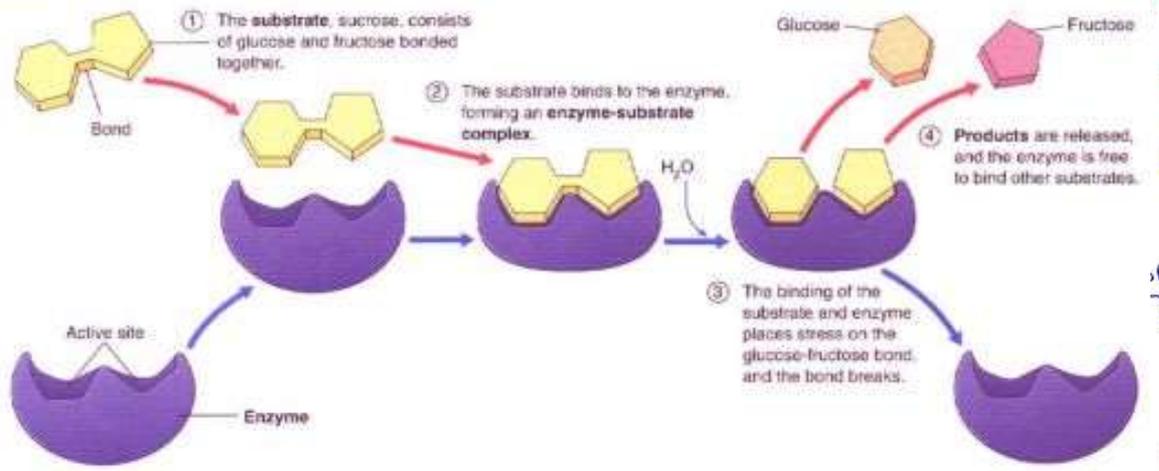
« un réseau complexe »... = cascades de réactions biochimiques dans une cellule

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

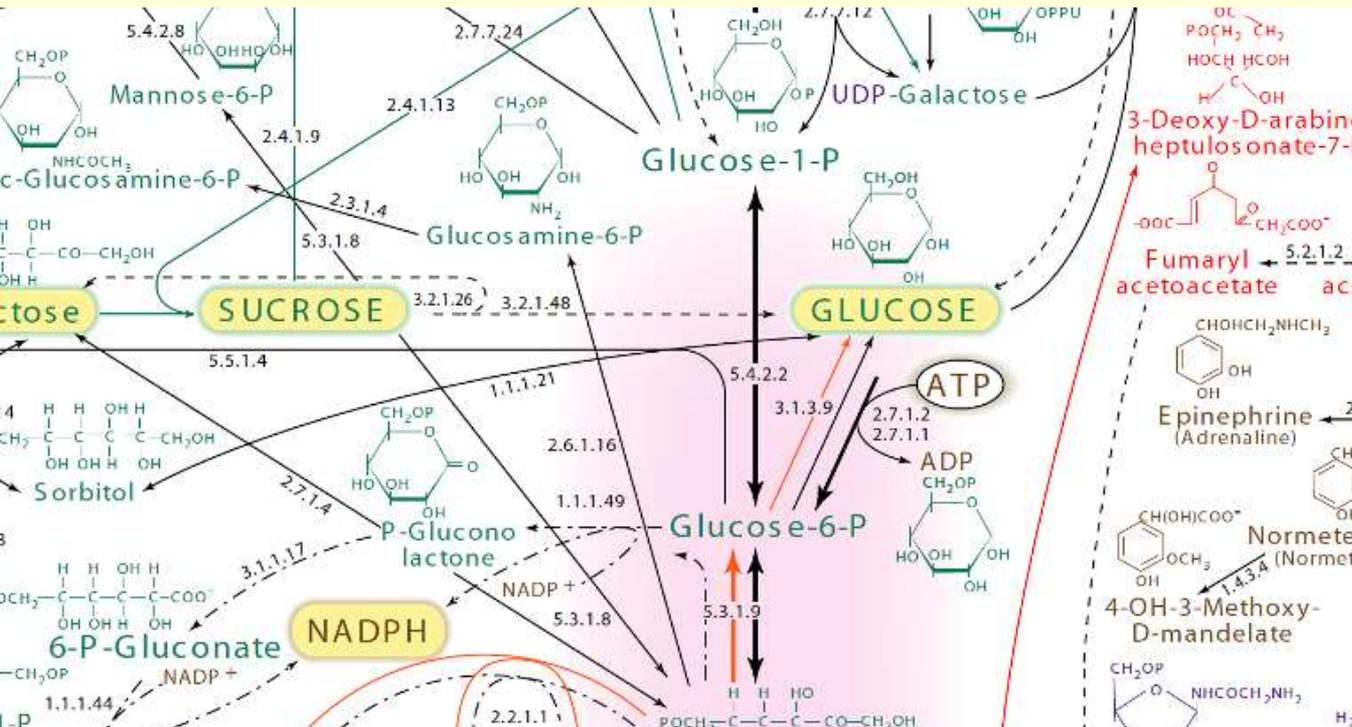


« un réseau complexe d'éléments »... : enzymes (protéines), ADN, etc.

sucrose



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



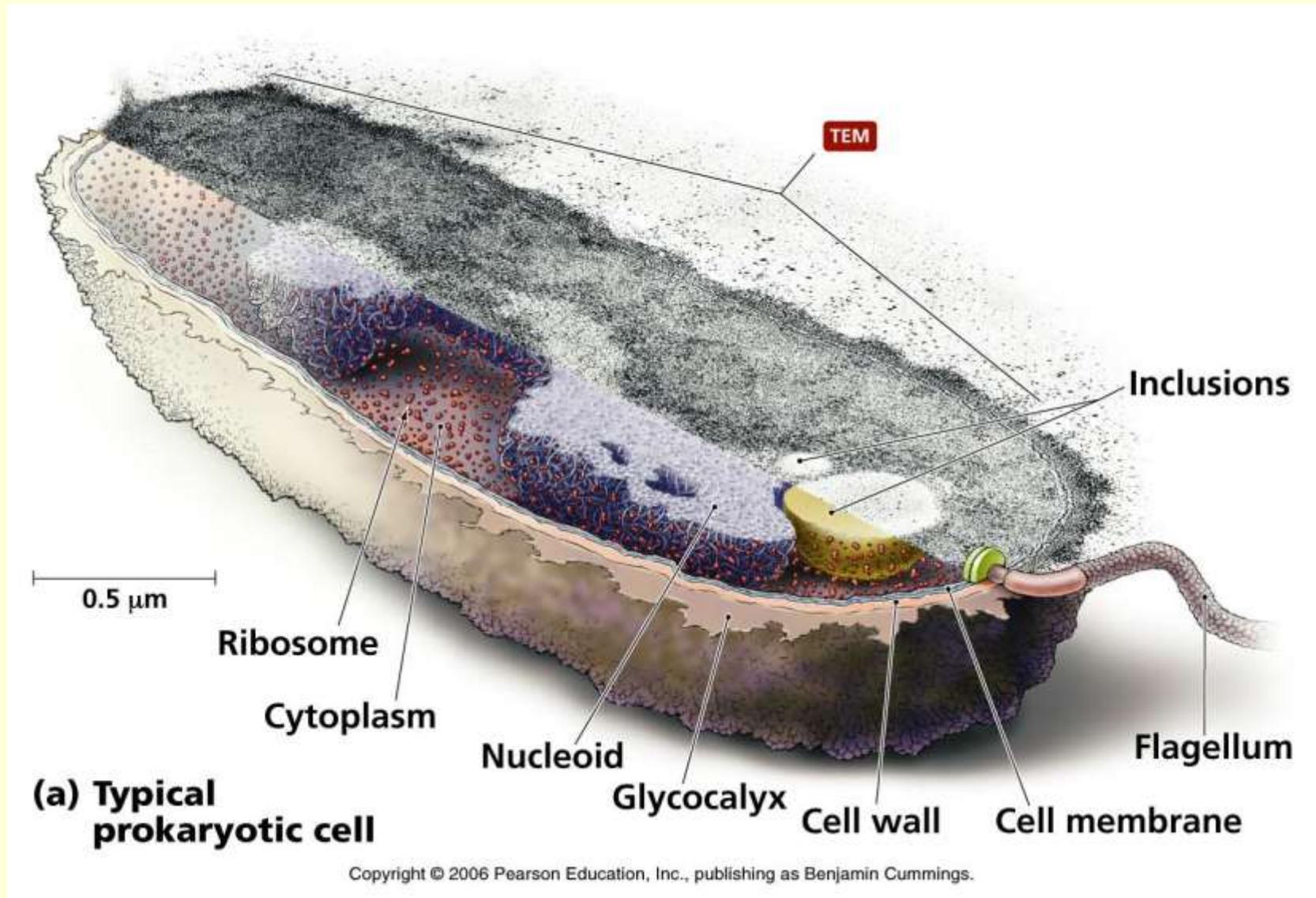
..qui régénèrent constamment, par leurs interactions et transformations, le réseau qui les a produits.



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

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

Les premières cellules vivante sont déjà infiniment complexes !



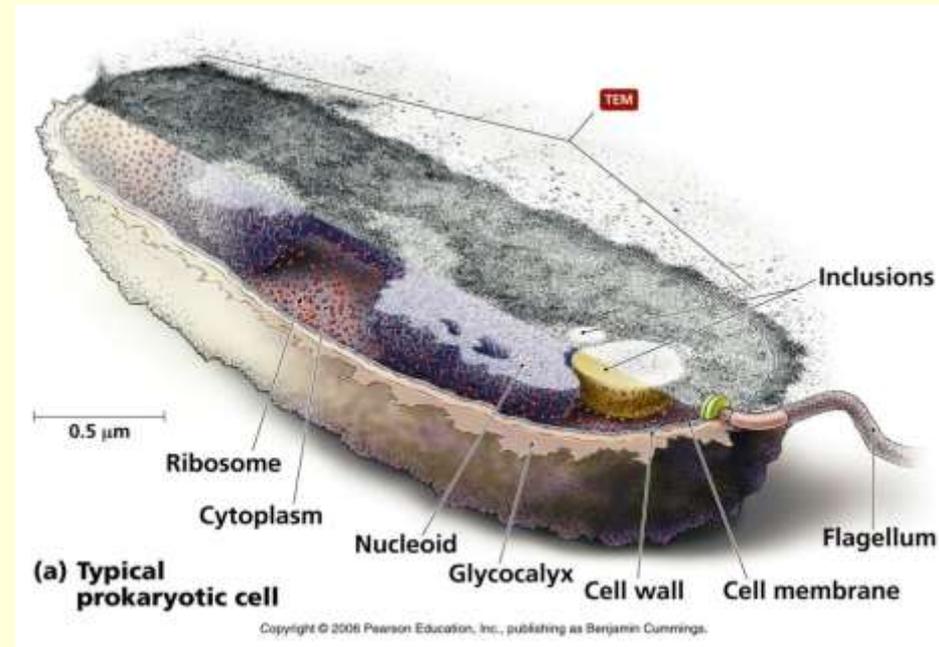
À un certain niveau d'organisation,

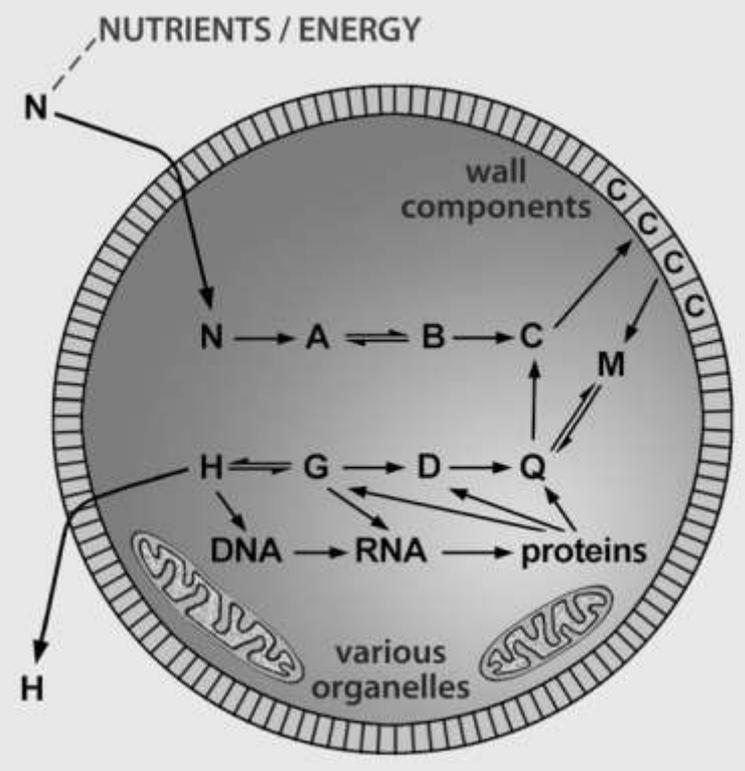
on voit donc apparaître un « **agent autonome** » avec une **identité** propre.

Cet agent autonome découle d'interactions dynamiques au niveau **local** (les interactions moléculaires de son métabolisme, par exemple)

ET

de processus émergents qui apparaissent à un niveau **global**.

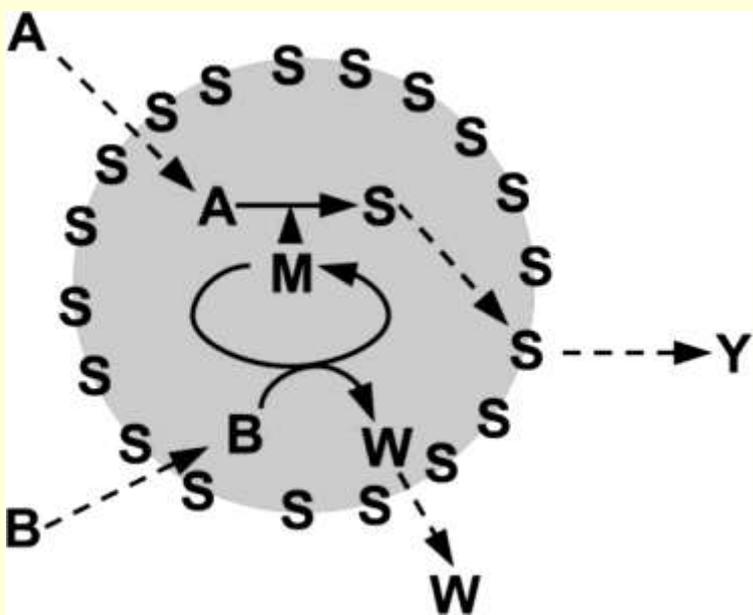




Il n'y a pas d'endroit particulier qui pourrait être associé à un "centre de la vie" à l'intérieur de la cellule (pas plus qu'il n'y a de "centre de" quoi que ce soit dans le cerveau...)

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 un **processus émergent**

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



+



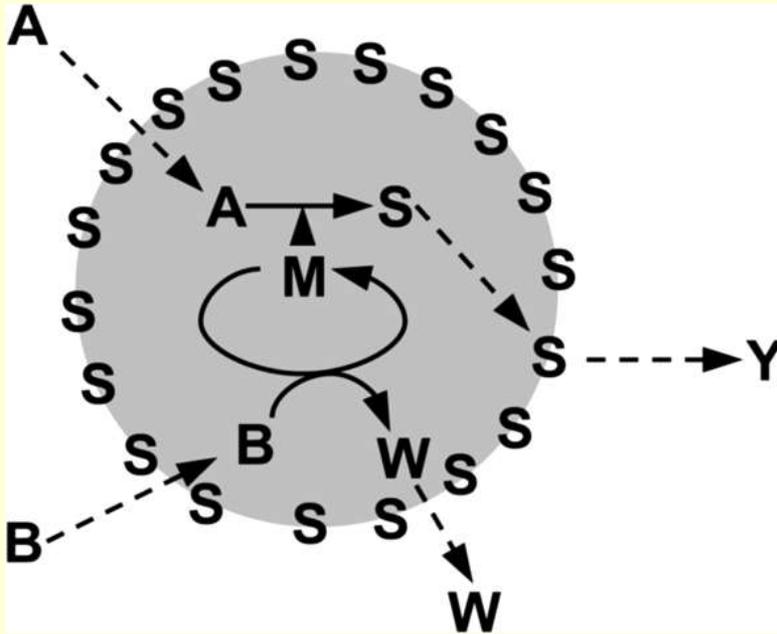
=



Sodium (Na)  
(métal hautement inflammable)

Chlore (Cl)  
(gaz très toxique)

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



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

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

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

Un système autopoïétique subit donc constamment des **changements** au niveau de ses **éléments structuraux**

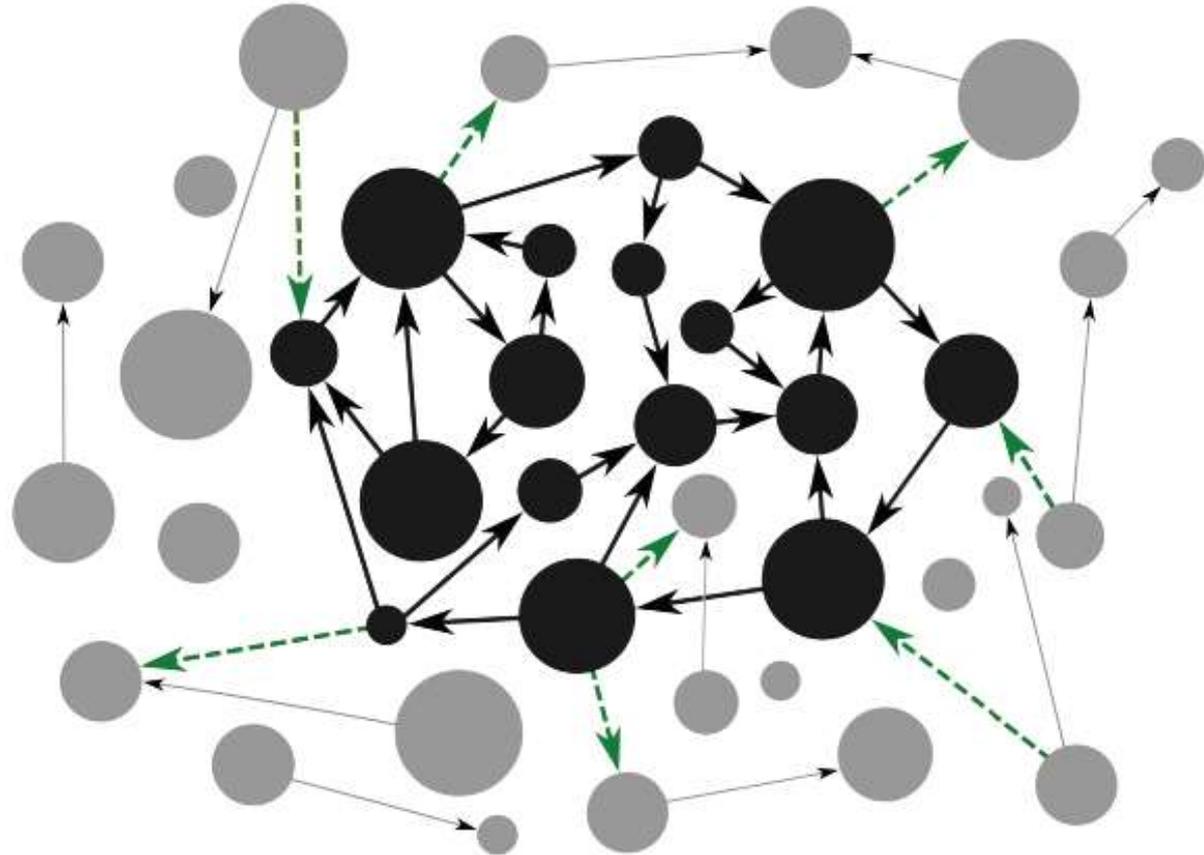
tout en **préservant son pattern général d'organisation.**

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

« Whenever we look at life,  
we look at networks.” - Capra & Luisi

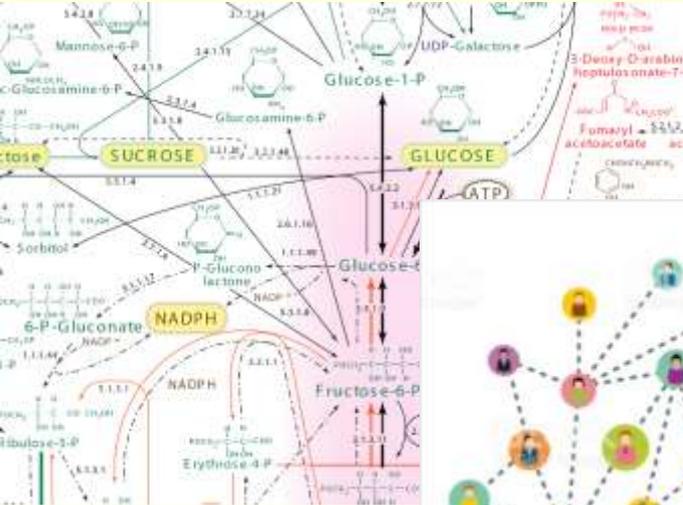
La vie est donc  
un **processus  
émergent**  
qui n'est pas  
présent dans les  
parties mais dans

les **interactions  
dynamiques** au  
sein du **réseau**  
que forment  
ces parties.

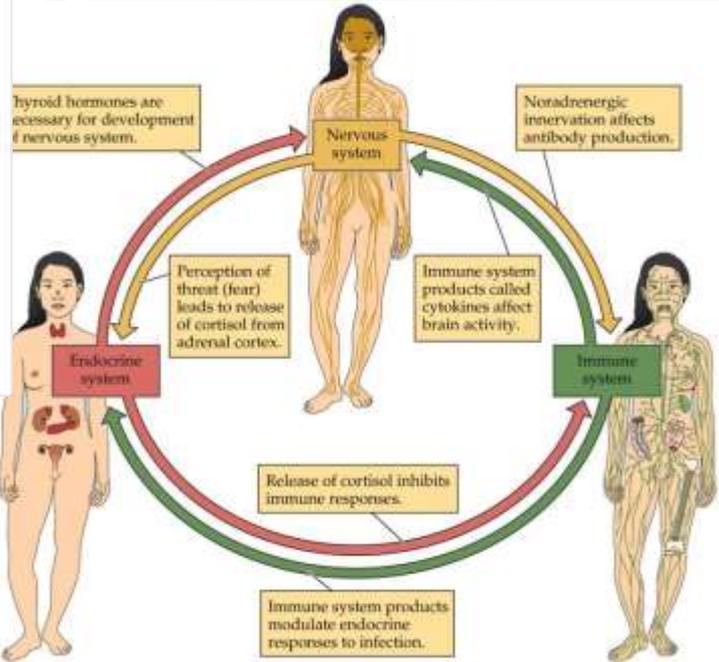


Copyright Ezequiel Di Paolo, 2013. This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 3.0 Unported License.  
[http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/deed.en\\_US](http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/deed.en_US)

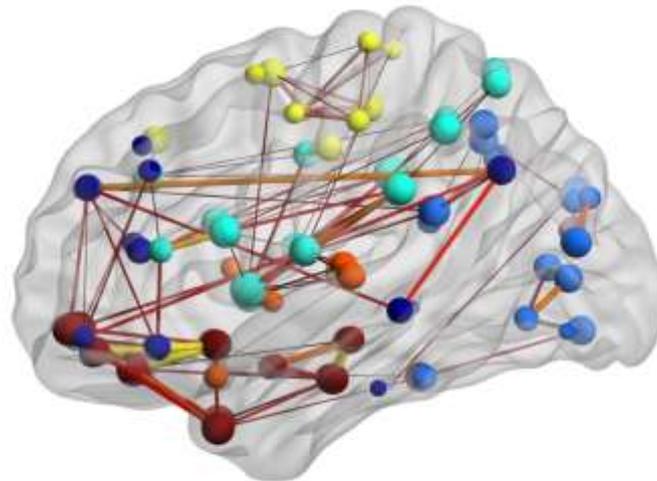
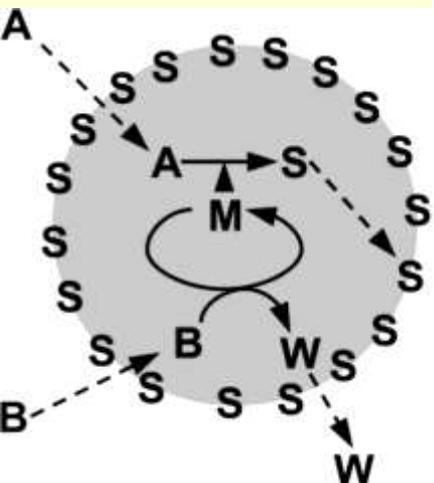
« Whenever we look at life, we look at networks. »



les **interactions dynamiques** au sein du **réseau** que forment ces parties.

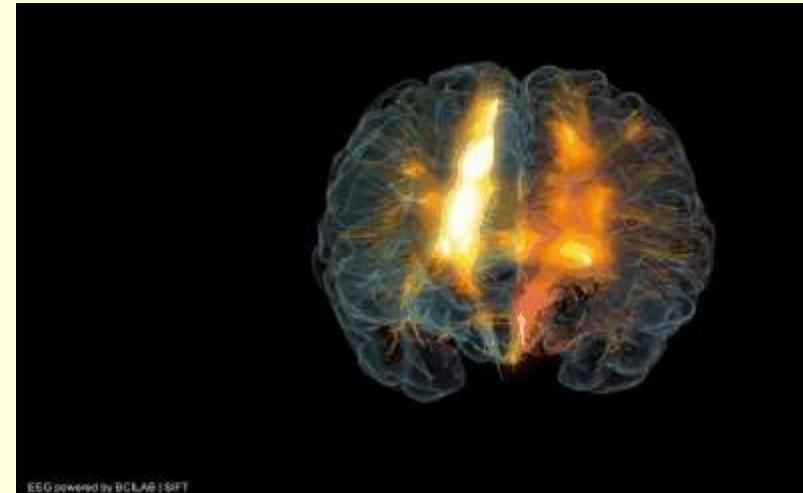
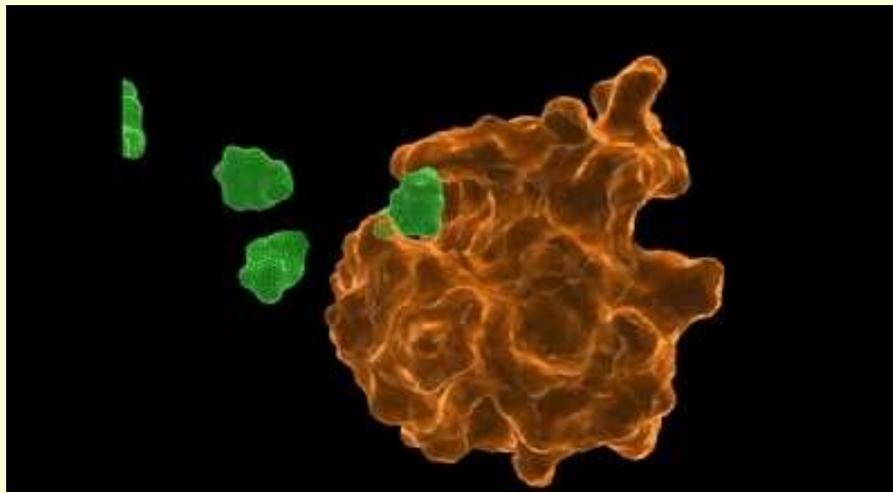
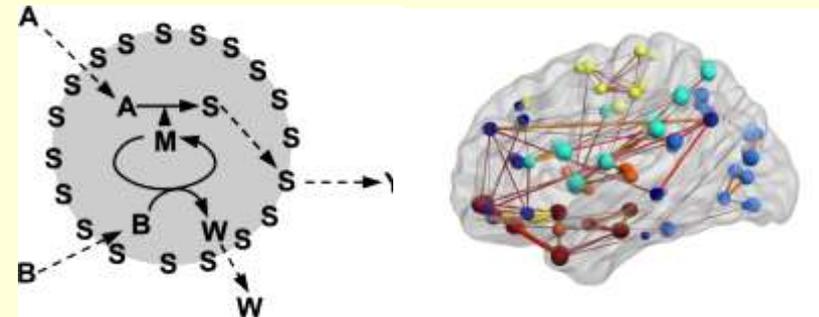


is Attribution-NonCommercial-ShareAlike 3.0 Unported License.



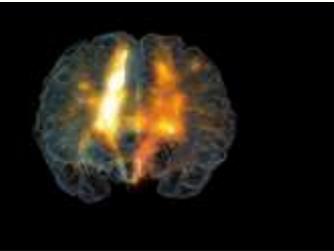
On a donc :

- l'étude de la **matière** : de quoi c'est fait ?
- l'étude de la **forme** : quel est le pattern ?  
( → réseaux ! )
- l'étude des processus **dynamiques** :  
comment ces formes changent  
**dans le temps** ?

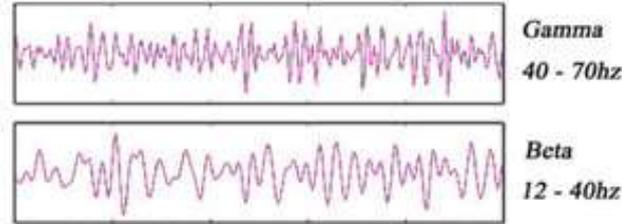


<https://www.mrdubugue.com/home/biodubmy-gifs-to-you-enzyme-reactions>

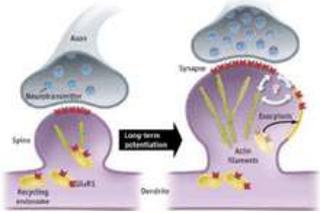
# Le vivant : des réseaux **dynamiques** à différentes échelles de temps



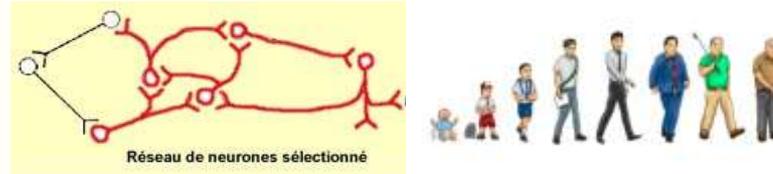
$10^{-3} s$



**Perception et action** devant des situations en temps réel grâce à des coalitions neuronales synchronisées temporairement



$10^{11} s$



**L'apprentissage** durant toute la vie par la plasticité des réseaux de neurones

$10^3 s$

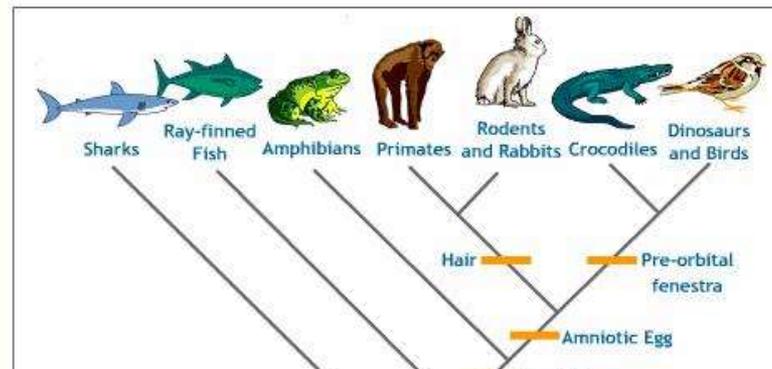


$10^6 s$



**Développement** du système nerveux (incluant des mécanismes épigénétiques)

$10^{15} s$



**Évolution** biologique qui façonne les plans généraux du système nerveux

# Plan de la séance

**Introduction** : Cours de biologie 101 plate comme on en a tous eus !  
(une base commune de ce qu'il y a à comprendre...  
sans donner les bons outils pour le faire)

Toujours avoir une **perspective évolutive**

Le vivant est fait de multiples **niveaux d'organisation**  
dont il doit **maintenir la structure**

L'évolution **cosmique** : « Nous sommes faits de poussières d'étoiles »

L'évolution **chimique** : Des molécules de plus en plus complexes

L'évolution **biologique** : Qu'est-ce que la vie ?

**L'origine de la vie sur Terre**

# Origine de la vie sur Terre

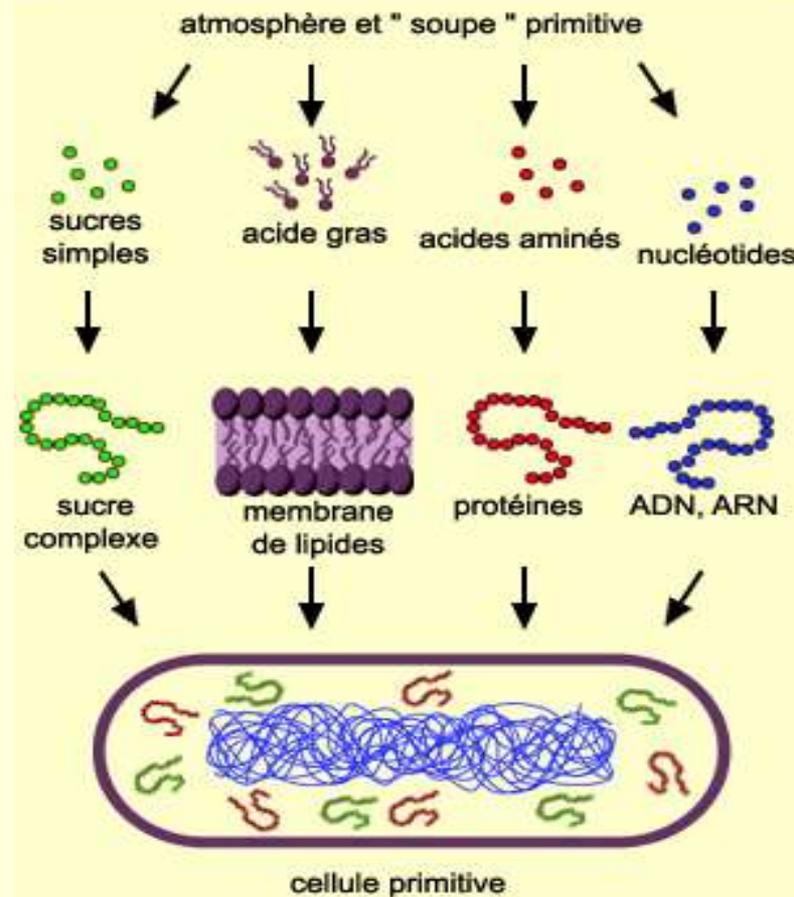
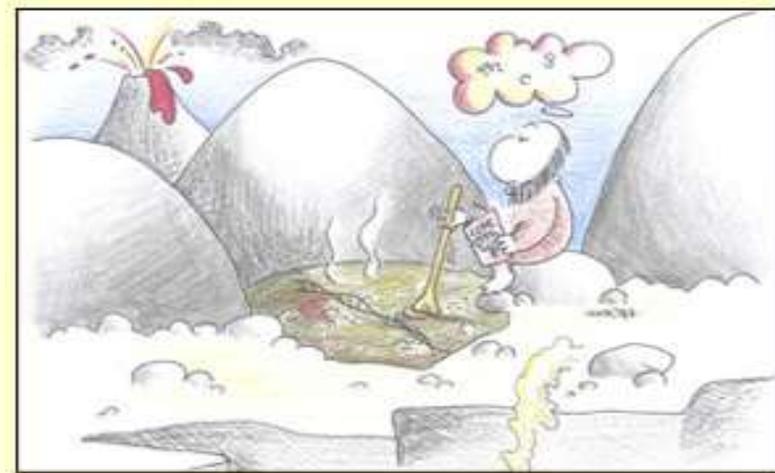
On est à peu près certain qu'il y avait des microorganismes vivants il y a **3,5 milliards d'années**.

Certaines études plus récentes font même remonter les origines de la vie sur Terre à il y a plus de **4 milliards d'années**.

Potentially biogenic carbon preserved in a 4.1 billion-year-old zircon (2015)

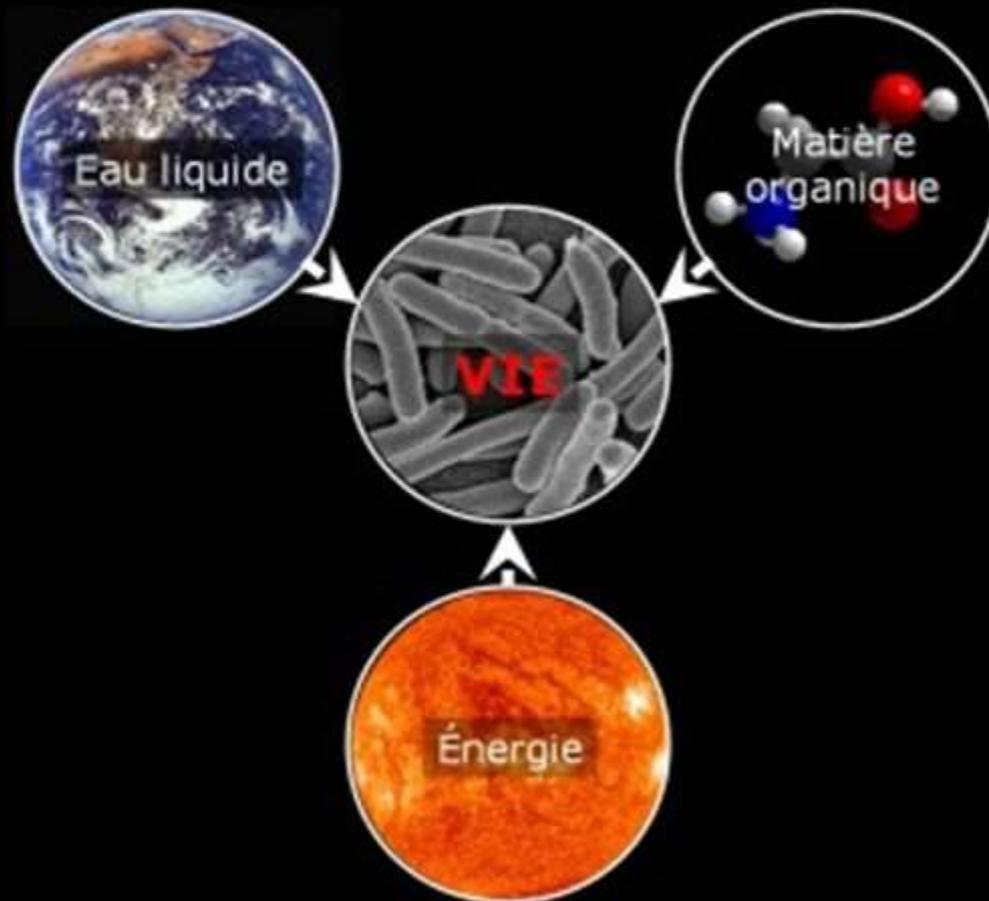
<https://www.pnas.org/doi/10.1073/pnas.1517557112>

Comme notre planète s'est formée il y a **4,5 milliards d'années**, ça n'aurait donc pris que quelques centaines de millions d'années pour que se forment les premières cellules vivantes.



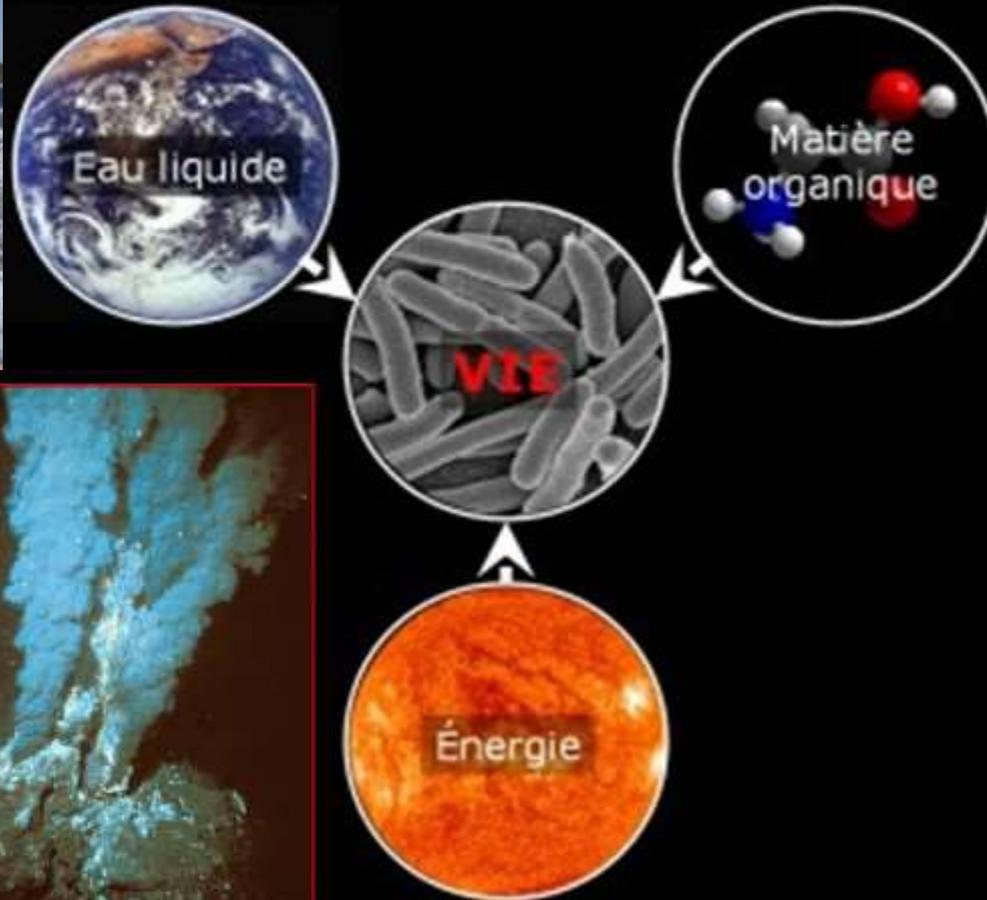
Est-ce qu'il y a *une* origine à la vie ou est-ce qu'il y a *des* origines?

# Origine de la vie sur Terre

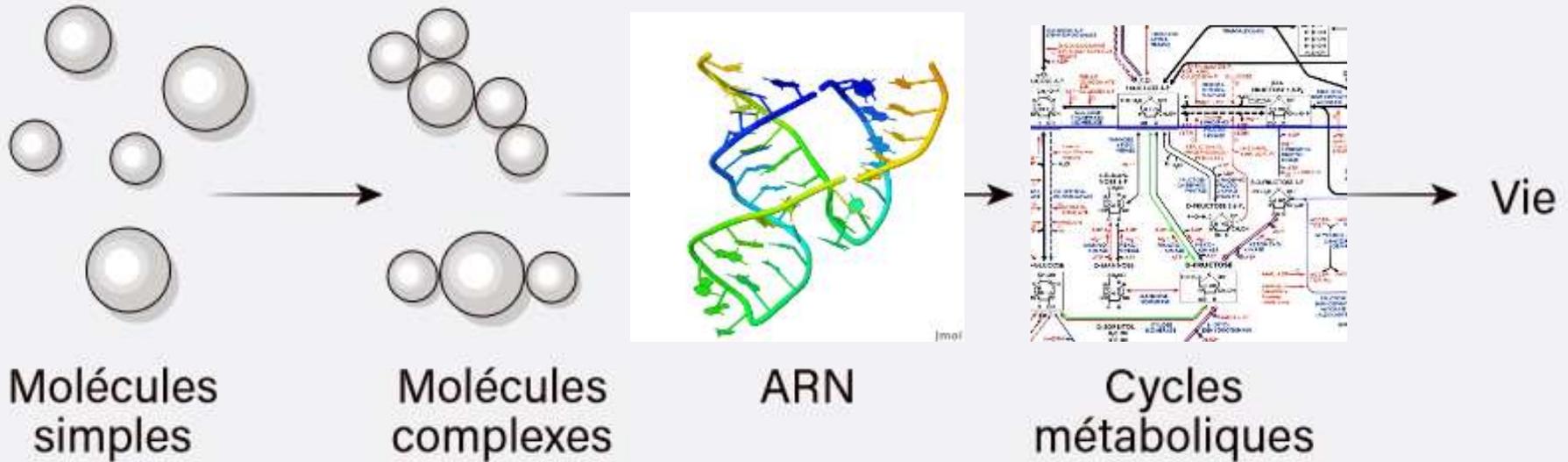


Beaucoup de scientifiques croient que la vie a émergé dans les sources hydrothermales au fond des océans, d'autres dans de petites mares chaudes avoisinant des volcans.

# Origine de la vie sur Terre



# Hypothèse du monde à ARN



Les **ribozymes** sont des ARN qui possèdent la propriété de catalyser une réaction chimique spécifique.

Les propriétés catalytiques des ribozymes sont liées à la capacité de l'ARN de se replier pour former une structure compacte bien définie, qui, comme dans le cas des protéines, permet la formation de cavités formant des sites de fixation de ligands.

Exemple : Le site actif du **ribosome**, qui catalyse la réaction de synthèse des liaisons peptidiques, qui n'est composé que par l'ARN ribosomique<sup>2</sup>.

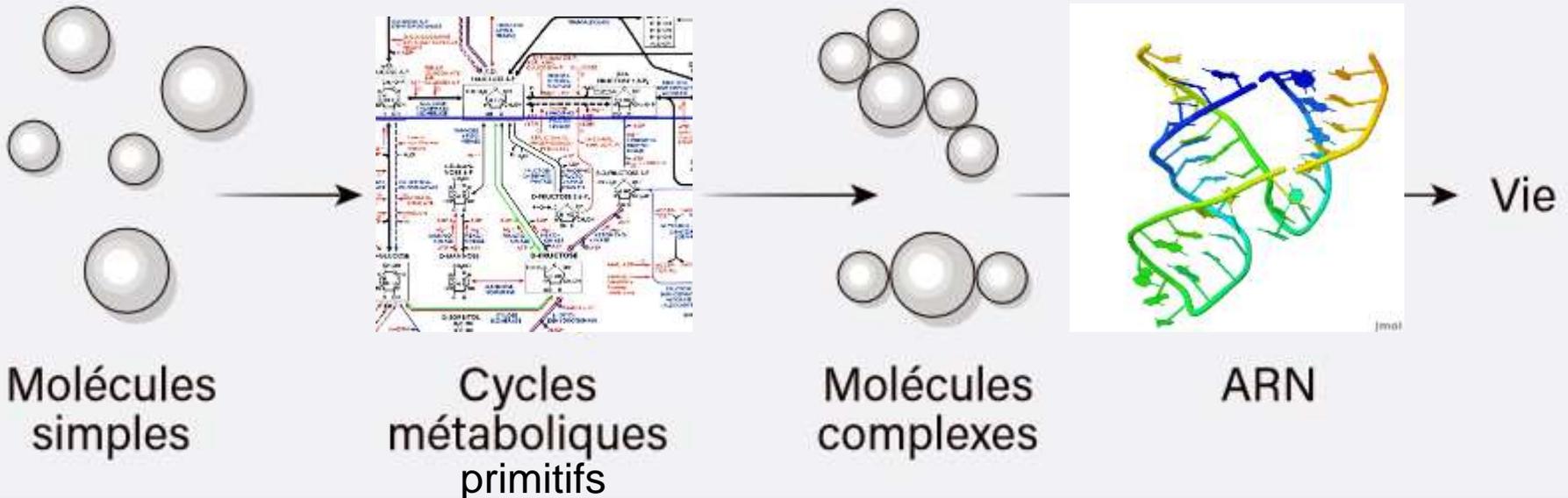
# Metabolism may have started in our early oceans before the origin of life

<https://phys.org/news/2014-04-metabolism-early-oceans-life.html> (2014)

Une trentaine de **réactions chimiques** semblables à celles du métabolisme de nos cellules (glycolyse, voie des pentoses-phosphate, synthèse d'acides aminés et de nucléotides...) se sont développées **spontanément** dans leur version reconstruite de l'océan primitif

où l'**ion fer** était abondant et capable d'accélérer (catalyser) plusieurs de ces réactions.

## Hypothèse du métabolisme



# The Molecular Origins of Life: Replication or Metabolism-First? Introductory Version

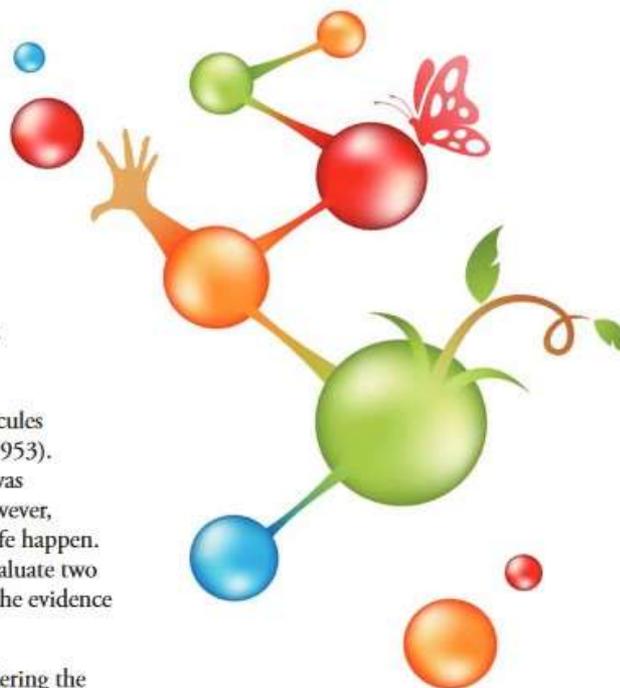
by  
Annie Prud'homme-Généreux and Rosalind Groenewoud  
Life Sciences, Quest University Canada

## Part I – What Is Life?

Our modern understanding of the origins of life dispels the Aristotelian notion of spontaneous generation, the idea that life arose from inanimate matter. We know that old rags and wheat will not generate adult rats. Louis Pasteur famously showed that organisms will only crop up if parental organisms are initially present in a closed system.

This conclusion applies to the generation of new organisms from parental ones. However, what about the very first life forms? Since it had no “parents,” it had to have arisen out of non-living matter. Stanley Miller first demonstrated in 1953 that organic molecules can be created from simple inorganic ones (Miller, 1953). This challenged the common perception that there was something “special” about the molecules of life. However, organic molecules alone are not sufficient to make life happen. How did life originate? Here, we will explore and evaluate two competing hypotheses about the origins of life and the evidence supporting them.

Before we tackle these hypotheses, it is worth considering the



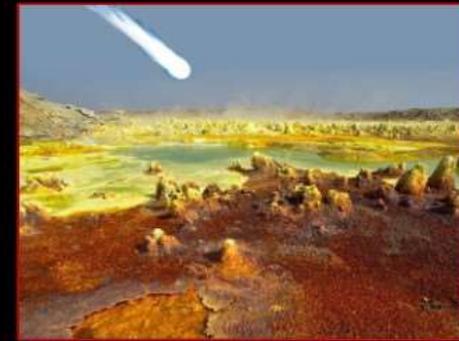
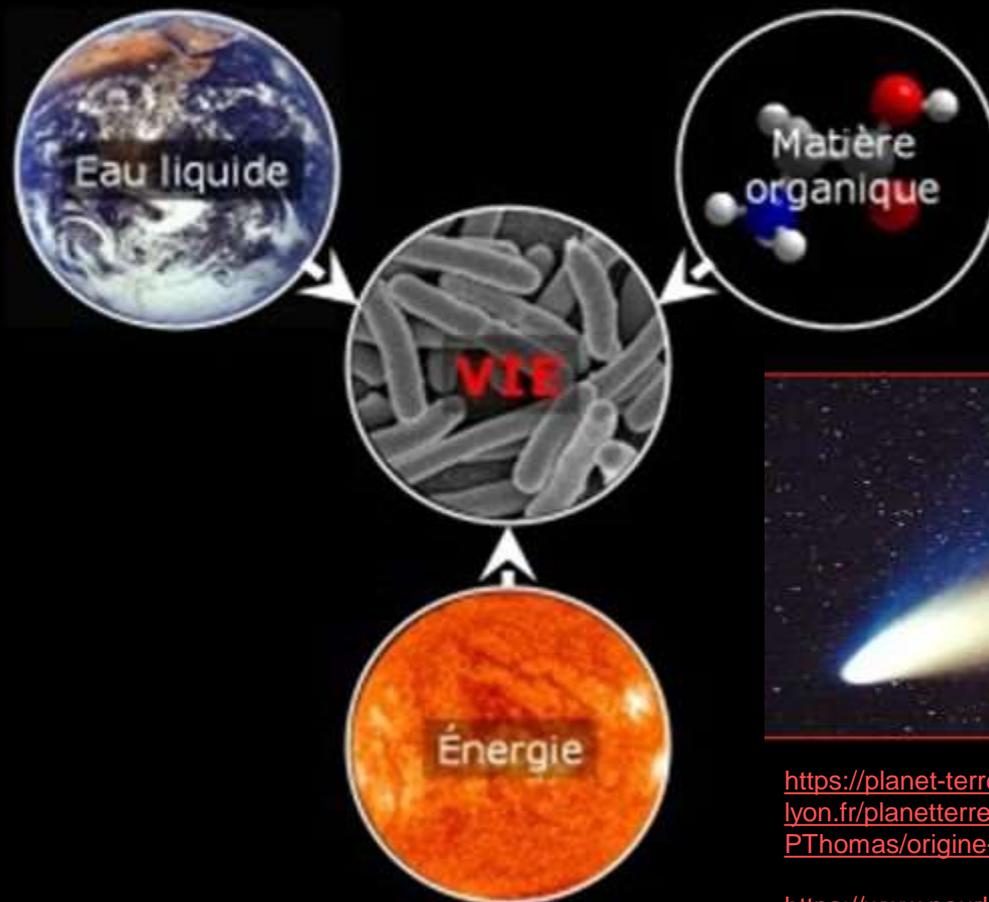
<https://www.bisd303.org/cms/lib3/WA01001636/Centricity/Domain/1308/Origins%20of%20Life%20Directions.pdf>

## The Origin of Life

<https://www.americanscientist.org/article/the-origin-of-life>

Les poussières cosmiques et les météorites qui atteignent régulièrement la Terre renferment des molécules organiques.

# Origine de la vie sur Terre



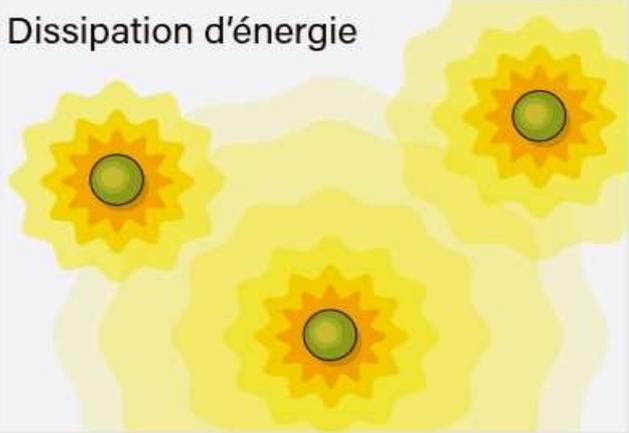
<https://planet-terre.ens-lyon.fr/planetterre/objets/Images/origine-vie-2021-PThomas/origine-vie-2021-PThomas.pdf> (2021)

<https://www.pourlascience.fr/sd/exobiologie/la-quete-des-principes-universels-de-la-vie-24780.php> (2023)

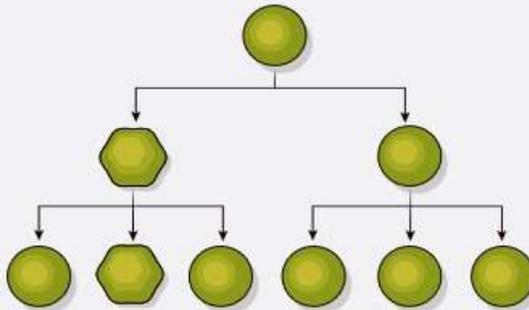
- > La plupart des projets de recherche de vie extraterrestre reposent sur des indices inspirés de la biologie terrestre : eau liquide, oxygène, etc.
- > Mais la vie ailleurs pourrait être très différente.
- > Ces réflexions conduisent à définir la vie de la façon la plus universelle possible.

## Lyfe : quatre conditions pour définir un état vyvant

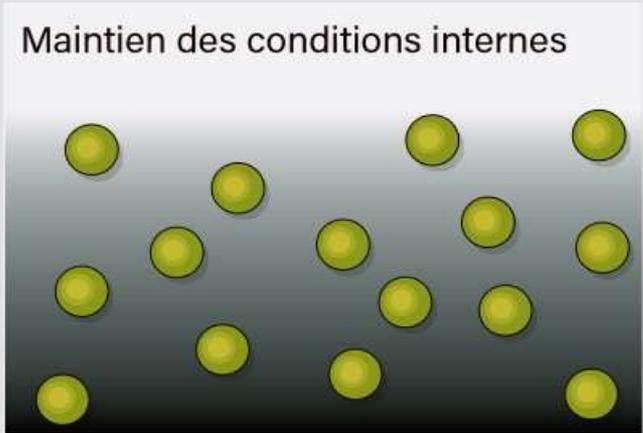
Dissipation d'énergie



Reproduction par autocatalyse



Maintien des conditions internes



Utilise les informations de son environnement pour survivre



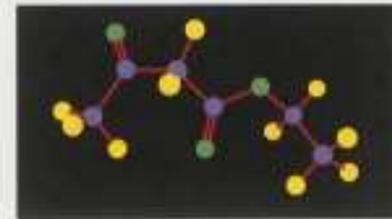
Pour la Science n°545  
Mars 2023



ANDRÉ BRACK  
ASTROBIOLOGISTE  
DIRECTEUR DE RECHERCHE HONORAIRE DU CNRS

SCIENCES  
CD-AUDIO

**EXOBILOGIE**  
LA VIE AILLEURS DANS L'UNIVERS ?

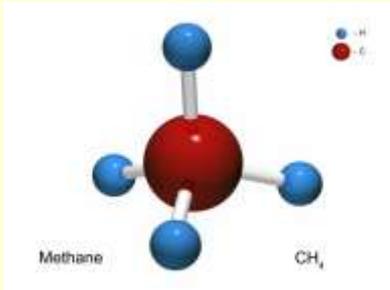


DE VIVEVOIX

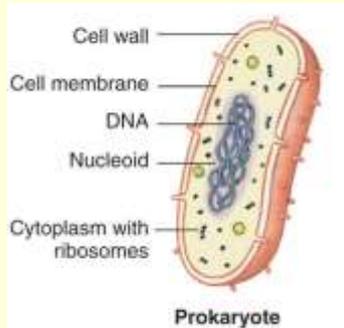
45 MINUTES

# Débat / Controverse :

Des organismes  
« **partiellement vivants** » ?



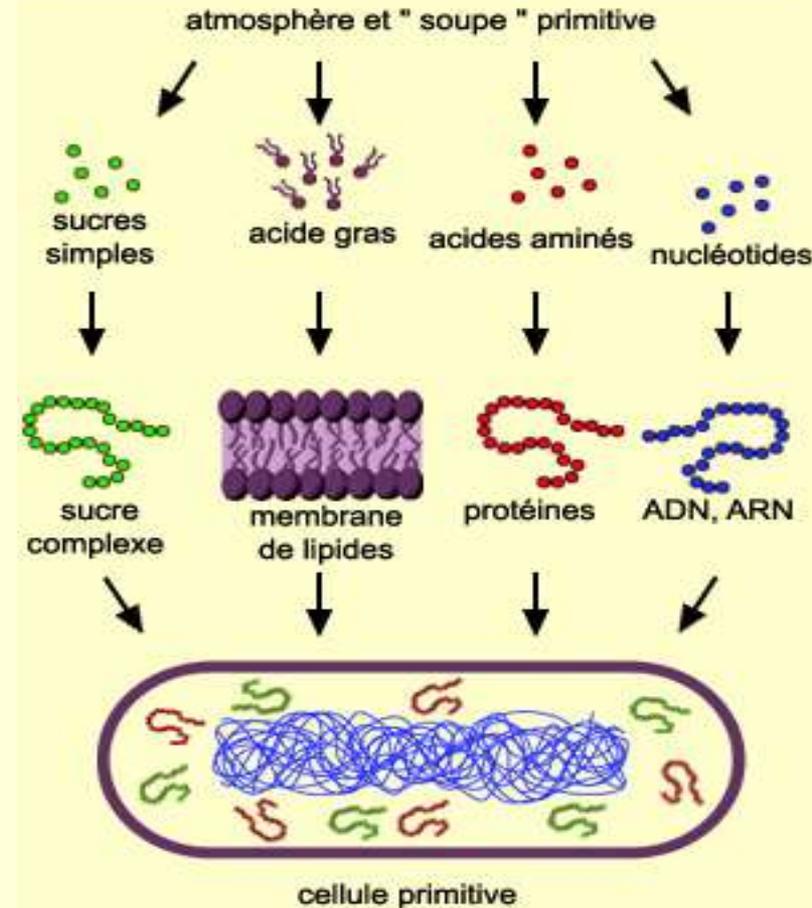
+ ou – vivants  
de différentes  
manières...



Non

un  
gradient

Oui





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

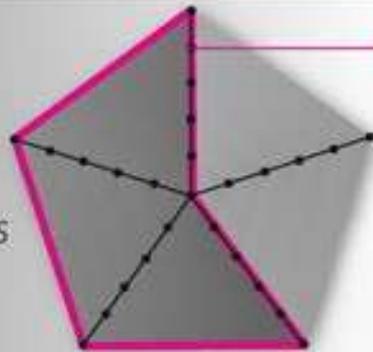
Incapable de se reproduire, d'évoluer, de posséder un métabolisme, une membrane ni, a fortiori, de conjuguer ces 4 facteurs, un caillou, par exemple, ne remplit aucune partie du pentagone.



# Différentes « signature de vie »

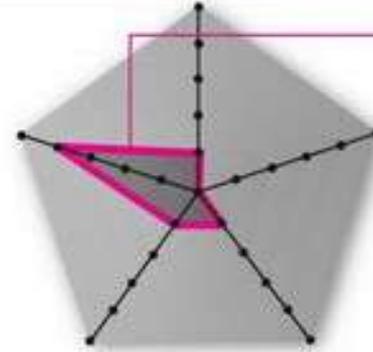
## mais des organismes à mi-chemin entre les deux

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



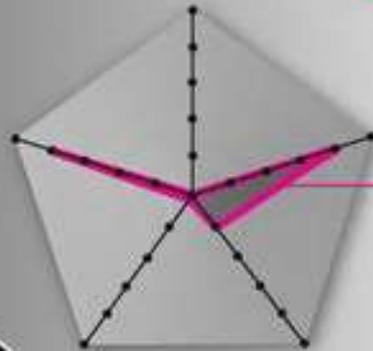
### Virus

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



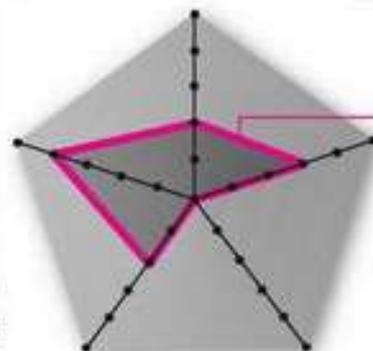
### Prion

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



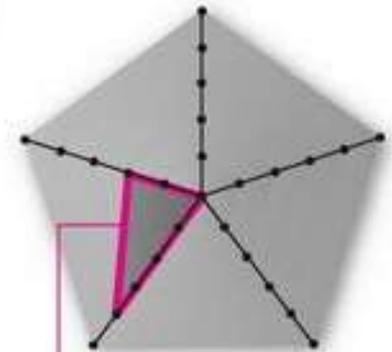
### Pepsine

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.

- Certains virus sont d'une telle complexité qu'ils ressemblent davantage à du vivant que des unicellulaires que l'on qualifie spontanément de vivants
- Il existe de petites bactéries qui ne peuvent vivre qu'à l'intérieur d'une cellule hôte, beaucoup moins complexes que certains gros virus, et qui ne font pratiquement rien par elles-mêmes. <https://actualites.uqam.ca/2017/la-vie-avant-la-vie-un-mystere-qui-passionne-penseurs-et-scientifiques/>

### 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.



“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.”

**Le BLOGUE du CERVEAU À TOUS LES NIVEAUX**

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

Principes fondamentaux  
Du simple au complexe  
Le bricolage de l'évolution  
Le développement de nos facultés  
Le plaisir et la douleur  
Les détecteurs sensoriels  
Le corps en mouvement

Fonctions complexes  
Au cœur de la mémoire  
Que d'émotions  
De la pensée au langage  
Dormir, rêver...  
L'émergence de la conscience  
Les troubles de l'esprit

**L'intelligence collective des groupes humains**

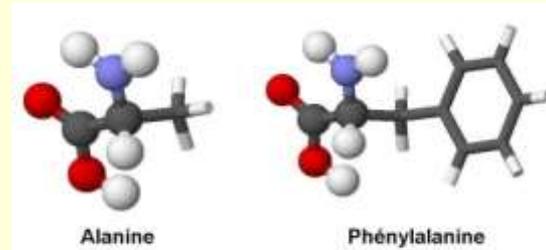
En psychologie, le concept d'intelligence individuelle et les "test de QI" pour la mesurer sont pour le moins controversés. Une des bases empiriques fréquemment avancées en faveur de l'existence d'une telle « intelligence générale » est que cette variable unique prédit mieux du bien à la moitié des résultats qu'obtient un individu dans de nombreuses tâches cognitives distinctes et variées.

Dans une étude publiée dans la revue Science en octobre 2010, des psychologues de trois universités américaines affirment avoir mis en évidence un facteur similaire d'intelligence générale, mais cette fois non pour des individus mais pour des groupes. Pour tester cette « intelligence collective », ils ont formé des dizaines de groupes de 2 à 3 personnes et les ont fait travailler pendant plusieurs heures sur différentes tâches allant du brainstorming oratoire ou diorama moral, en passant par la parole de dame contre un ordinateur.

Ce qui est ressorti de tout le tracas de ces nombreuses analyses statistiques de l'étude autour de ce facteur « c » (pour intelligence collective), et qui va au-delà du débat sur ce qu'il pourrait exactement représenter, c'est d'abord le fait qu'il n'est ni totalement corrélé avec l'intelligence moyenne des membres d'un groupe ni avec celle de l'individu du groupe ayant obtenu le meilleur score au test d'intelligence individuelle. Autrement dit, un groupe formé de gens brillants ne fait pas automatiquement le groupe le plus brillant.

Les psychologues ont toutefois trouvé des facteurs permettant d'expliquer si un groupe se « comporte » collectivement, mais ils ont dû passer du côté de la « coopération » pour en identifier trois : pression sociale, ce qui on pourrait appeler la sensibilité sociale globale du groupe, et une capacité à

La vie aurait donc émergé et évolué à partir de molécules organiques simples (acides aminés, etc.)...



...à des chaînes de molécules comme des protéine...

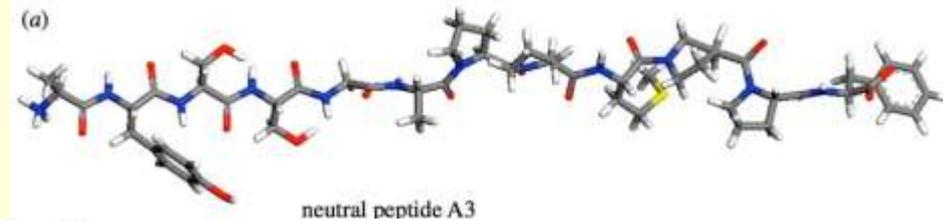
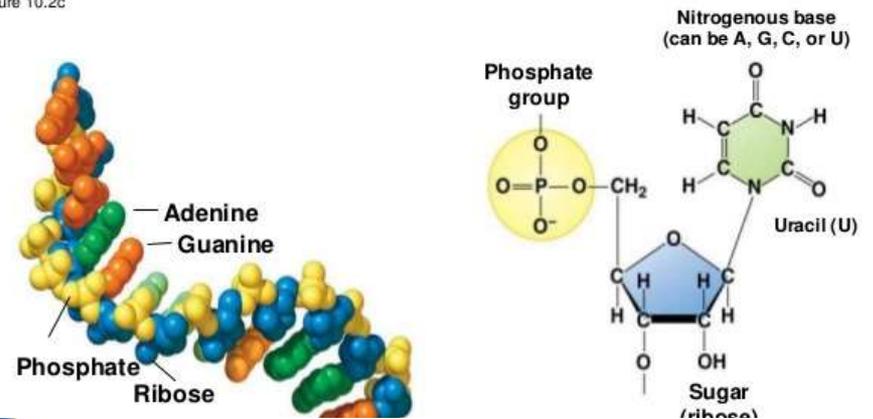


Figure 10.2c

...ou comme de petits ARN...



...et éventuellement à de longues chaînes informationnelles comme l'ADN qui sont aujourd'hui le support de l'information génétique dans le noyau de nos cellules.



Car dans les systèmes vivants actuels, les réactions chimiques dans les cellules sont médiées par des protéines capables de catalyse appelés **enzymes**.

Ces protéines sont construites à partir de l'information contenue dans nos **gènes**, ces bouts d'**ADN** qui constituent la « mémoire génétique » d'une espèce donnée.

Or dans nos cellules : 1) des protéines sont nécessaires pour fabriquer les acides nucléiques qui forment l'ADN;

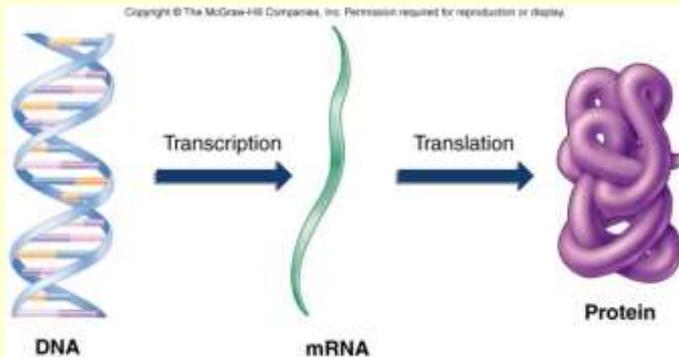
2) des protéines sont aussi nécessaires pour ouvrir par exemple la double hélice d'ADN pour copier l'ARNm qui va de sortir du noyaux et fournir l'information aux ribosomes pour fabriquer des protéines.

On a donc deux poules, deux œufs,

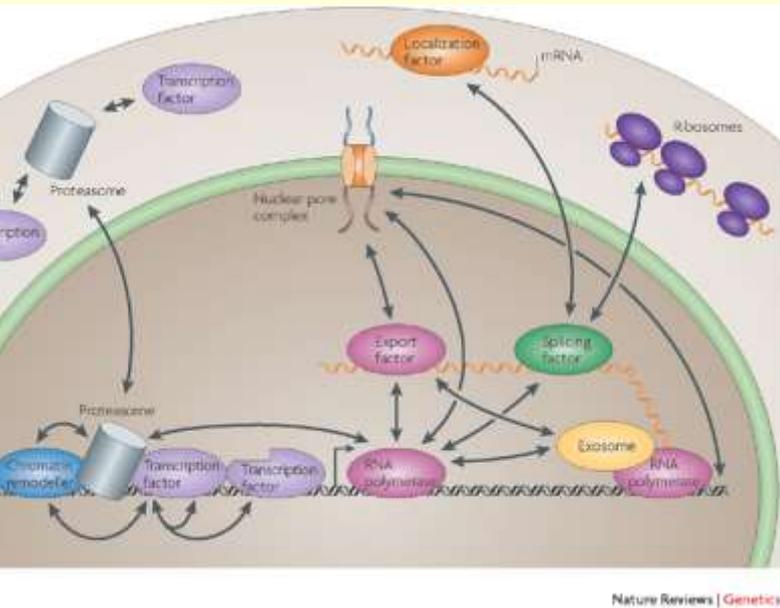


et pas de réponse au vieux problème de savoir lequel est apparu en premier !



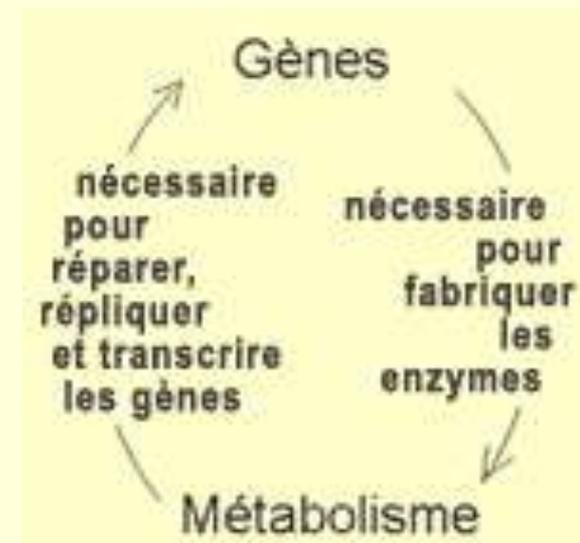


Mais ça c'est si l'on pense, comme on l'a longtemps répété, que les gènes sont les « plans » pour fabriquer nos protéines.



Mais on sais maintenant que certains gènes servent à fabriquer des **enzymes** (qui sont des protéines...) qui vont revenir se fixer sur d'autres gènes et en influencer l'expression.

En réalité, le **métabolisme** et les **gènes** forment ensemble un réseau.



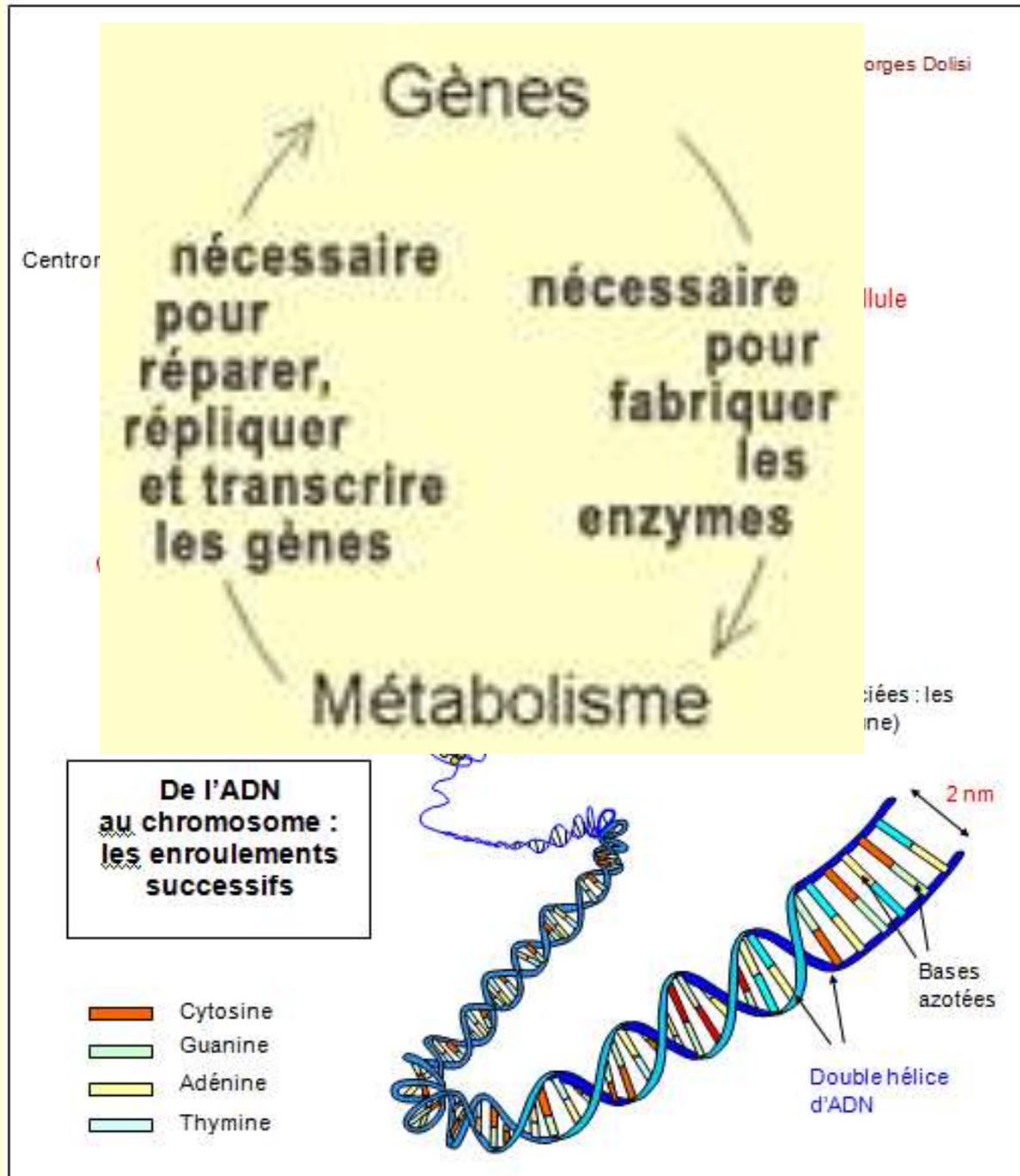
Ces réseaux métaboliques doivent cependant réussir à se **reproduire en faisant des copies d'eux-mêmes**.

Car la vie implique aussi une capacité de **mémoire** pour retenir les bons coups du hasard.

C'est ce que fait l'ADN, cette **longue** molécule relativement **stable** située dans le noyau de chacune de nos cellules.

Mais cette stabilité ne lui confère pas un statut particulier vis-à-vis des autres molécules :

l'ADN fait partie d'un **réseau complexe d'interactions moléculaires**.



# Plan de la séance

**Introduction** : Cours de biologie 101 plate comme on en a tous eus !  
(une base commune de ce qu'il y a à comprendre...  
sans donner les bons outils pour le faire)

Toujours avoir une **perspective évolutive**

Le vivant est fait de multiples **niveaux d'organisation**  
dont il doit **maintenir la structure**

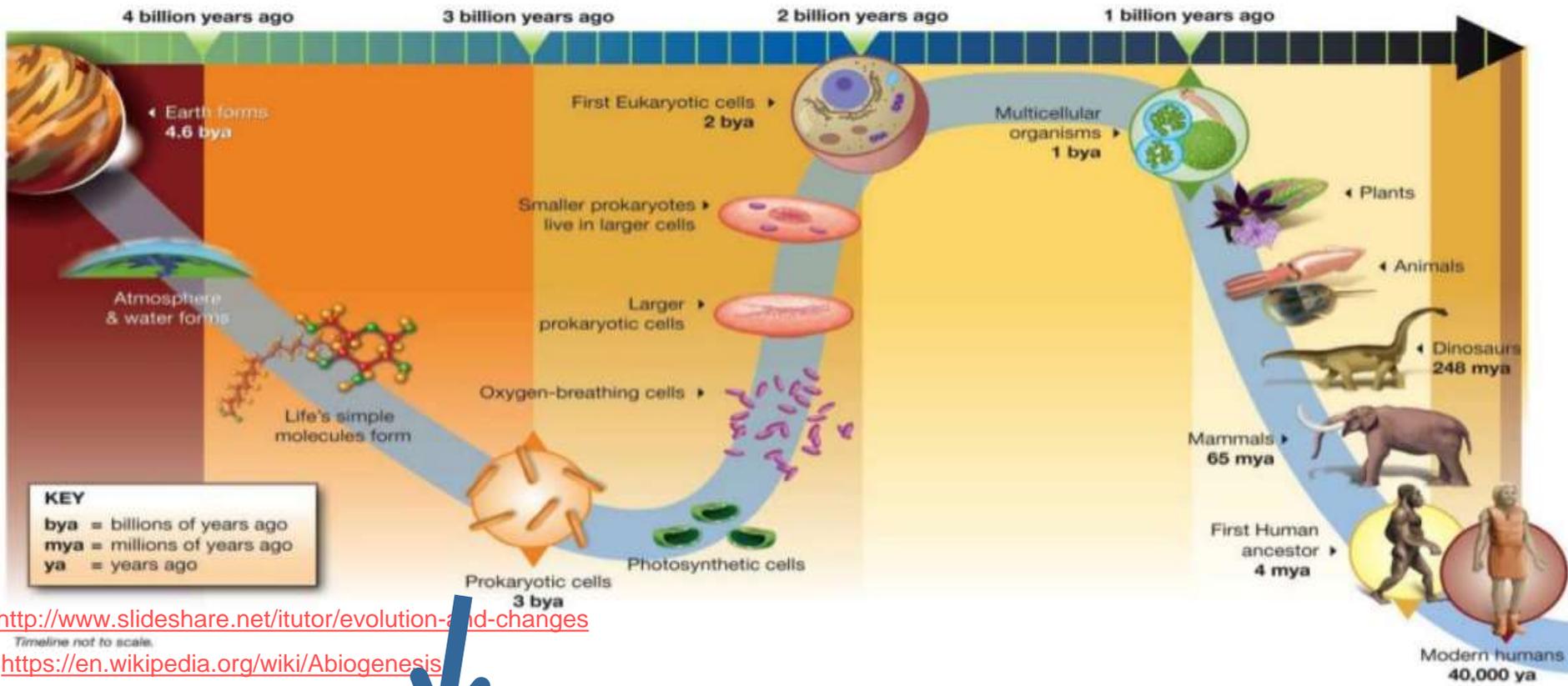
L'évolution **cosmique** : « Nous sommes faits de poussières d'étoiles »

L'évolution **chimique** : Des molécules de plus en plus complexes

L'évolution **biologique** : Qu'est-ce que la vie ?

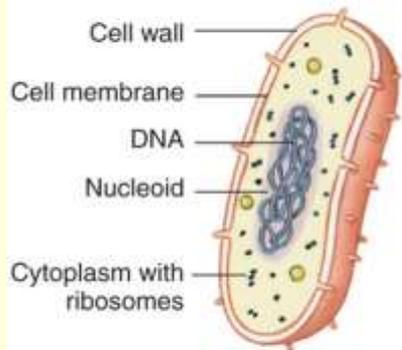
**L'origine de la vie** sur Terre

**Transitions majeures de l'évolution et reproduction sexuée**



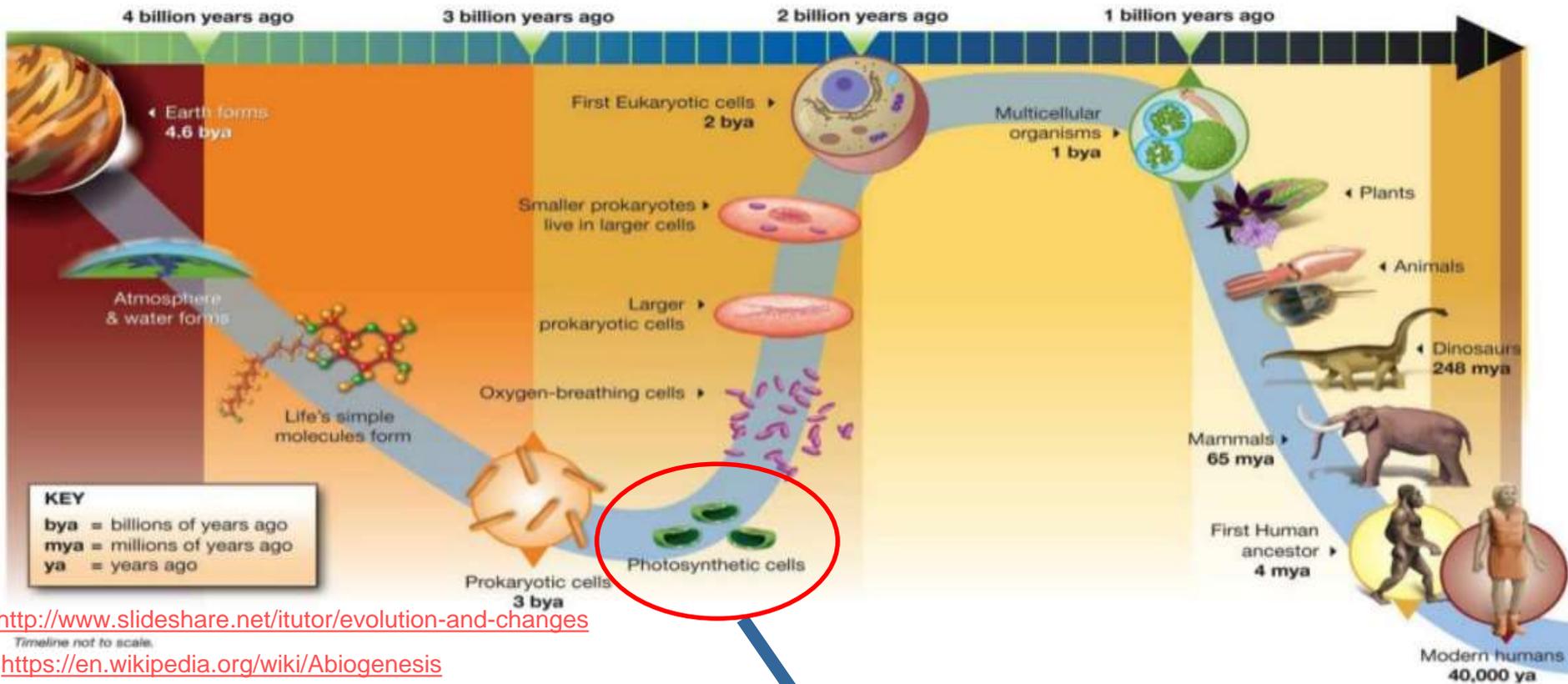
<http://www.slideshare.net/itutor/evolution-and-changes>

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



Prokaryote

3,5 bya

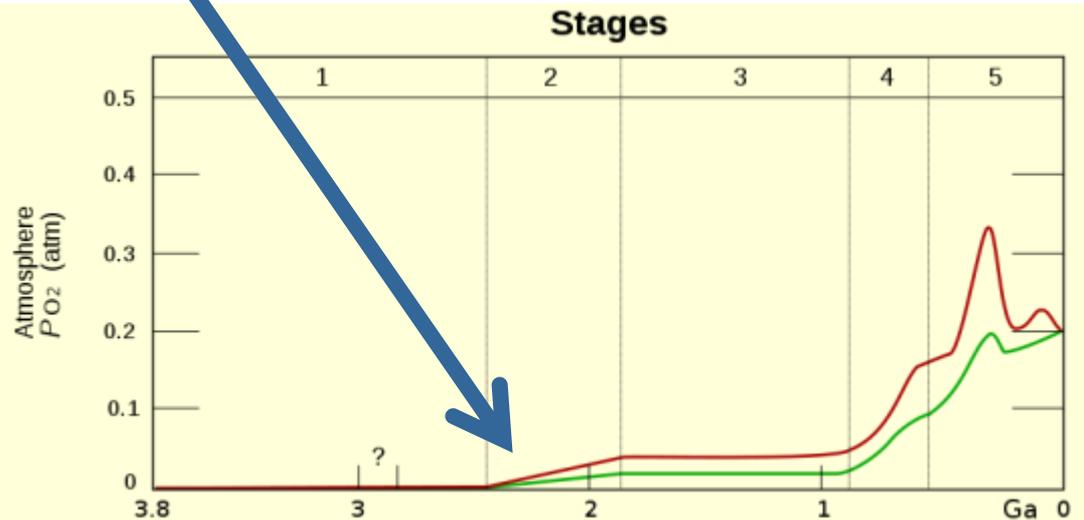


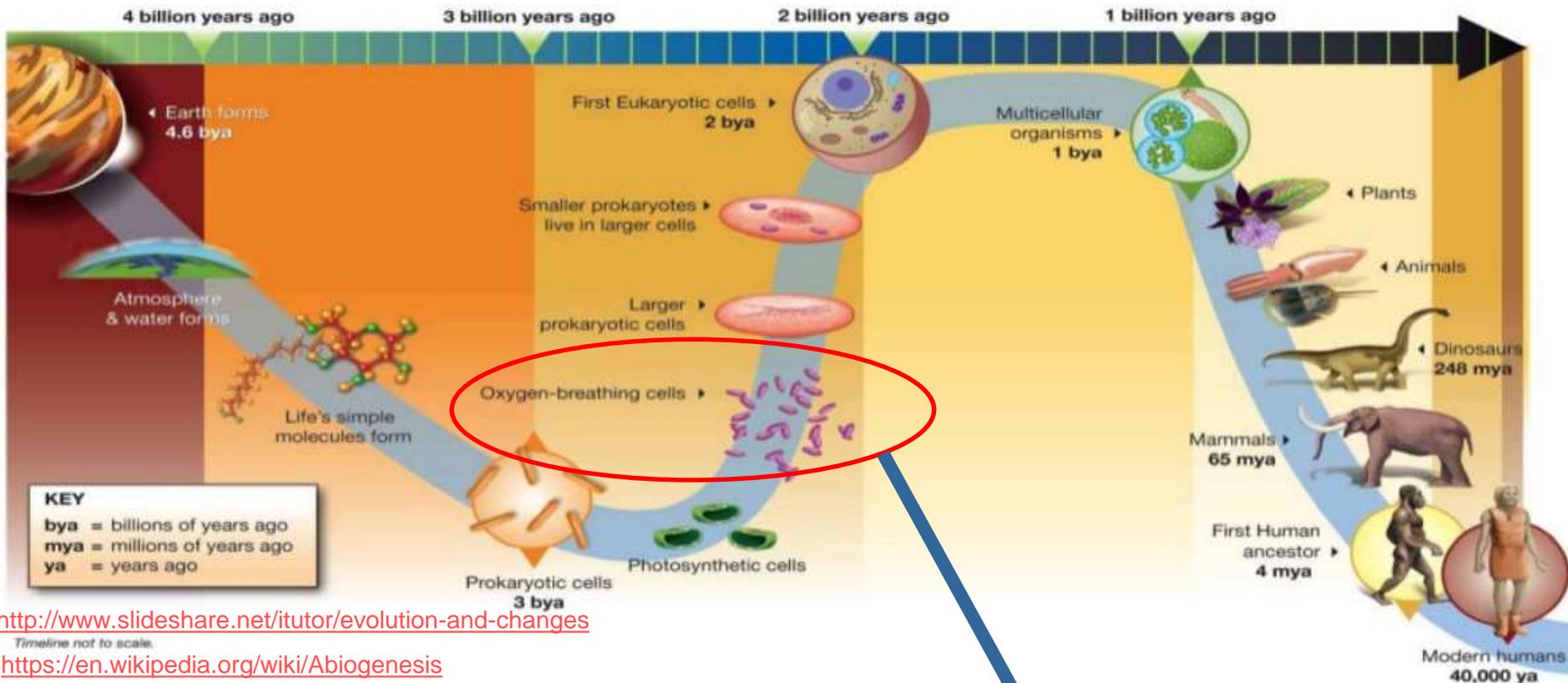
<http://www.slideshare.net/itutor/evolution-and-changes>

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

**2,4 Ga :**

**La Grande Oxydation**  
(ou catastrophe de l'oxygène)

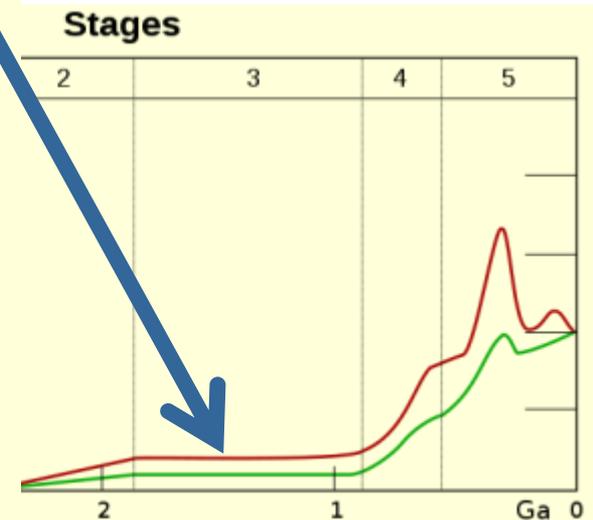


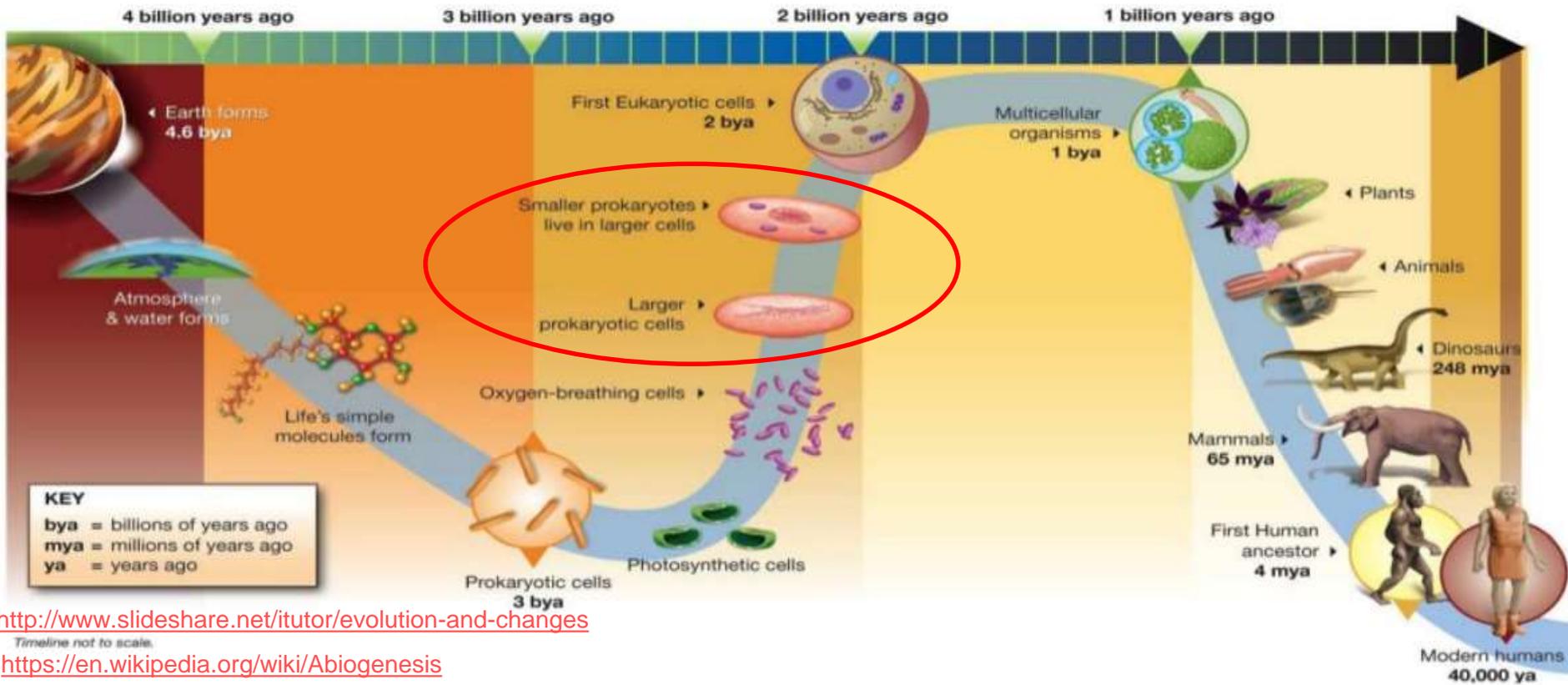


<http://www.slideshare.net/itutor/evolution-and-changes>

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

L'avènement de microorganismes capables d'utiliser cet oxygène va faire passer de 5 à 36 la quantité de molécules d'ATP produites à partir d'une molécule de glucose.

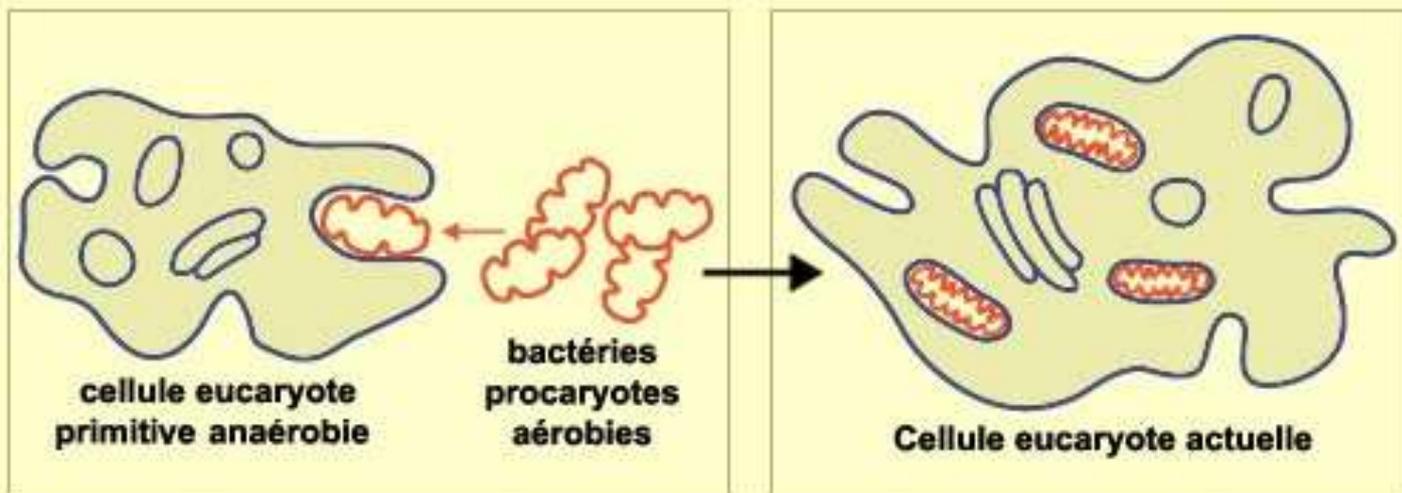




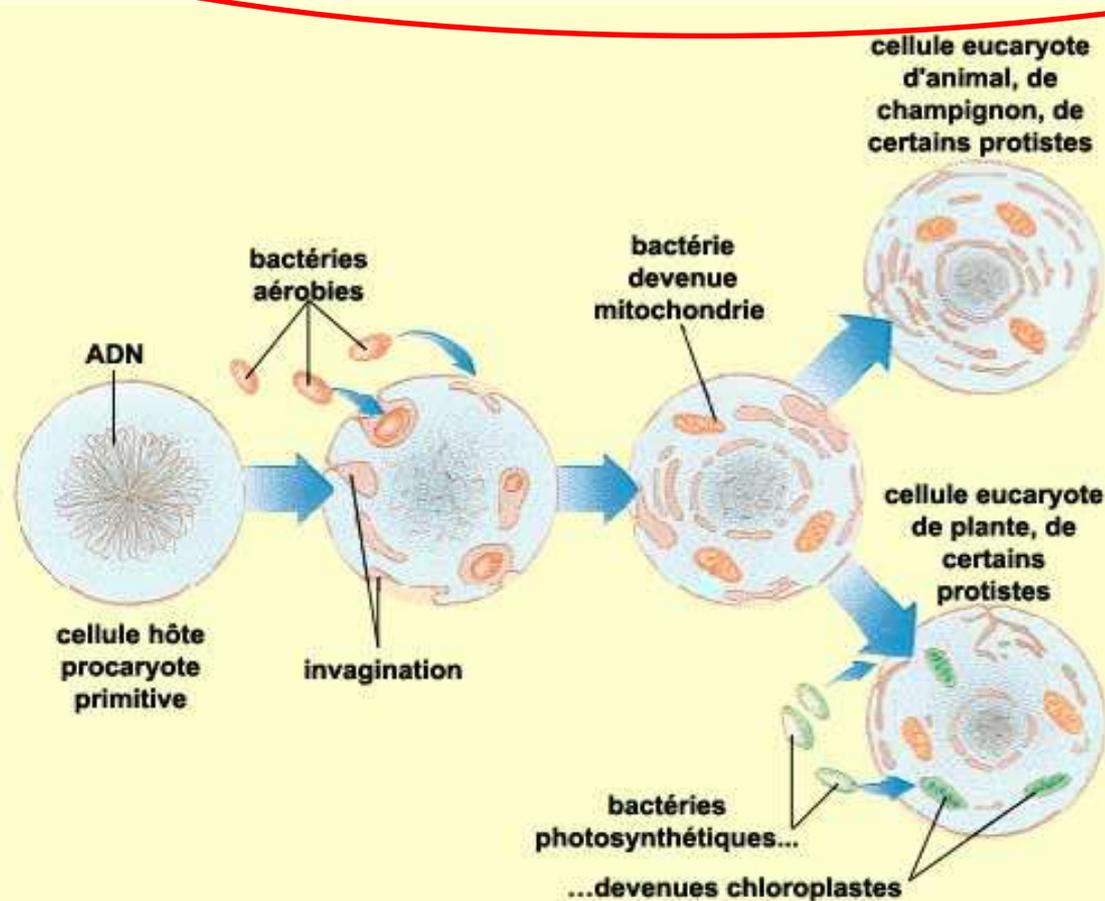
<http://www.slideshare.net/itutor/evolution-and-changes>

*Timeline not to scale.*

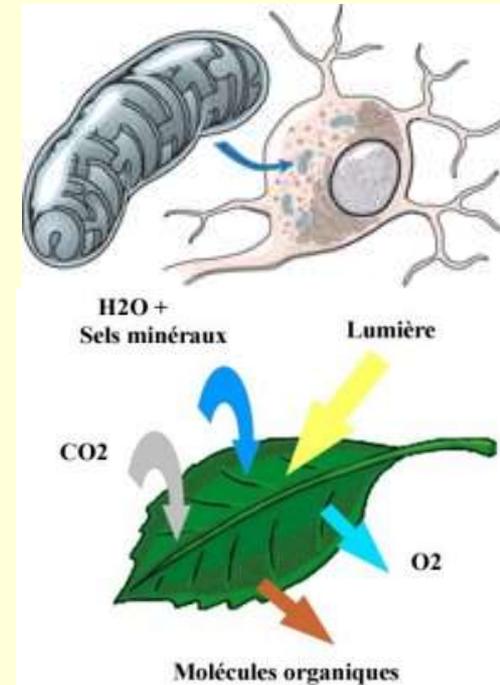
<https://en.wikipedia.org/wiki/Abiogenesis>



« Pas de mutation à l'origine de la **photosynthèse**  
ou pas relation **symbiotique** cellules eucaryotes - bactéries aérobies  
(qui sont des événements **contingents ou accidentels**),  
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.

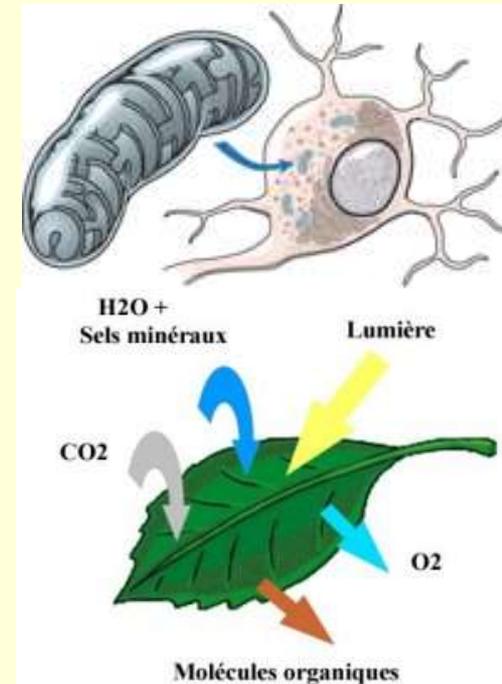
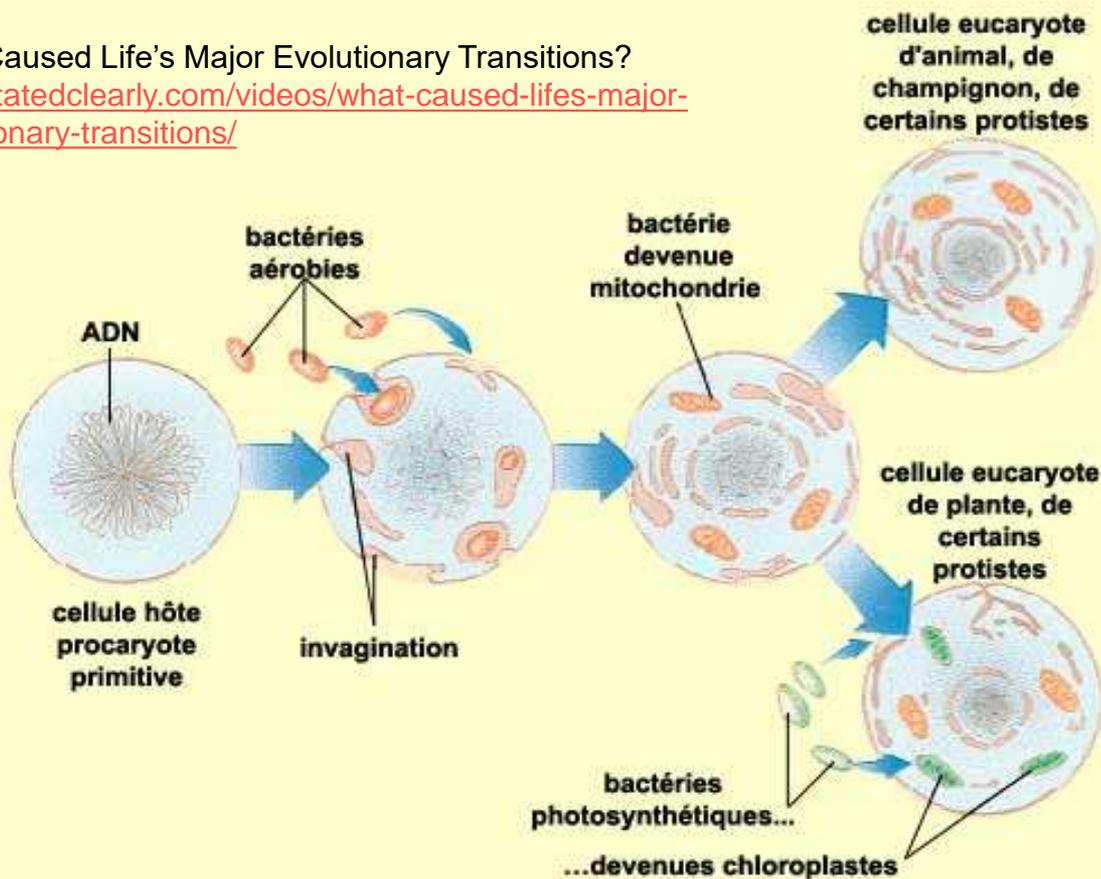


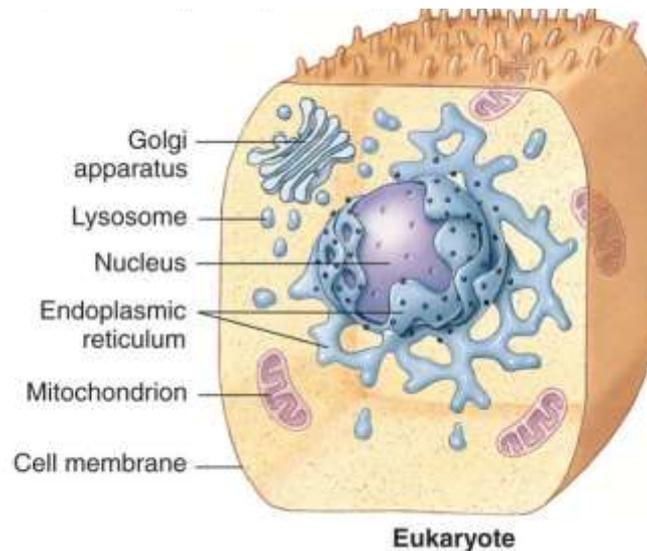
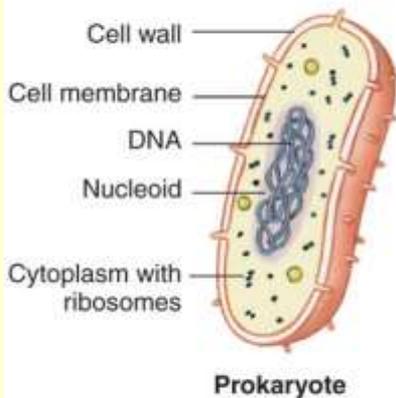
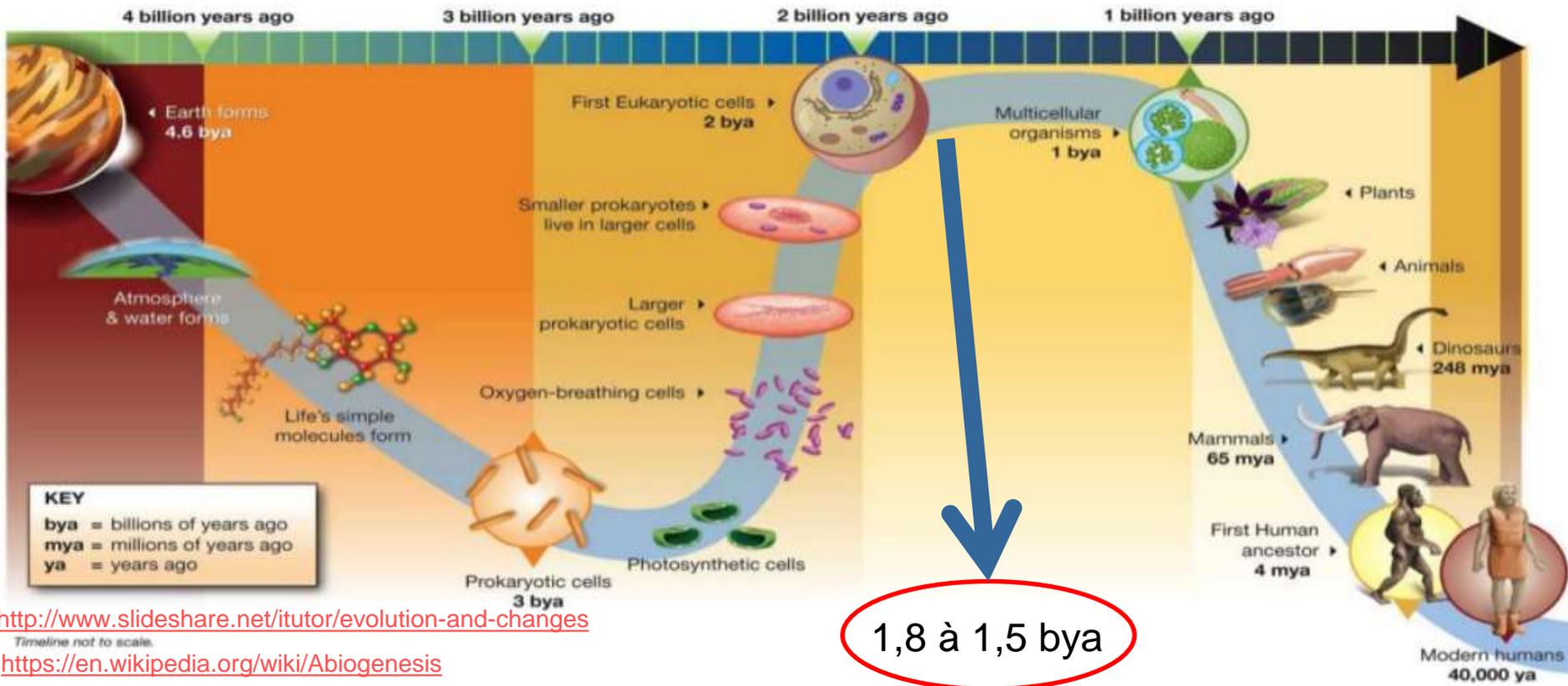
Ces relations symbiotiques constituent ce qu'on appelle une **transition majeure de l'évolution**.

Ces grands moments se sont bien plus souvent produits par la **coopération** entre les organismes que par la compétition.

Major evolutionary transitions in individuality. Stuart A. West, Roberta M. Fisher, Andy Gardner, and E. Toby Kiers (2015) <https://www.pnas.org/content/112/33/10112>

What Caused Life's Major Evolutionary Transitions?  
<http://statedclearly.com/videos/what-caused-lifes-major-evolutionary-transitions/>

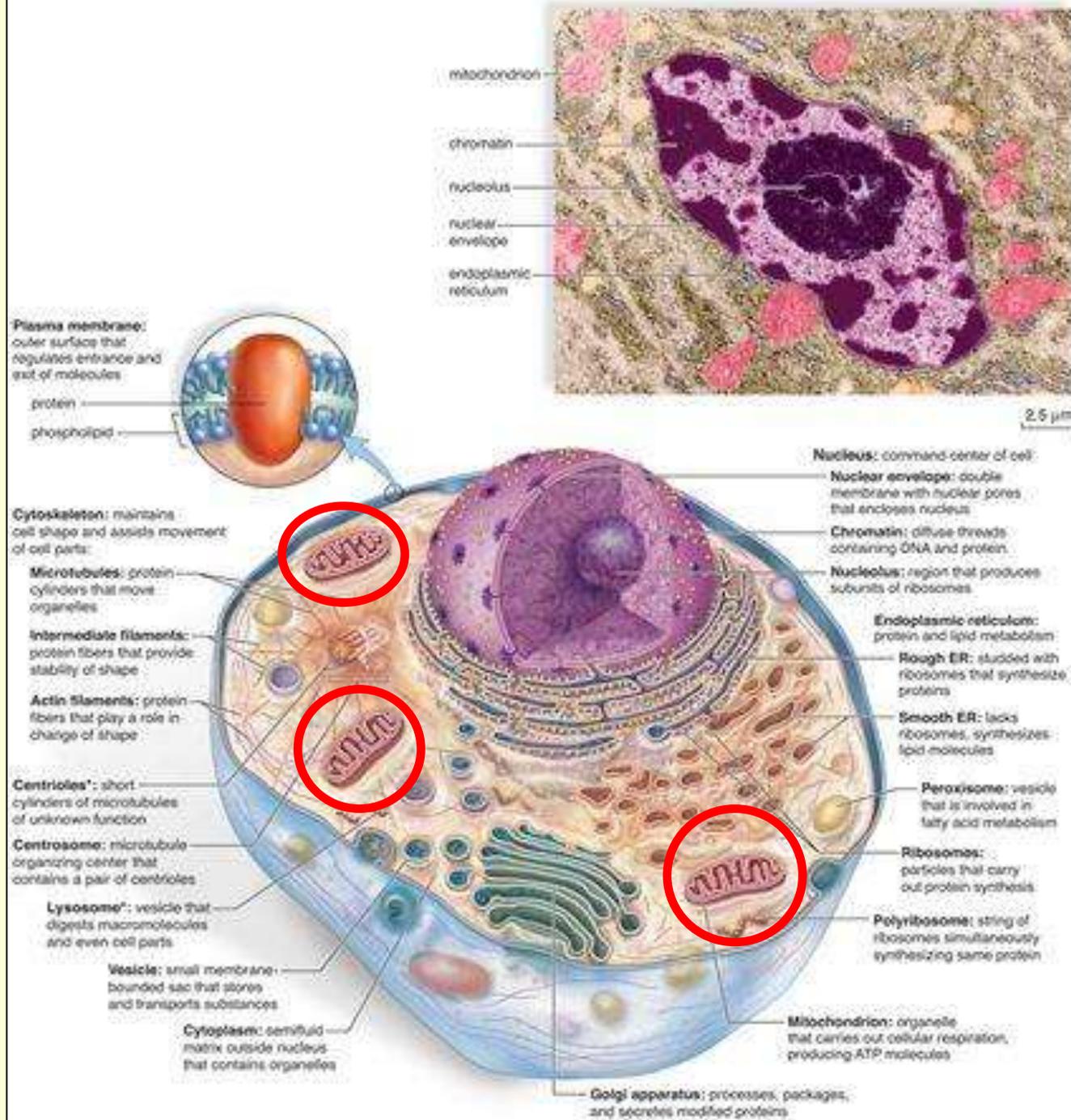




Les réseaux complexes se « compartimentalisent »

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

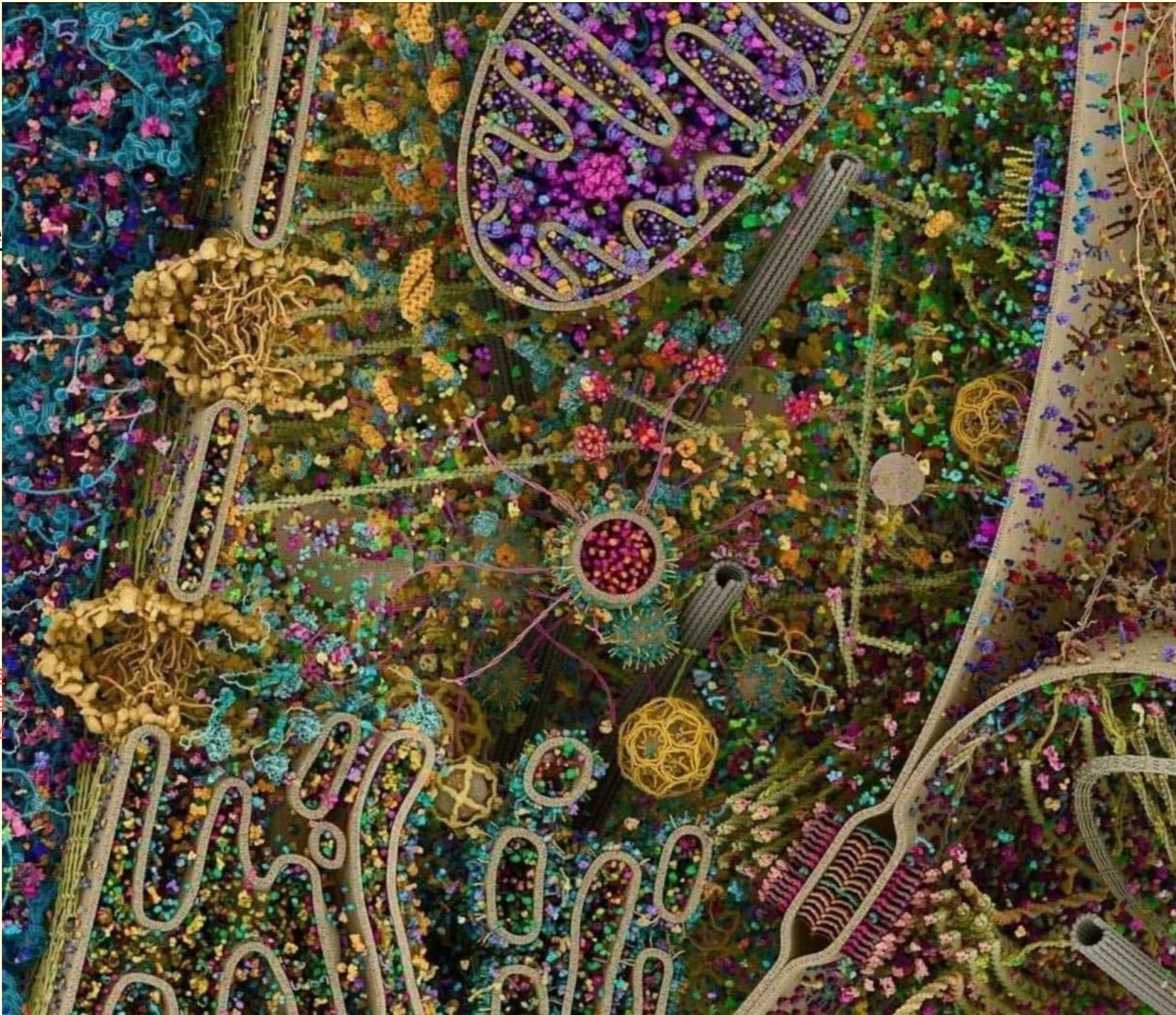
Mais aussi dans différents compartiments, dont un très important, les **mitochondries**.

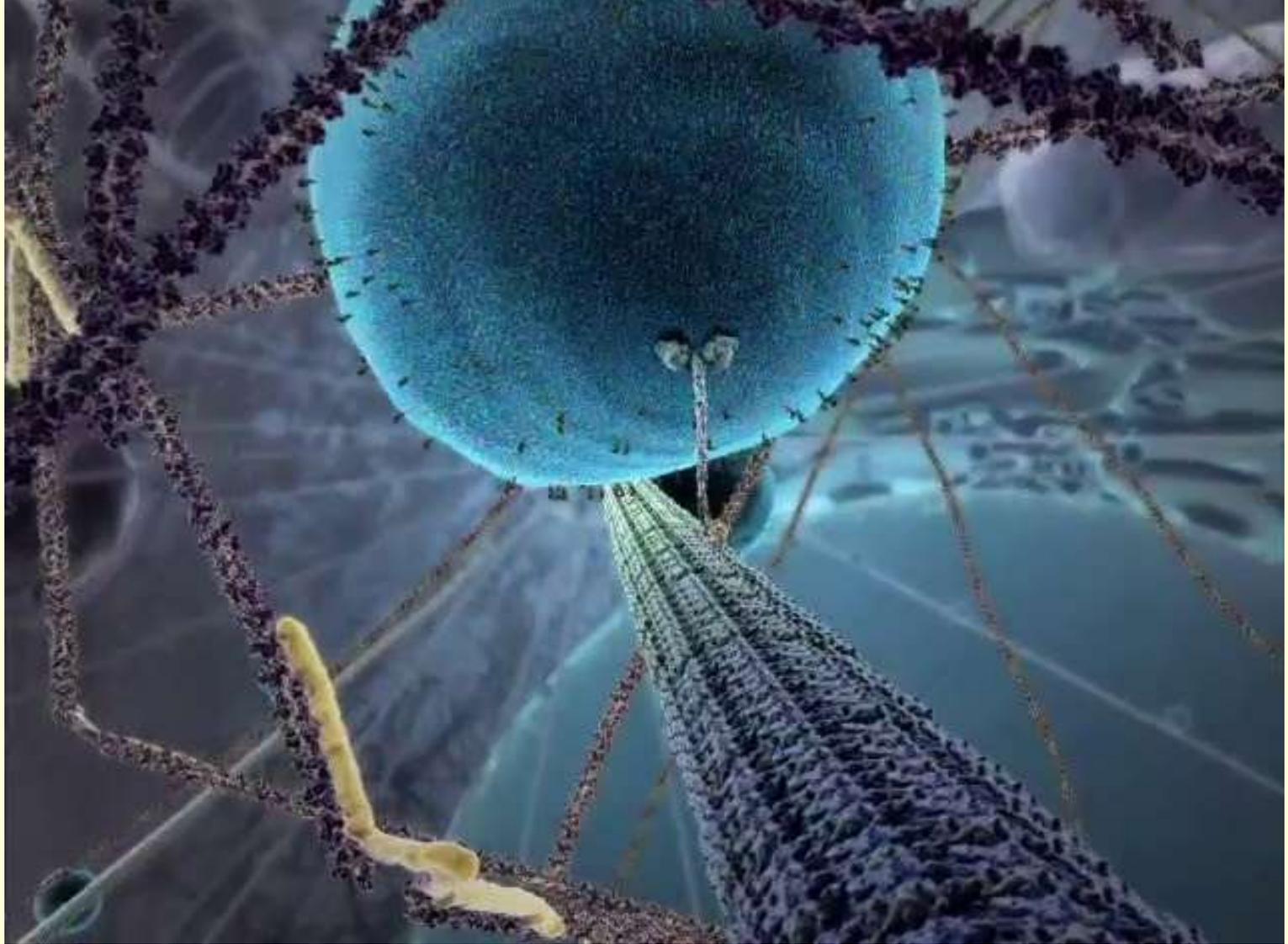


Cryo-  
microscopie  
électronique

Ses  
inventeurs  
ont reçu le  
prix Nobel  
de chimie  
en 2017.

<https://aimergence.com/microscopie-cryo-electronique/>



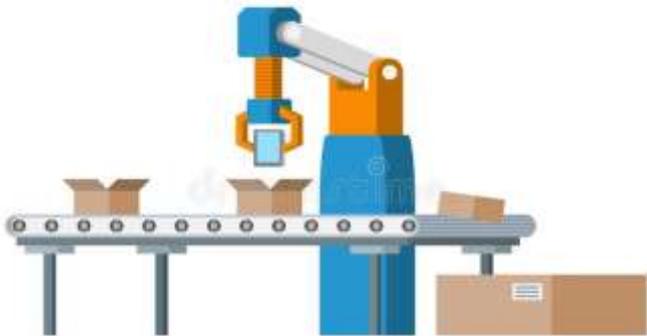
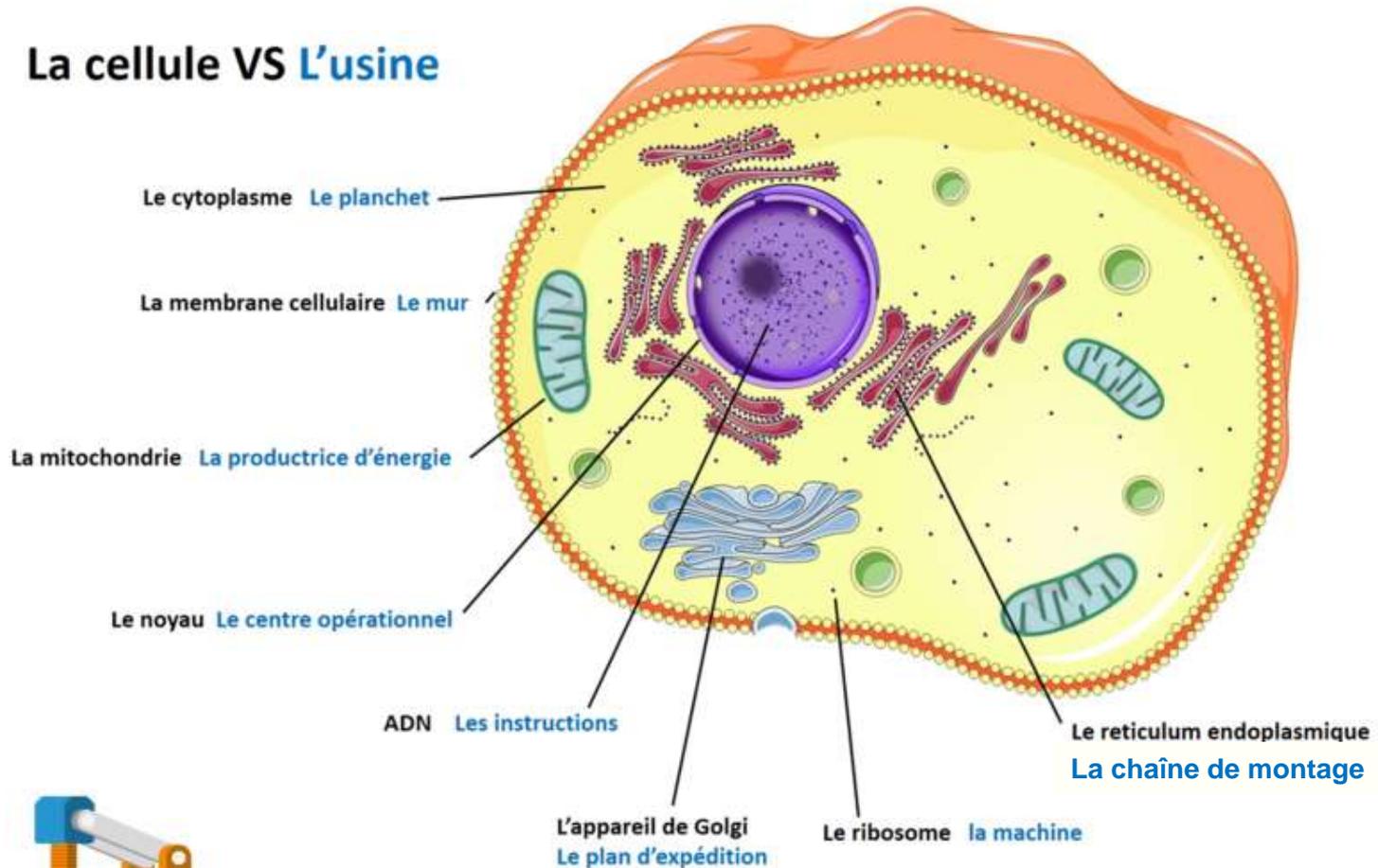


**Inner Life of the Cell with Music (BioVisions)**

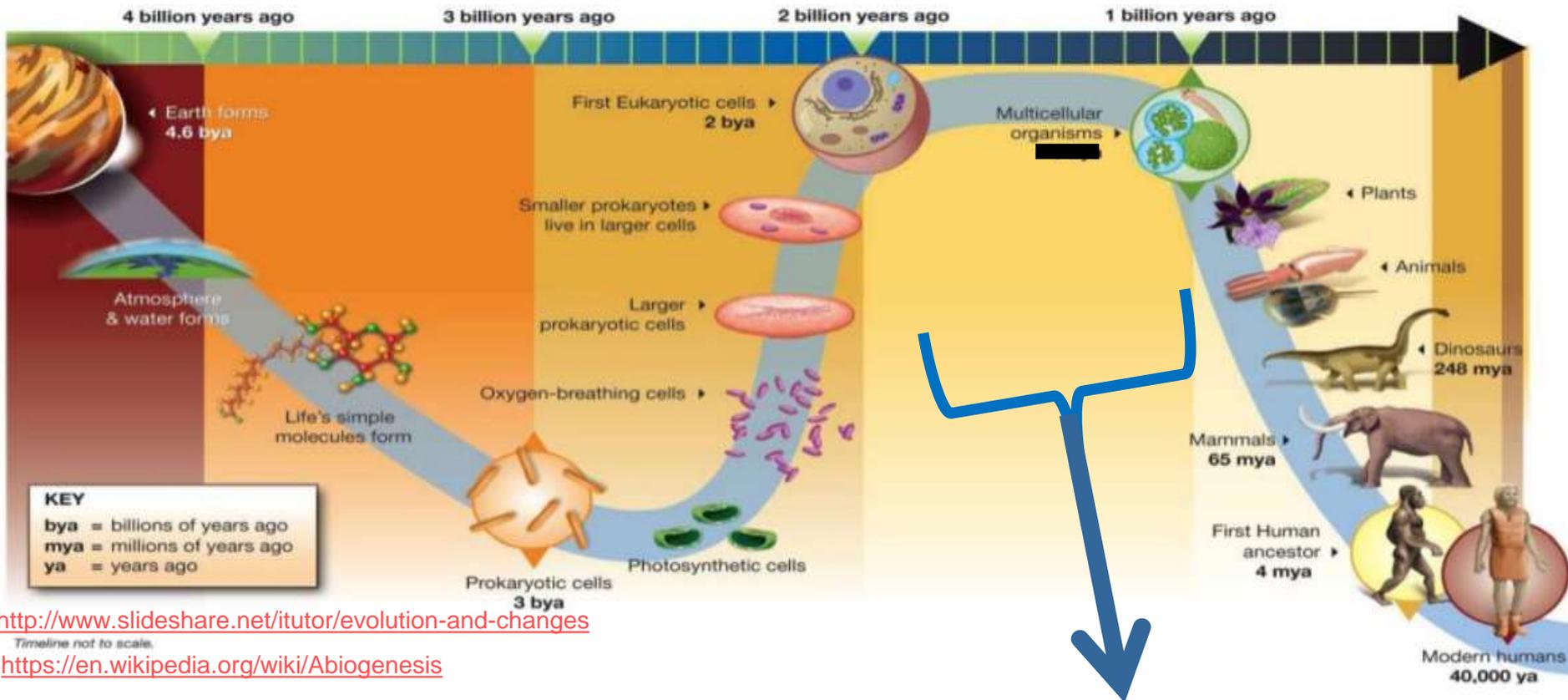
<https://www.youtube.com/watch?v=Nnpl4mE-pX0>

Si la cellule est une petite « usine chimique »...

## La cellule VS L'usine



...c'en est une crissement complexe !



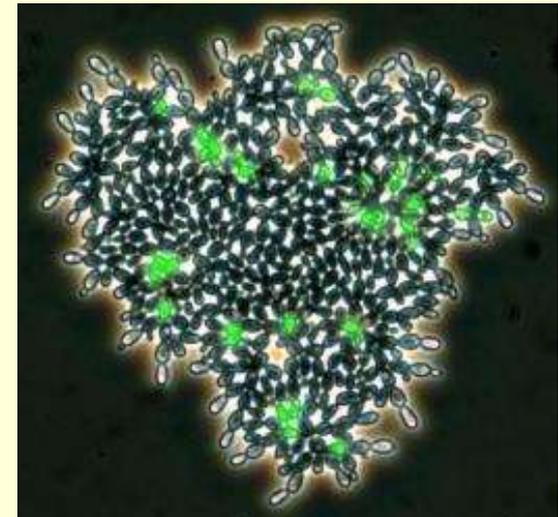
<http://www.slideshare.net/itutor/evolution-and-changes>

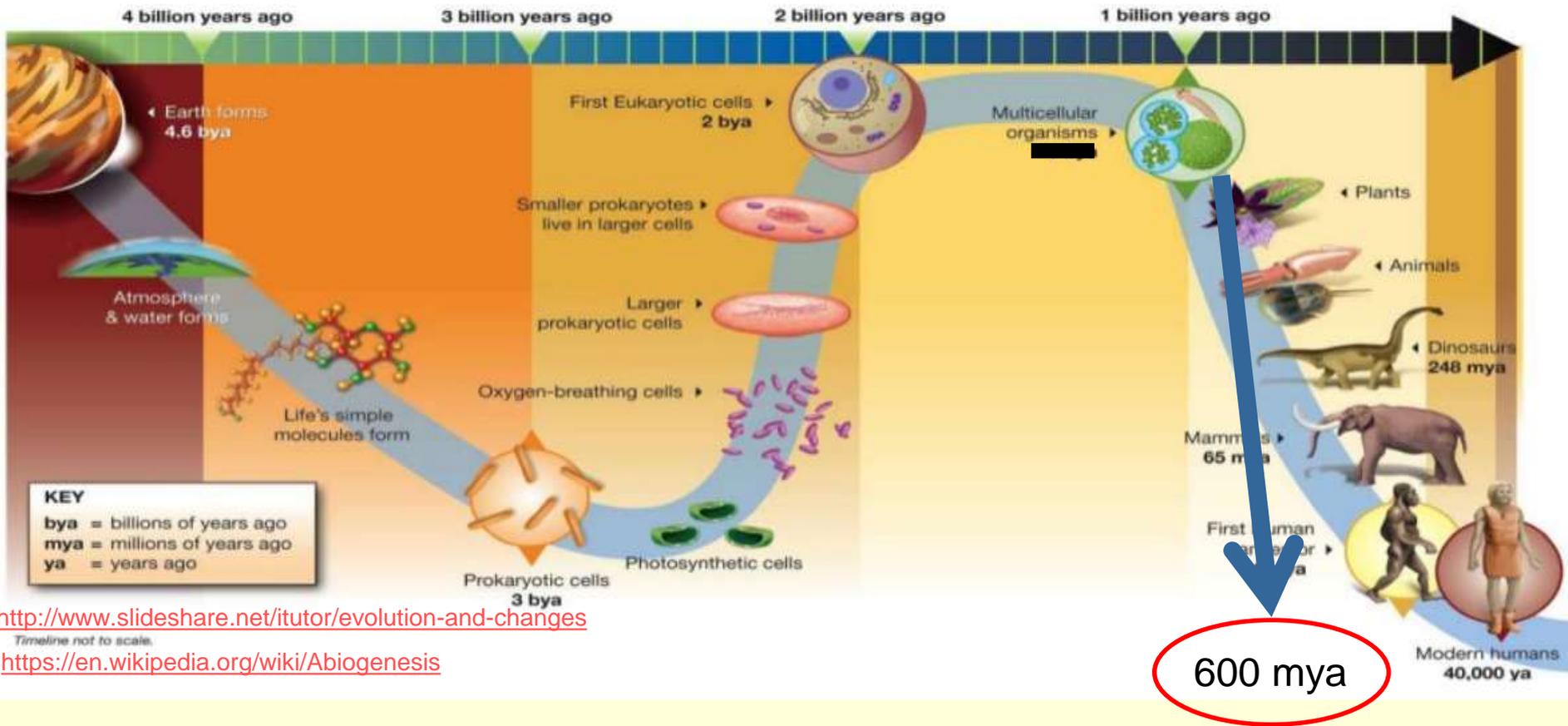
*Timeline not to scale.*

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

À partir d'il y a environ 2 milliards d'années, on estime que la **multicellularité** est apparue au moins 25 fois au cours de l'évolution, par des mécanismes différents.

→ Autre transitions majeures de l'évolution !



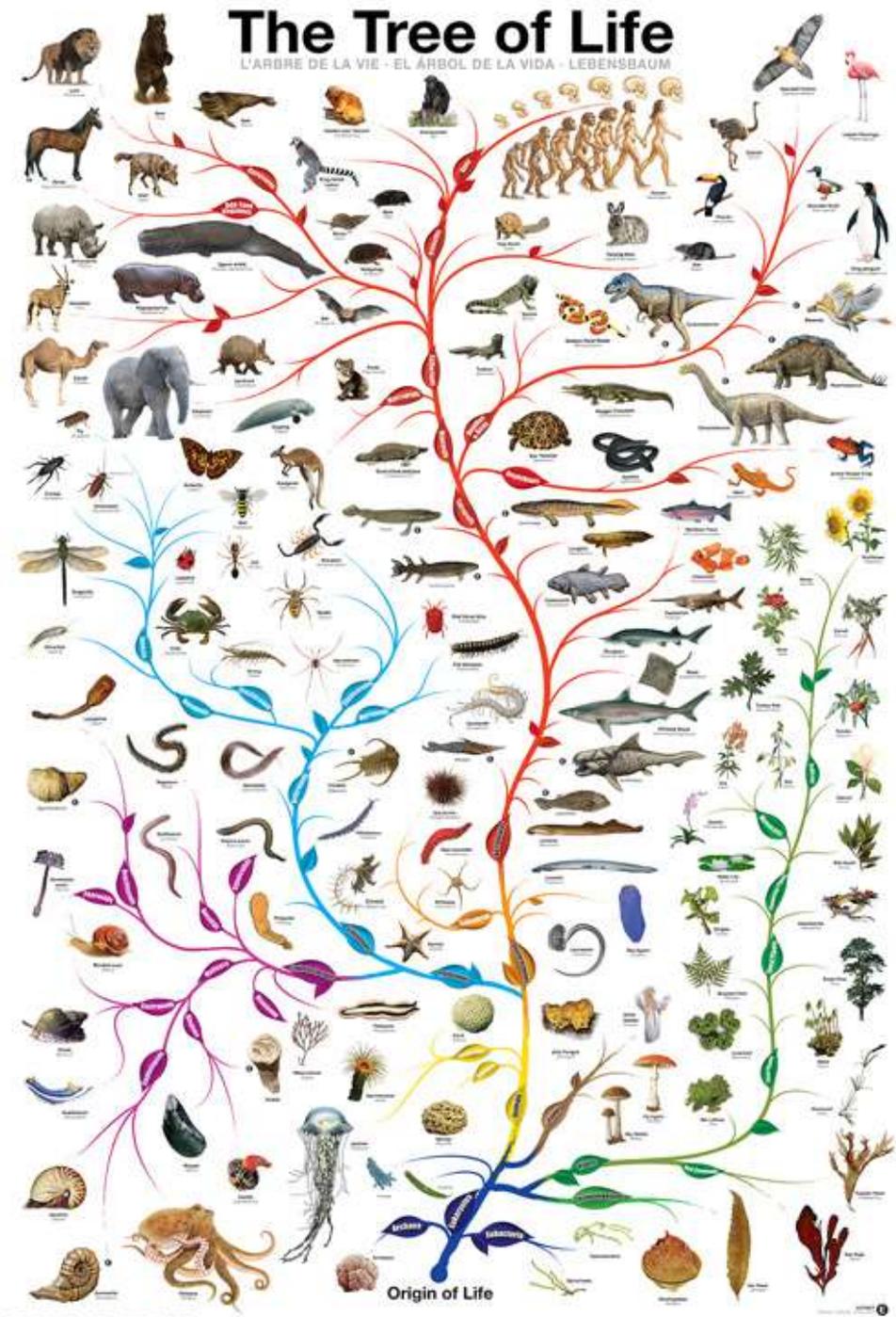
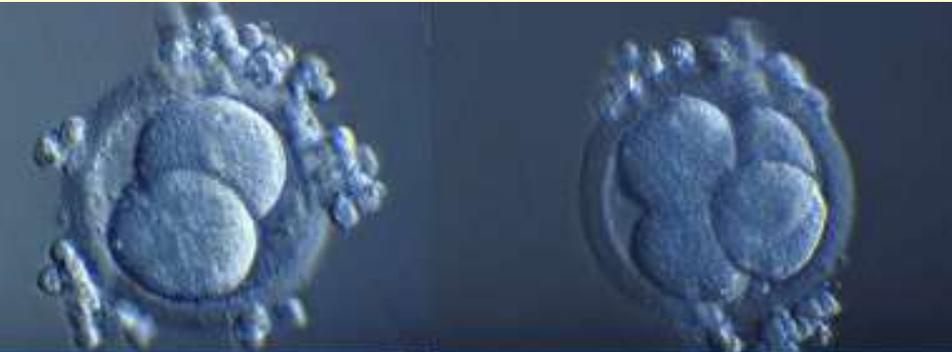
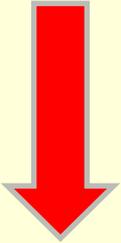
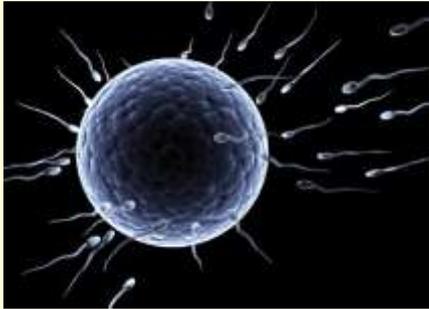


<http://www.slideshare.net/itutor/evolution-and-changes>  
<https://en.wikipedia.org/wiki/Abiogenesis>

L'émergence de la vie **multicellulaire** apparaît véritablement il y a un peu plus de **600 millions d'années**

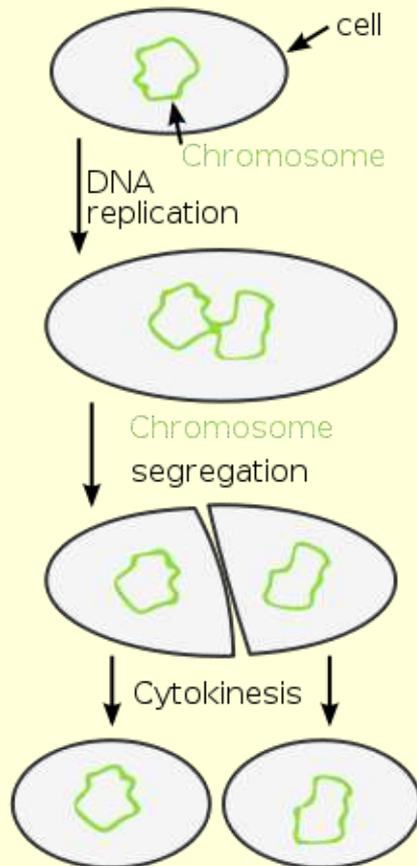
(les animaux multicellulaires les plus simples d'aujourd'hui (les **éponges**) seraient apparus au plus tard il y a **635 millions d'années**).



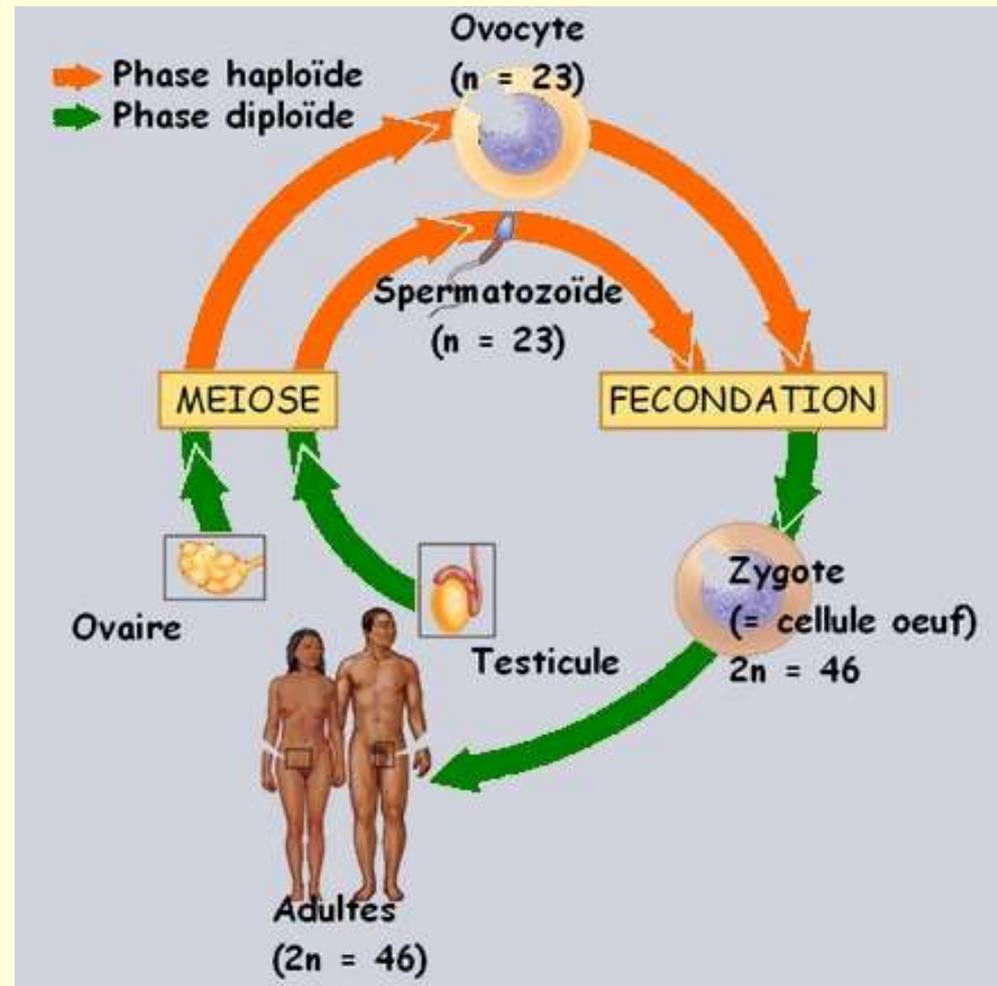


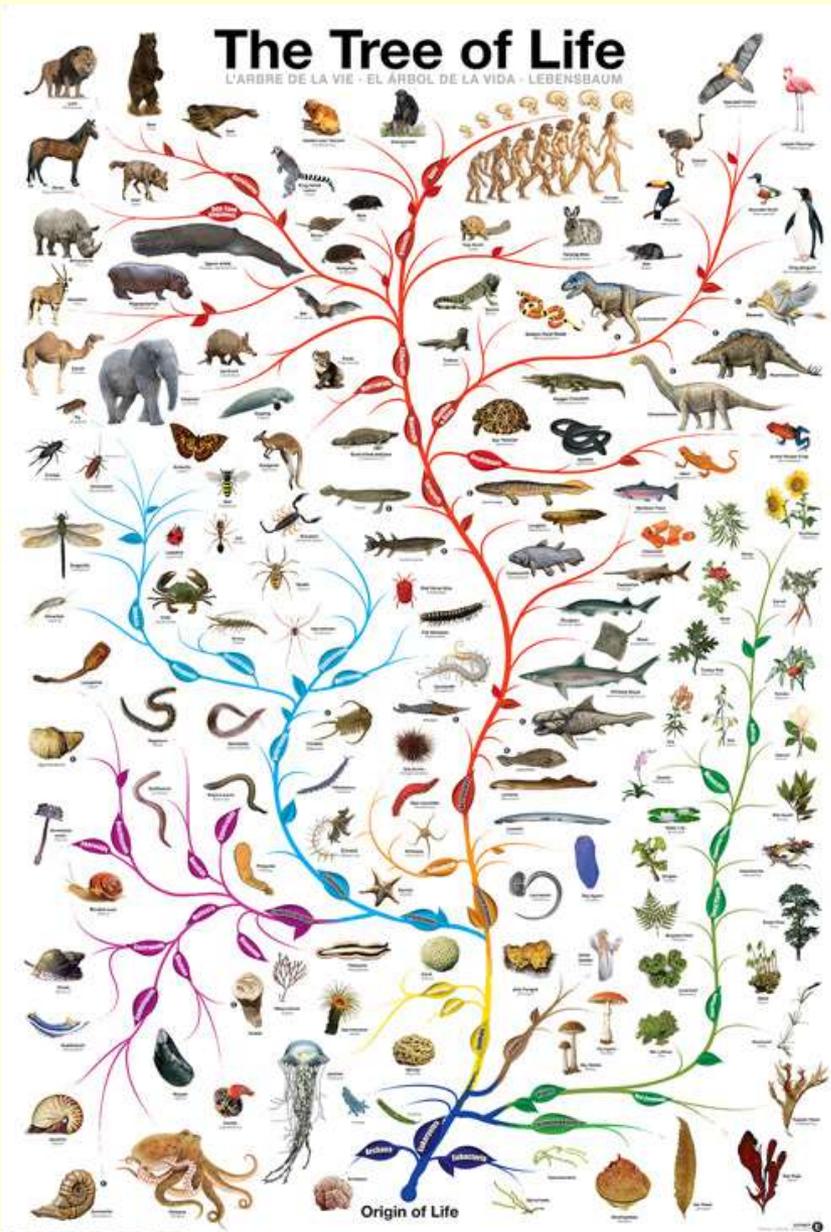
Autre étape importante : apparition de la **reproduction sexuée**, vraisemblablement avec les premiers eucaryotes.

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

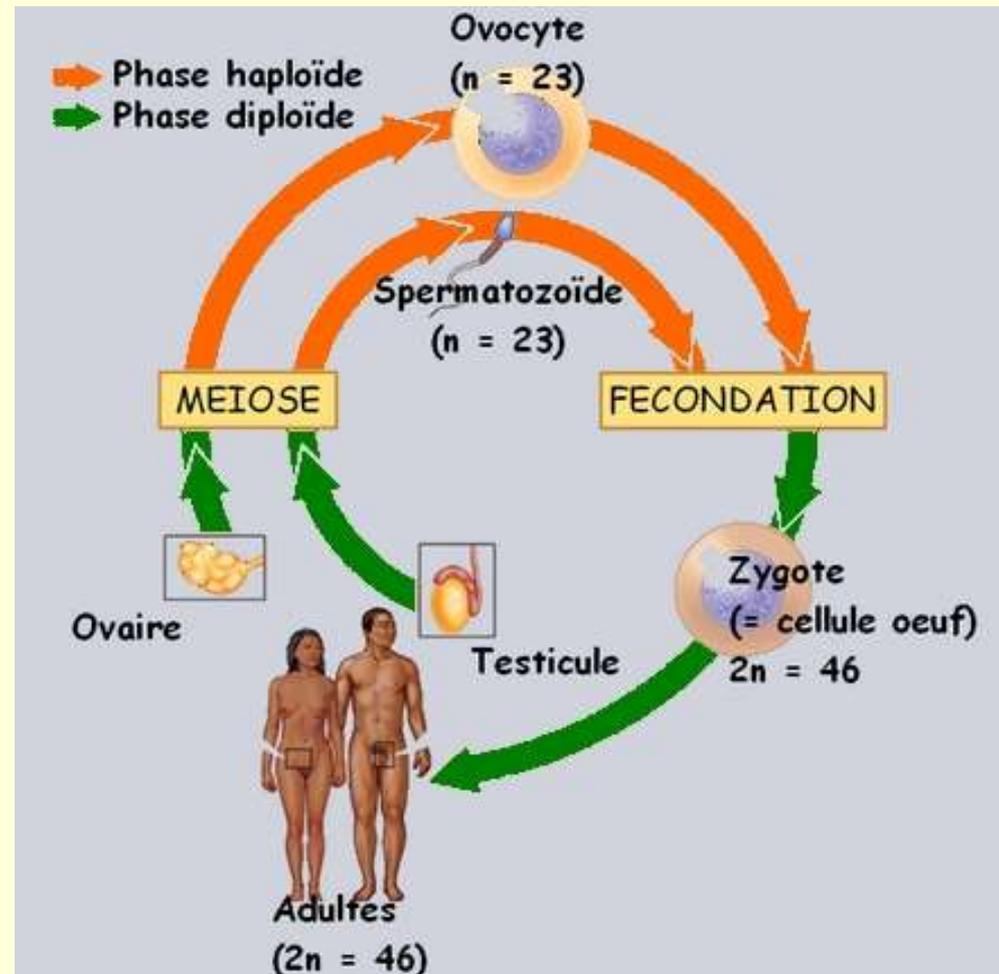


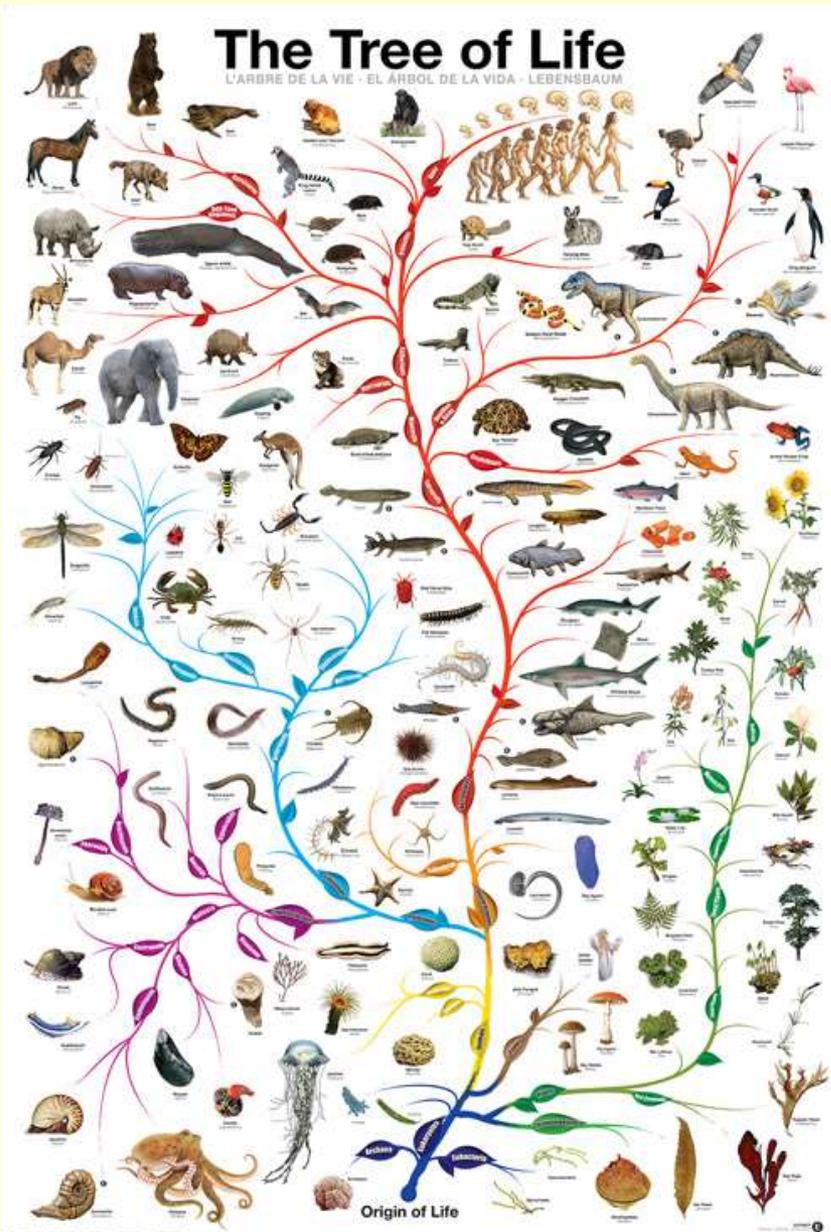
La sexualité : **deux** « parent » se mettent ensemble pour faire **un** individu toujours **différent** grâce au **brassage** du patrimoine génétique (crée beaucoup plus de **diversité**)





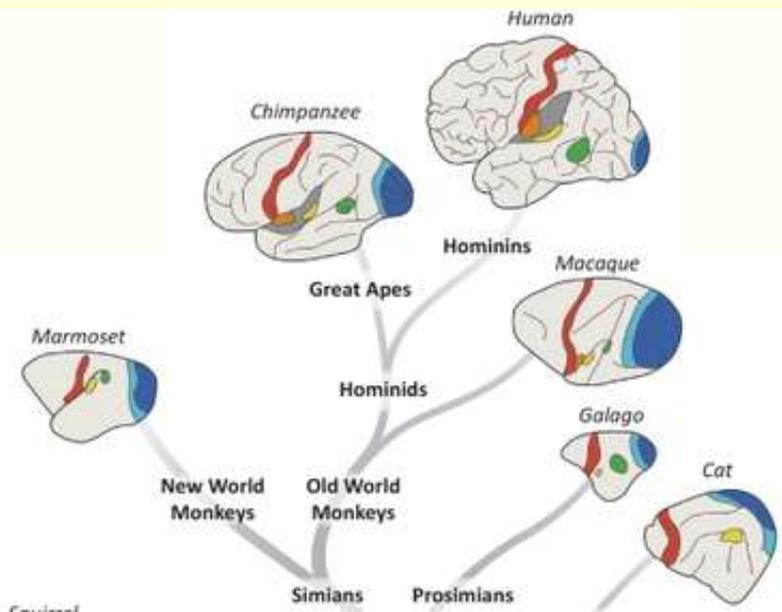
La sexualité : **deux** « parent » se mettent ensemble pour faire **un** individu toujours **différent** grâce au **brassage** du patrimoine génétique (crée beaucoup plus de **diversité**)





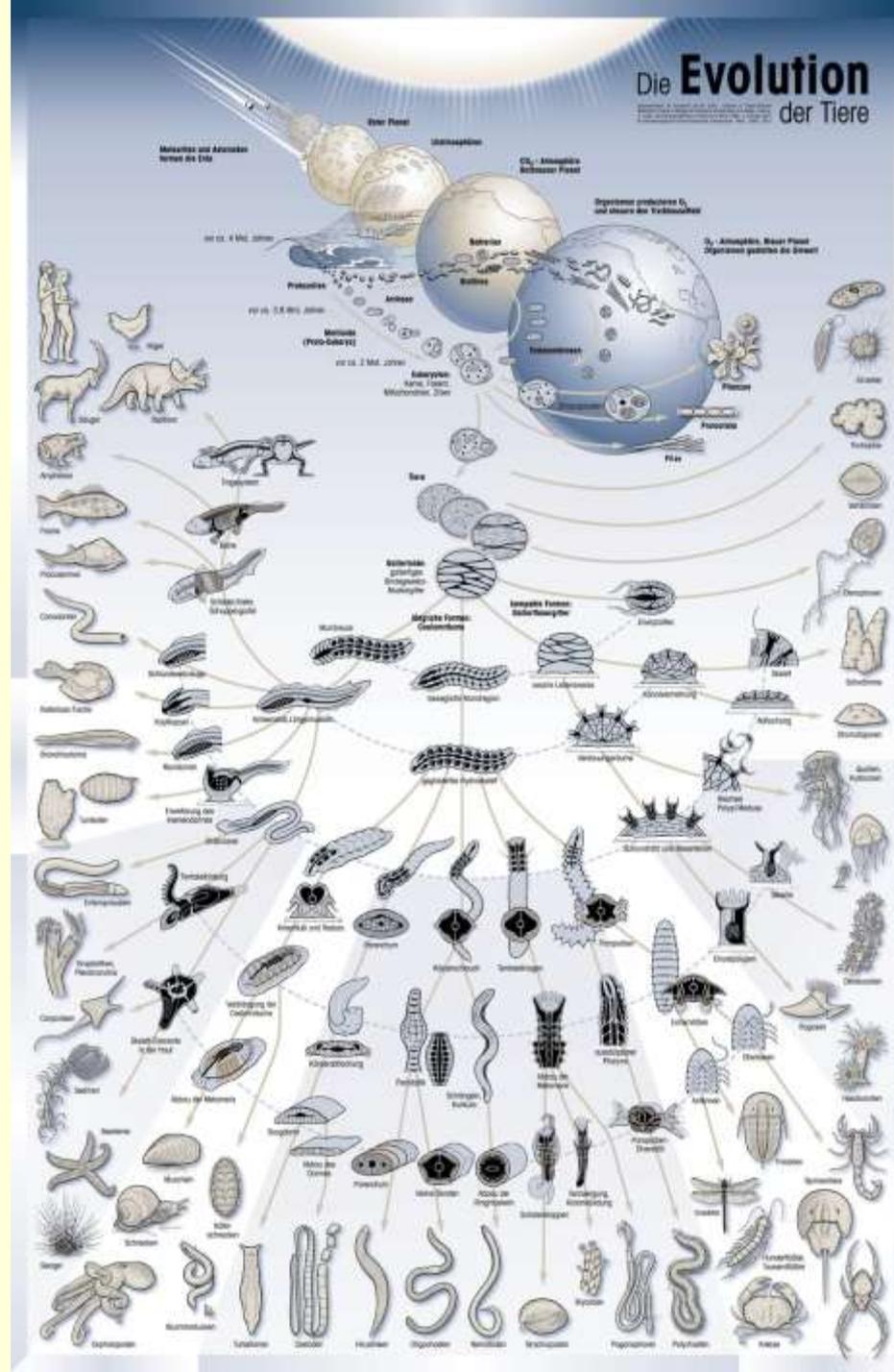
« Pas de sexualité, peu de diversité.  
 Peu de diversité, peu d'évolution  
 biologique. »

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



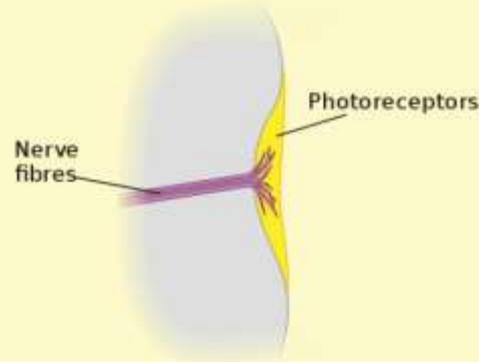
# Un moteur important de l'évolution : La sélection naturelle

- 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.

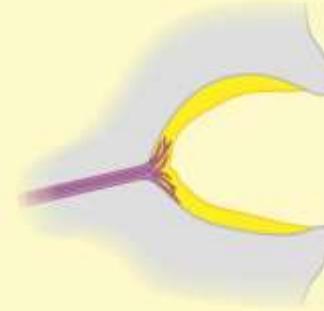


# L'exemple de l'oeil

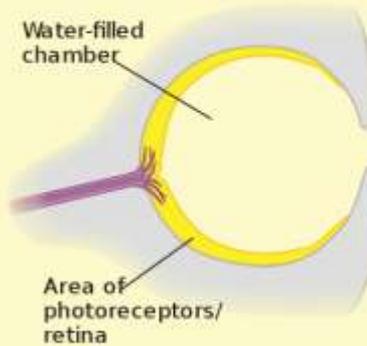
a) Region of photosensitive cells



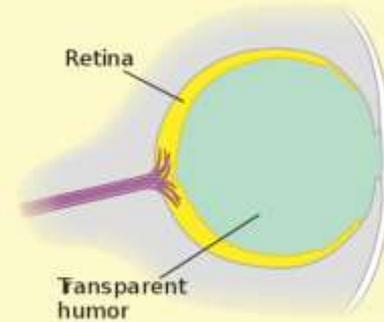
b) Depressed/folded area allows limited directional sensitivity



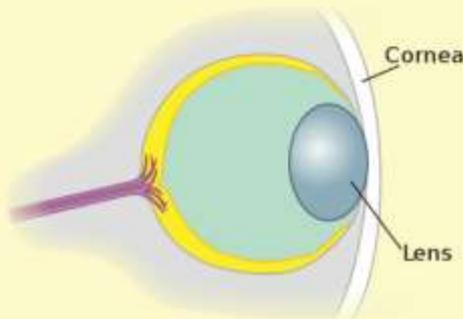
c) "Pinhole" eye allows finer directional sensitivity and limited imaging



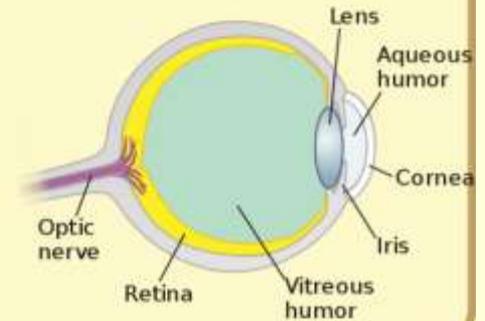
d) Transparent humor develops in enclosed chamber



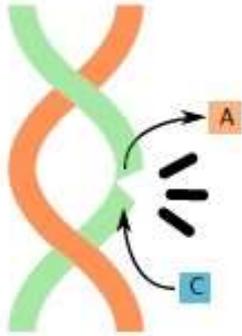
e) Distinct lens develops



f) Iris and separate cornea develop

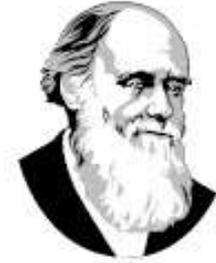


# Mutations



Modification aléatoire des allèles

# Sélection naturelle



Sélection des allèles selon l'avantage ou le désavantage reproductif qu'ils confèrent

**Structure génétique**

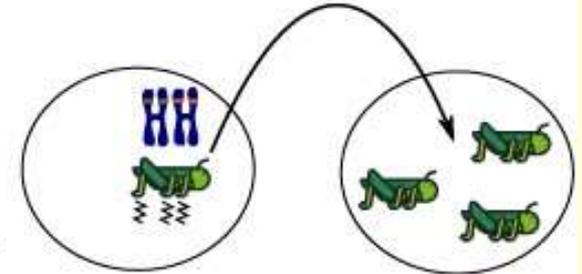
Diversité de la

# Dérive génétique



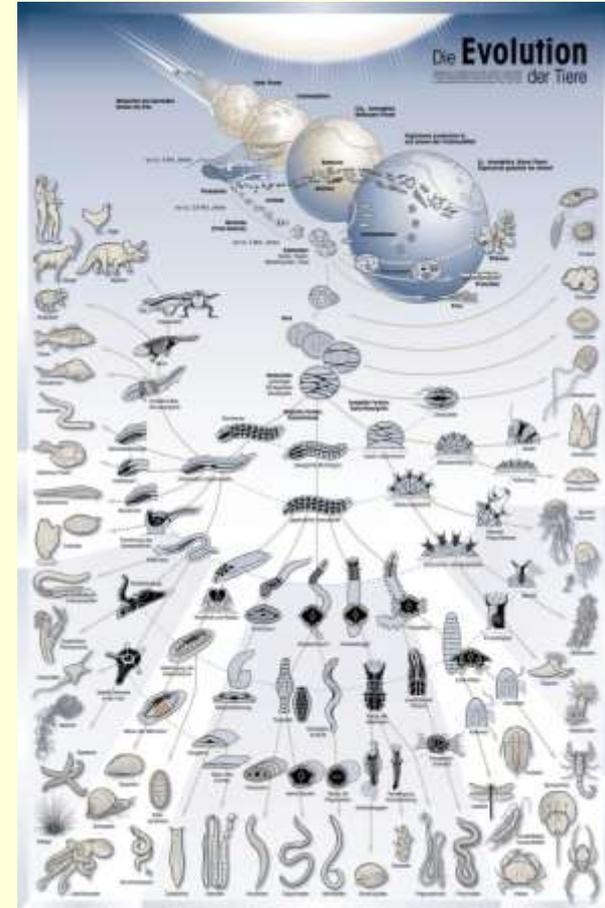
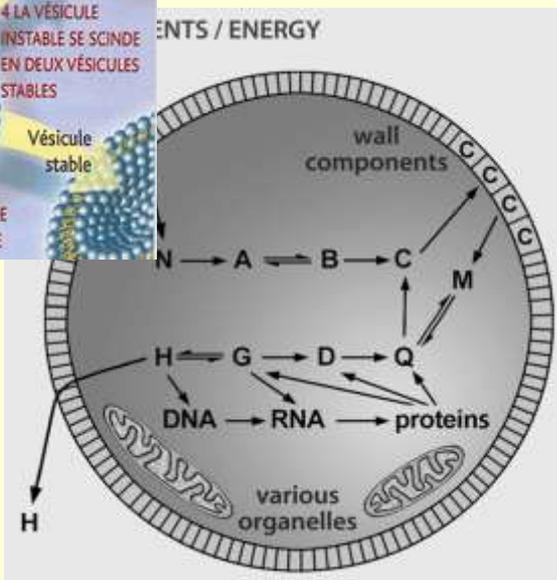
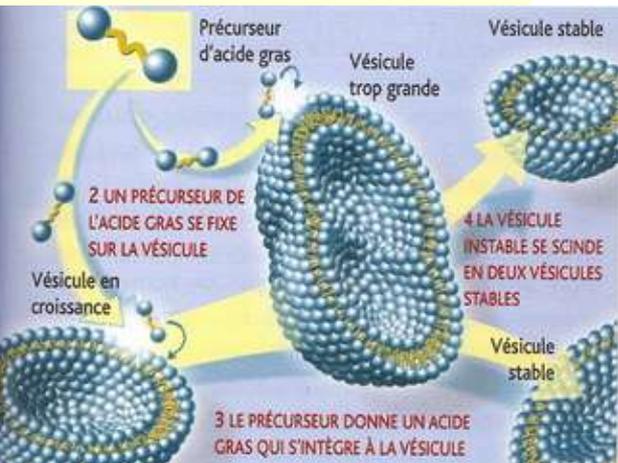
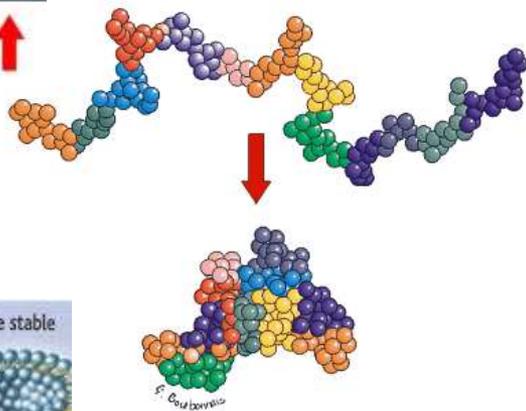
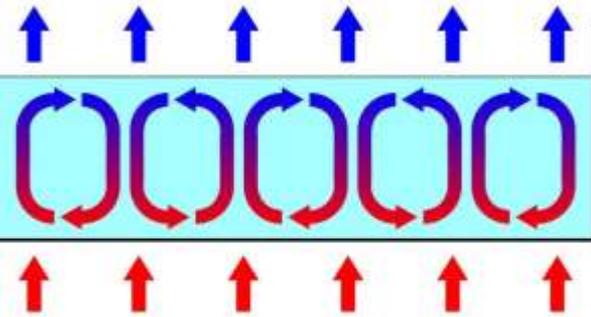
Perte aléatoire d'allèles lors de la reproduction

# Flux génétique



Echange d'allèles entre populations

# Auto-organisation + Diversité & Sélection



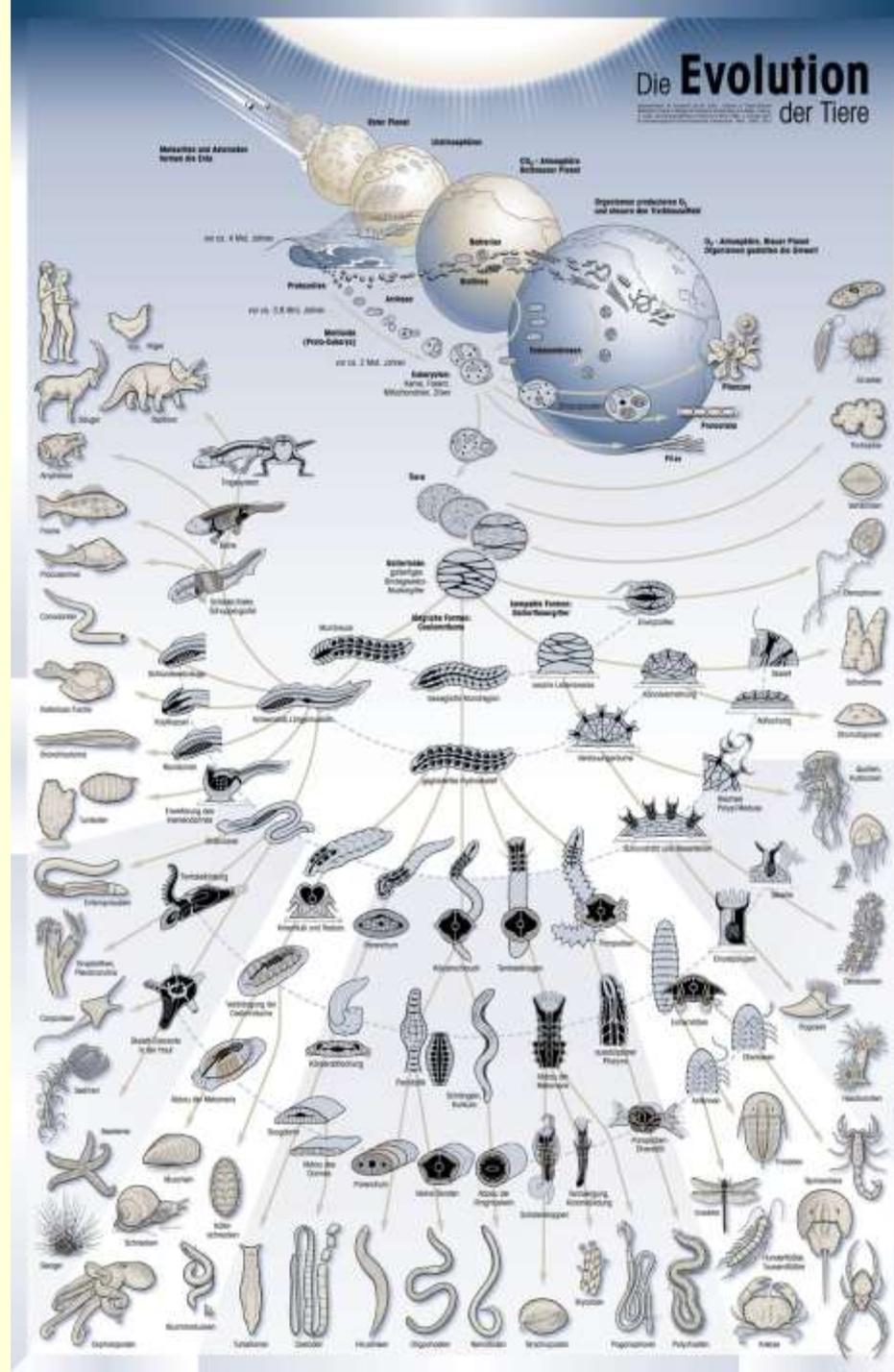
= deux processus fondamentaux qui se renforcent mutuellement (théorie des systèmes évolutifs)

Important :

→ Si un organisme survit, c'est que sa structure est **suffisamment compatible** avec celle de l'environnement dans lequel ils se trouve, et pas nécessairement « optimale » .

« Le monde compte 4 millions d'animaux et de végétaux différents – 4 millions de solutions au même problème : **rester en vie.** »

- David Attenborough,  
réalisateur naturaliste, 1926-  
*La vie sur Terre*, 1979



# Plan de la séance

**Introduction** : Cours de biologie 101 plate comme on en a tous eus !  
(une base commune de ce qu'il y a à comprendre...  
sans donner les bons outils pour le faire)

Toujours avoir une **perspective évolutive**

Le vivant est fait de multiples **niveaux d'organisation**  
dont il doit **maintenir la structure**

L'évolution **cosmique** : « Nous sommes faits de poussières d'étoiles »

L'évolution **chimique** : Des molécules de plus en plus complexes

L'évolution **biologique** : Qu'est-ce que la vie ?

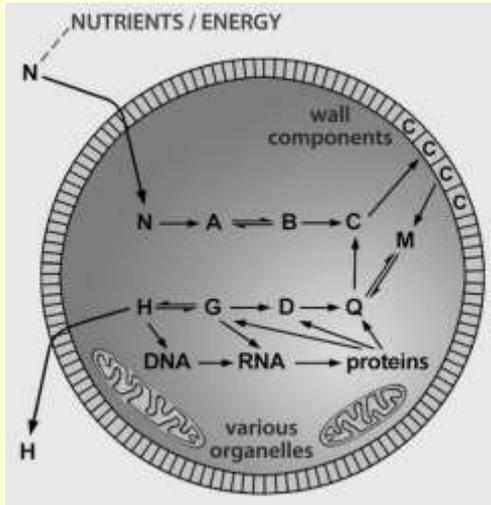
**L'origine de la vie** sur Terre

**Transitions majeures** de l'évolution et **reproduction sexuée**

**Les multicellulaires** et l'émergence des **systèmes nerveux**

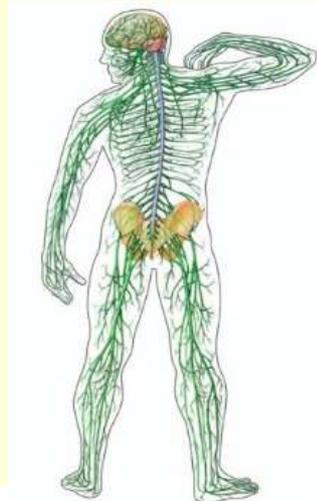
→ couplages de premier ordre

(Maturana et Varela)

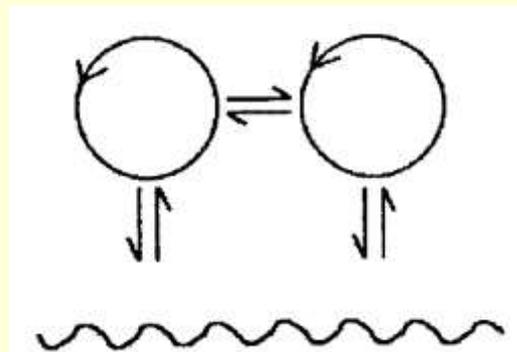
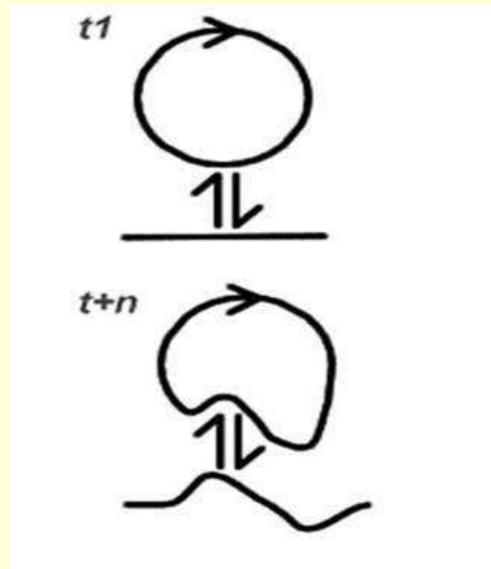
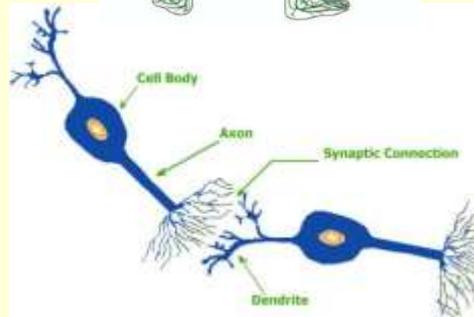


→ couplages de deuxième ordre

entre les cellules du corps entier

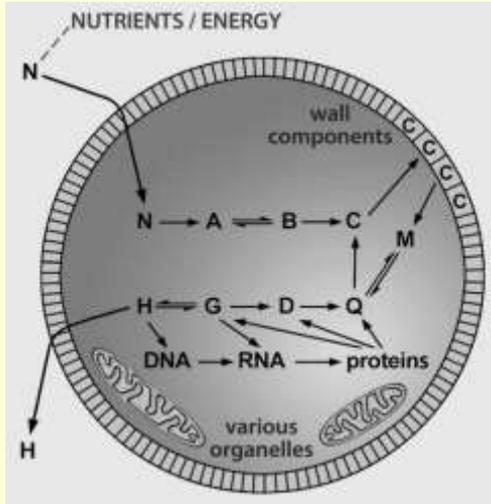


Dans tout organisme vivant multicellulaire...



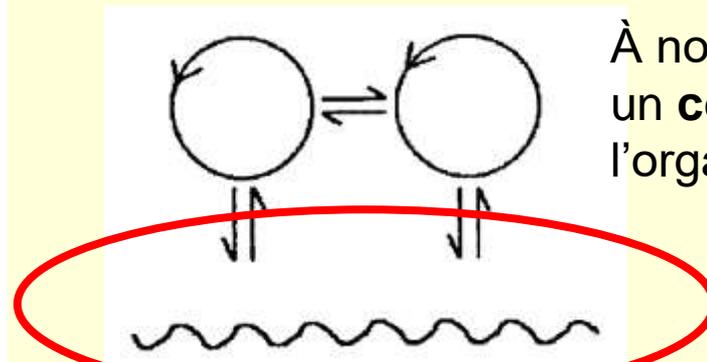
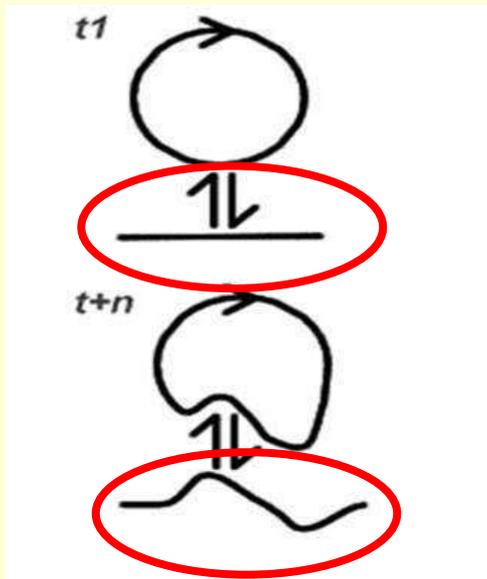
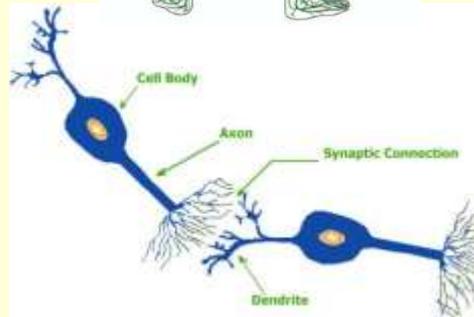
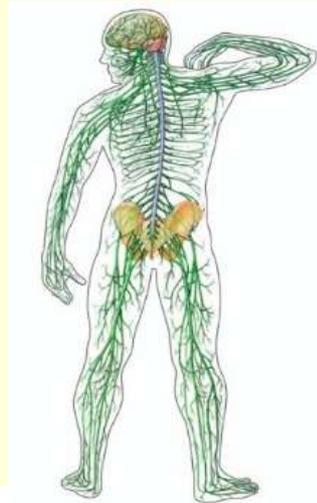
→ couplages de premier ordre

(Maturana et Varela)



→ couplages de deuxième ordre

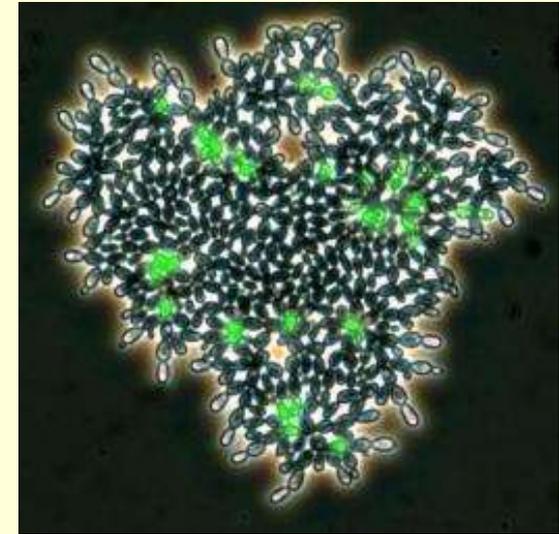
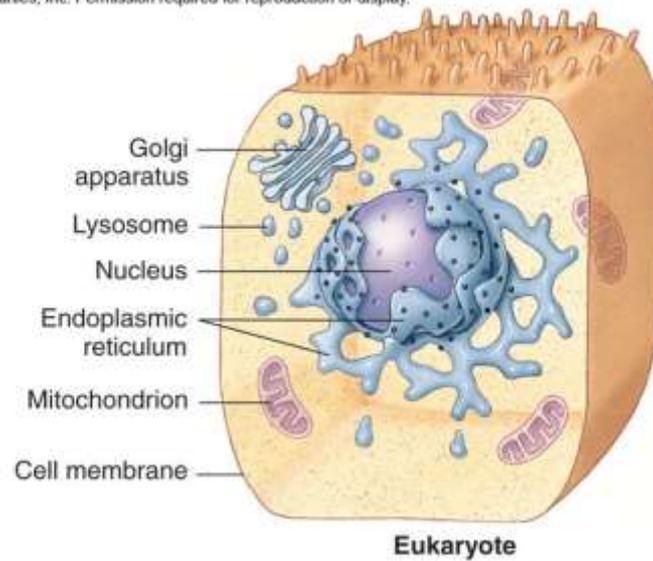
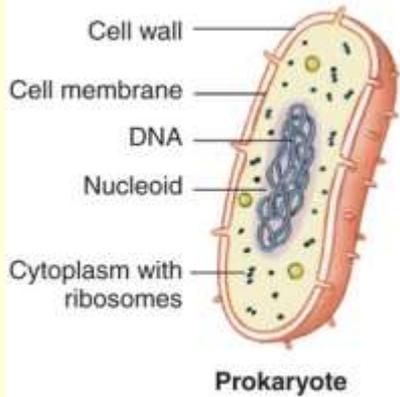
entre les cellules du corps entier



À noter qu'il y a toujours en plus un **couplage sensorimoteur** de l'organisme avec l'**environnement**

# Qu'apporte le passage des unicellulaires aux pluricellulaires ?

Copyright © The McGraw-Hill Companies, Inc. Permission required for reproduction or display.



# Accélération du 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

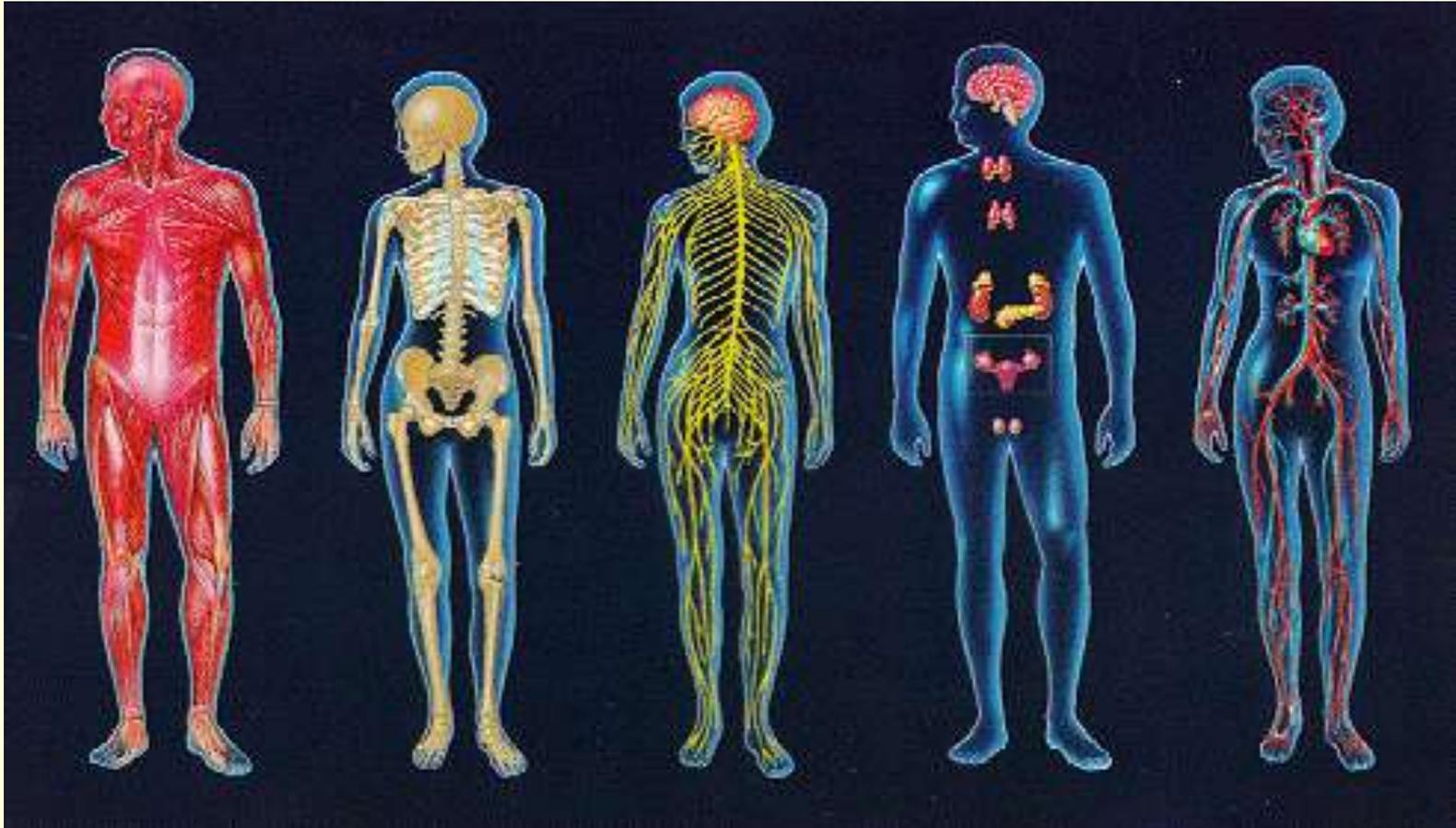
Ces cellules spécialisées vont former différents **tissus** et **organes**,  
et finalement différents **grands systèmes...**

Musculo-squelettique

Nerveux

Endocrinien

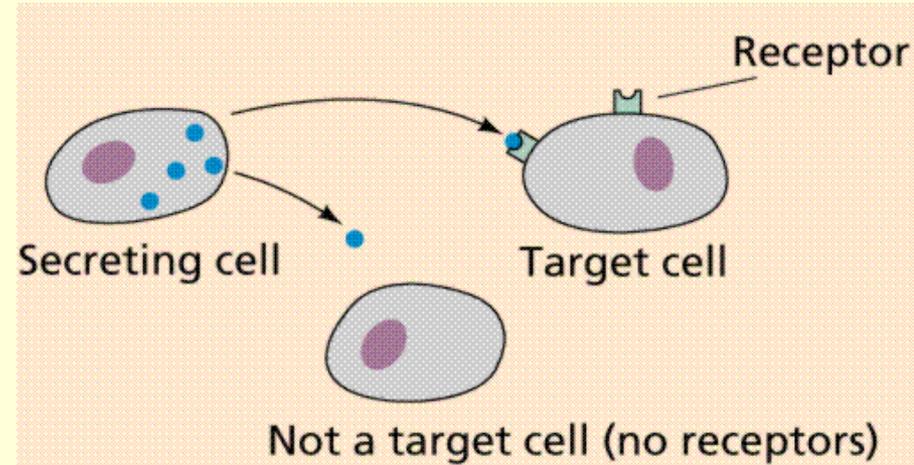
Circulatoire



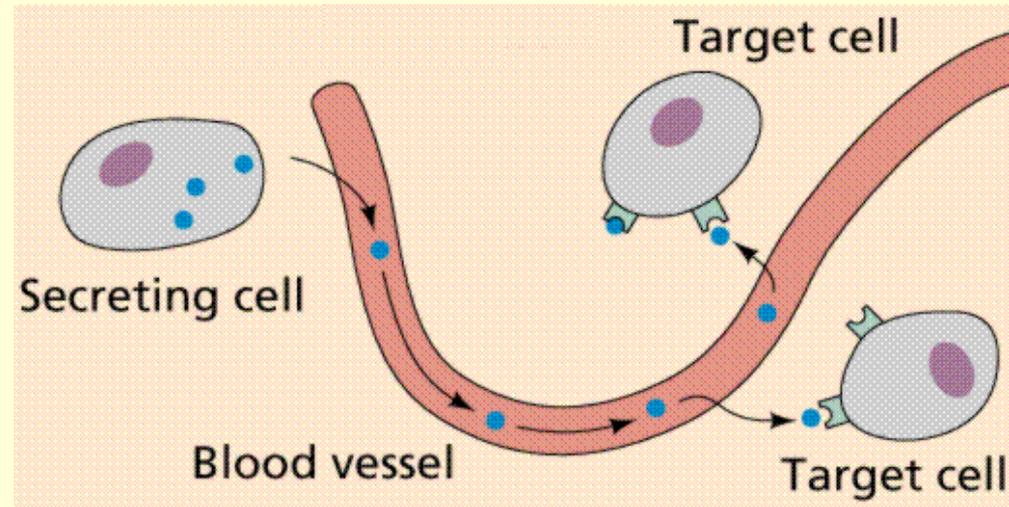
Mais leur origine...

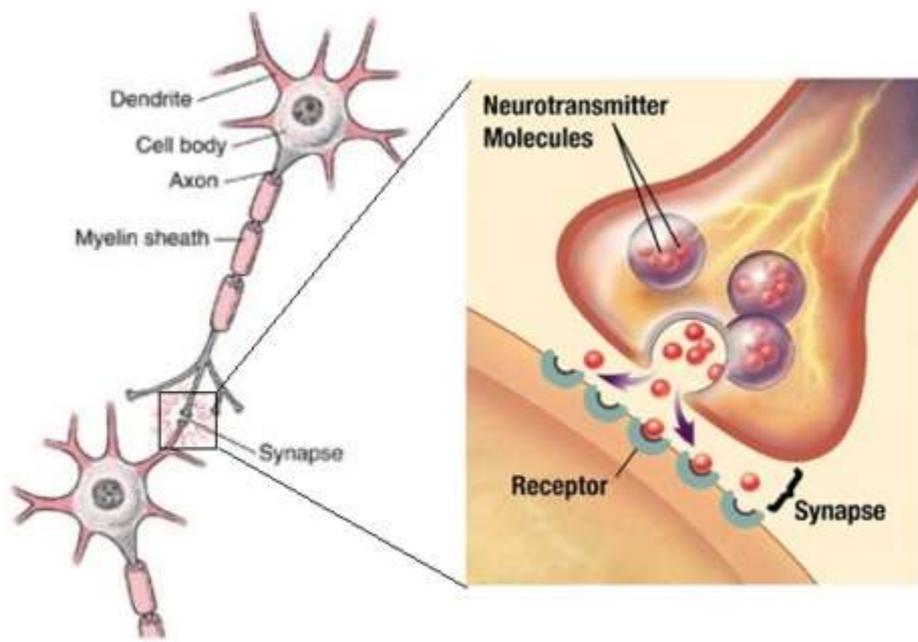


...est très ancienne et moins « tranchée » !

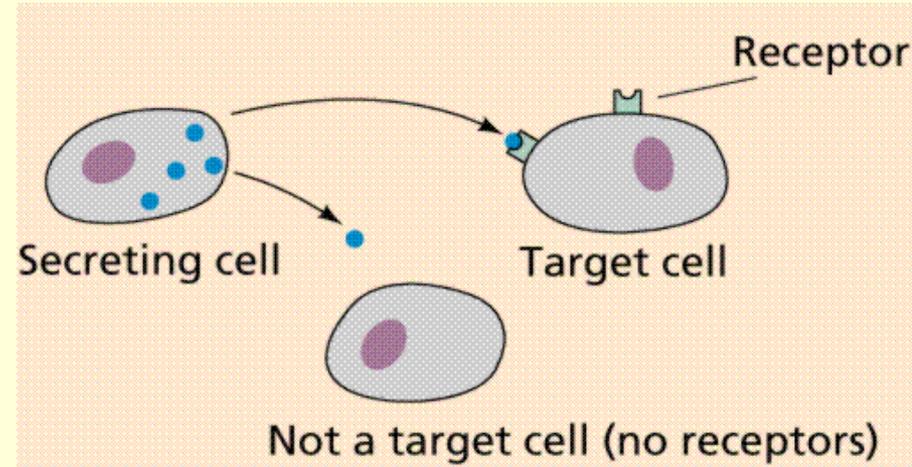


**Hormones !**  
(système endocrinien)

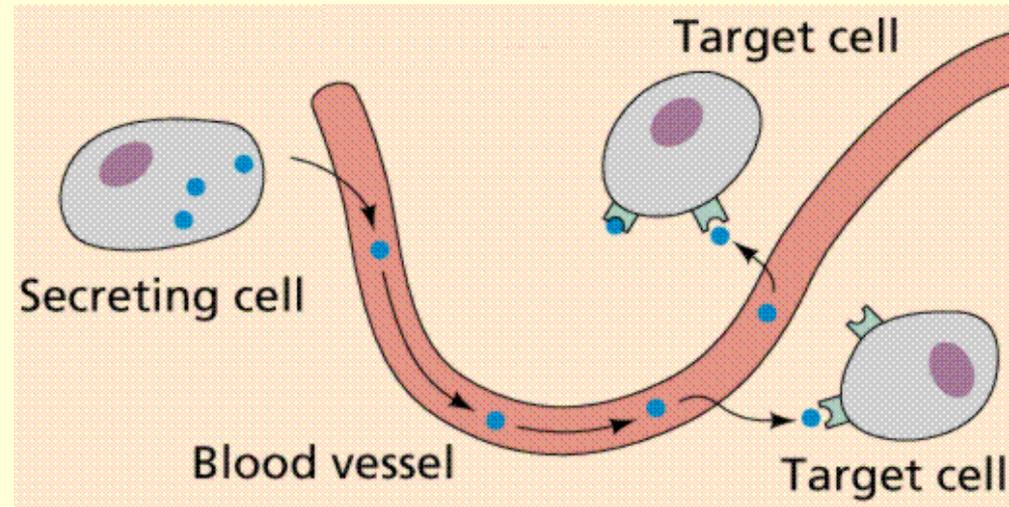




...mais aussi neurotransmetteurs et récepteur des neurones du **système nerveux !**



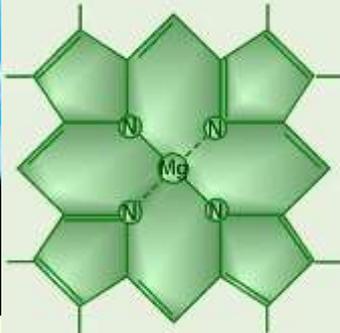
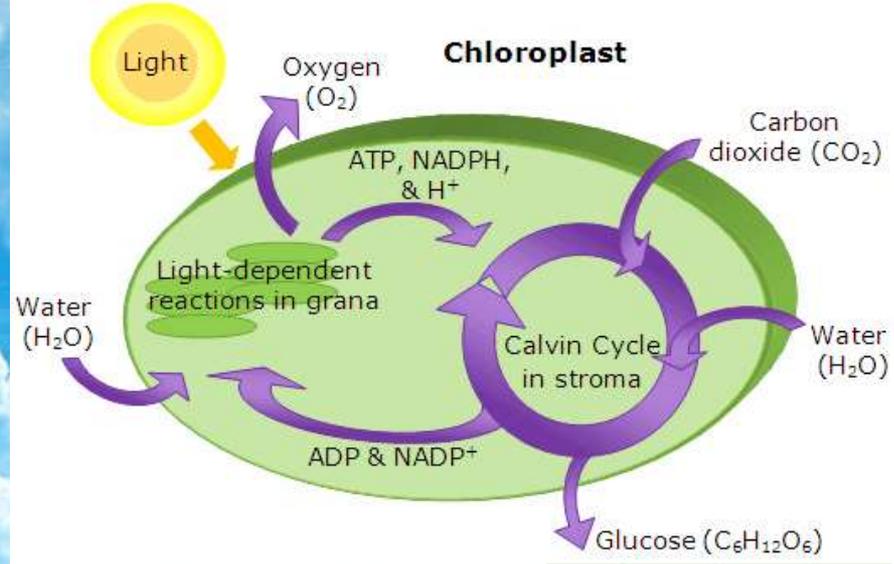
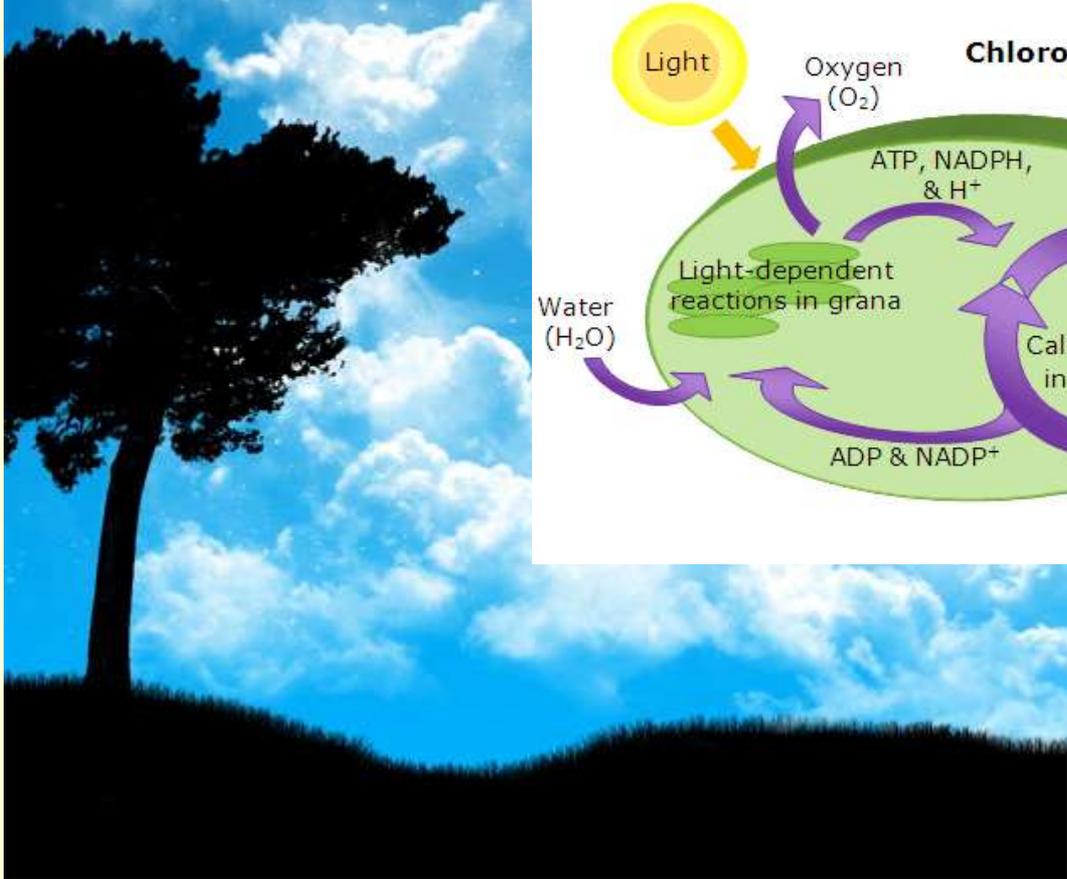
**Hormones !**  
(système endocrinien)





« 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





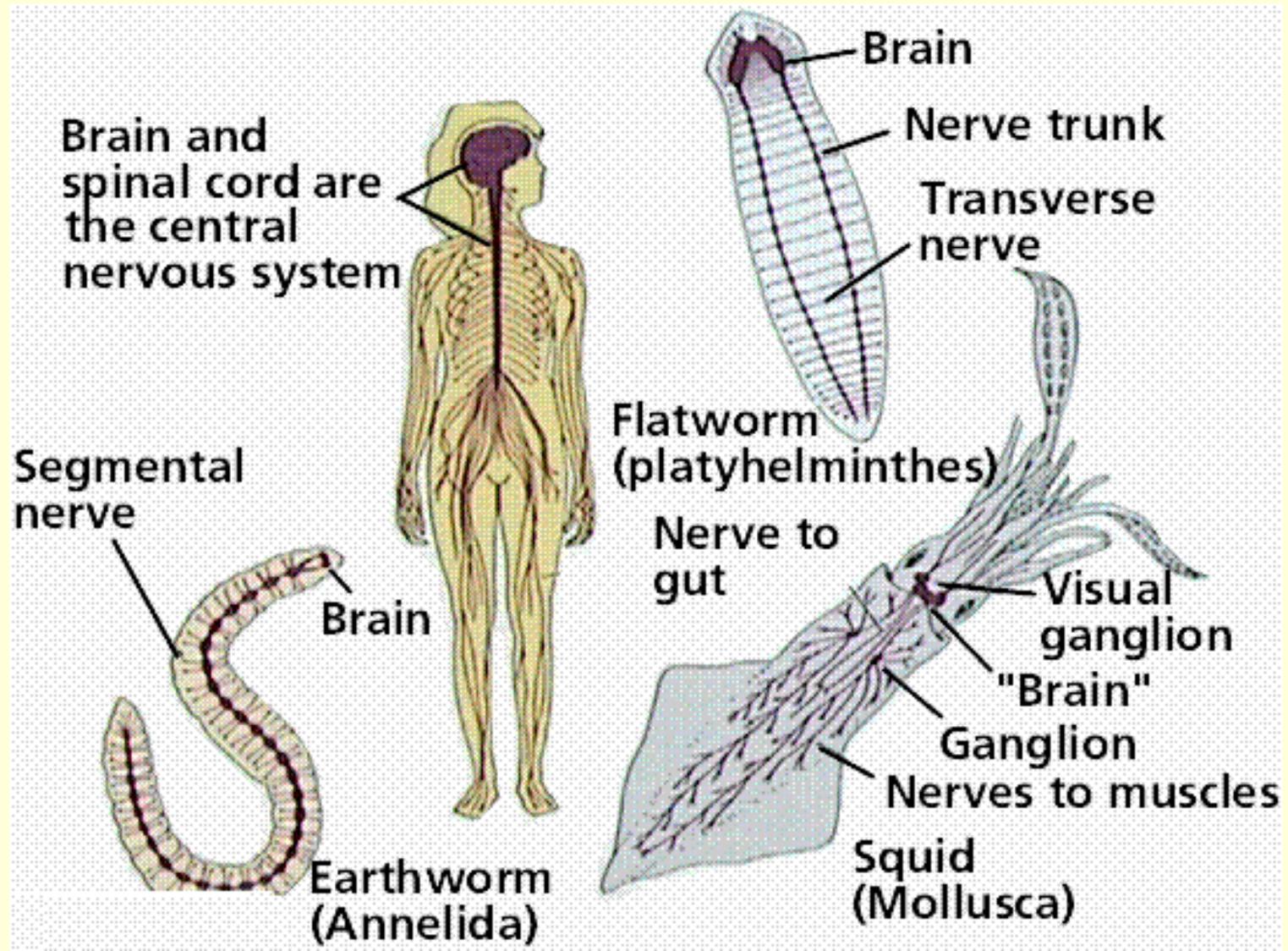
## Animaux :

**autonomie motrice**  
pour trouver leurs ressources  
dans l'environnement

Qu'est-ce qui se développera chez les **hétérotrophes (animaux)** que les **autotrophes (plantes)** n'ont pas besoin ?



# Un système nerveux !

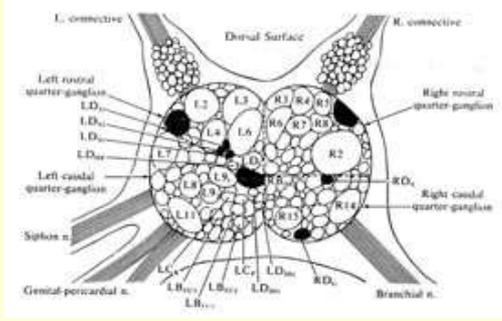
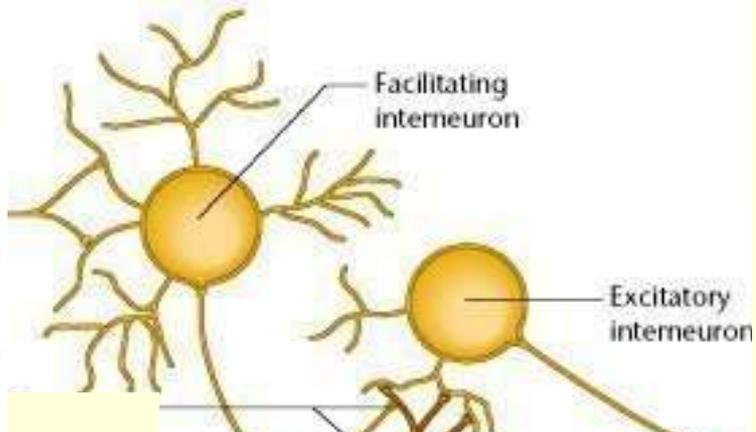
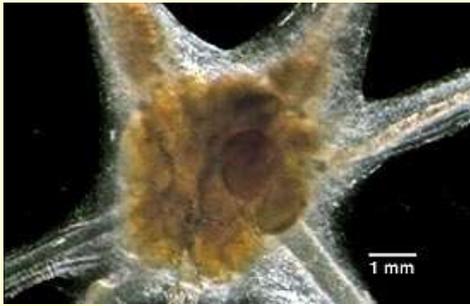


# Un système nerveux !

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**.







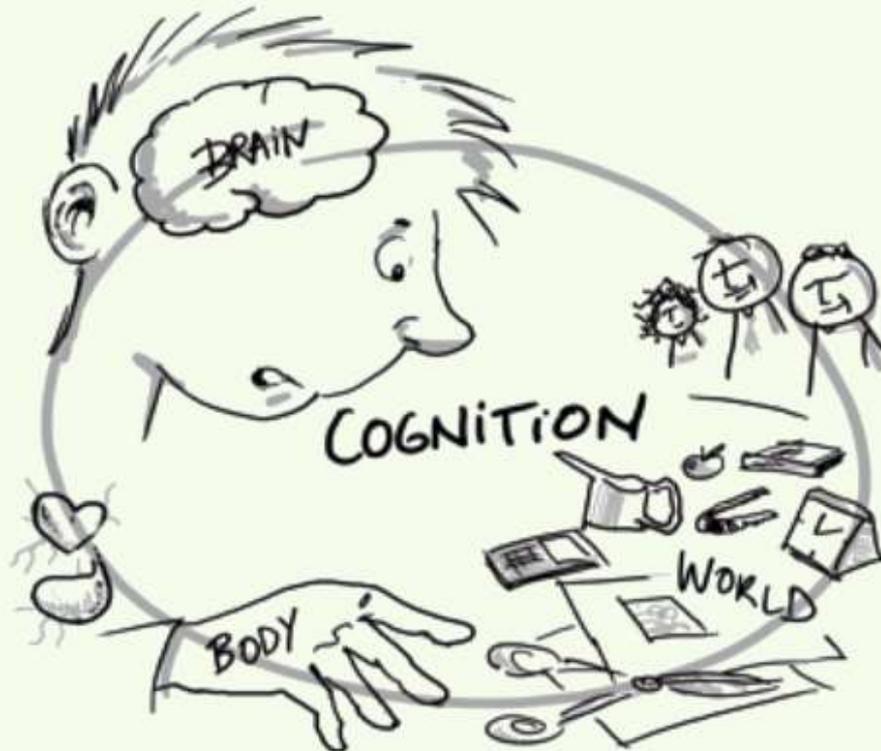
# Une boucle sensori - motrice

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

Et progressivement,

« la logique fondamentale du système nerveux [va devenir] celle d'un **couplage** entre des mouvements et un flux de modulations sensorielles de manière **circulaire**. »

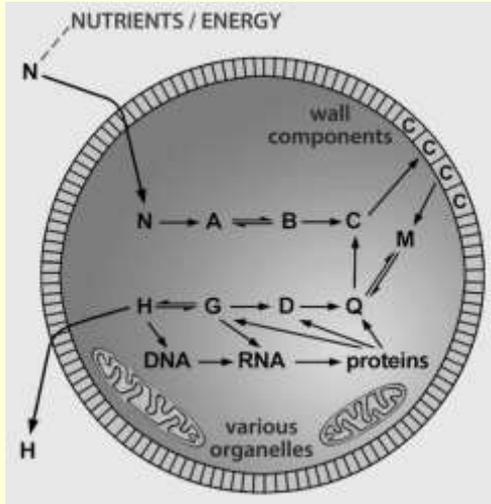
- Francisco Varela, Le cercle créateur, p.126



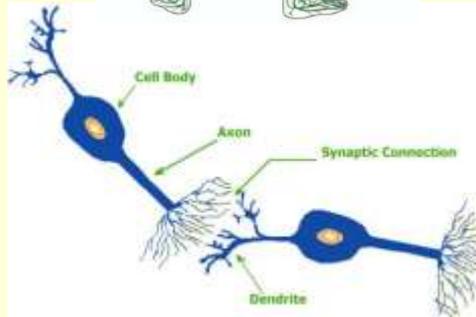


## → couplages de premier ordre

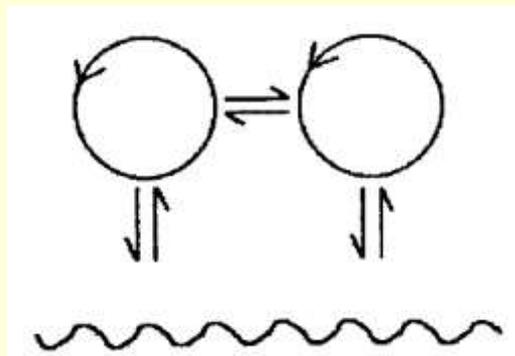
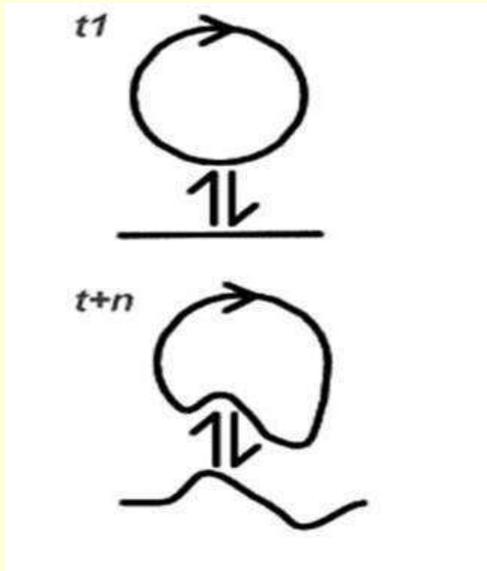
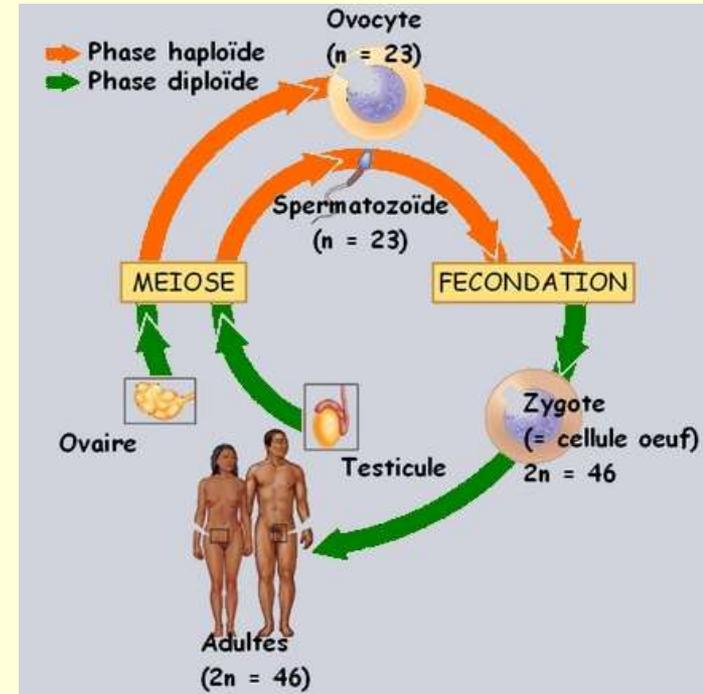
(Maturana et Varela)



## → couplages de deuxième ordre



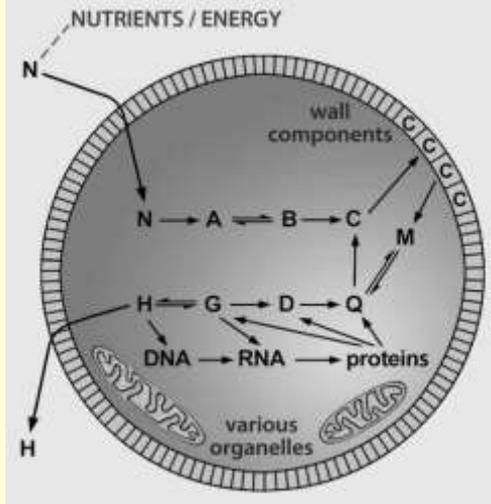
Apparition de la sexualité : **deux** « parent » se mettent ensemble pour faire **un** individu toujours **différent**



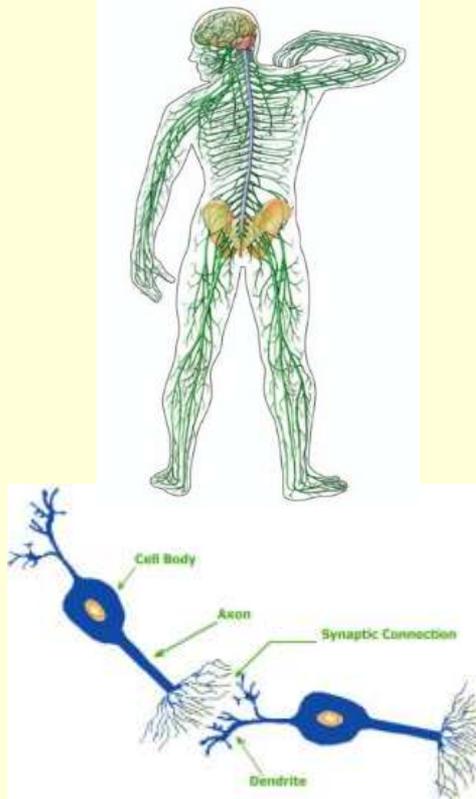
Et donc il va falloir que ces individus des deux sexes **se trouvent** et entretiennent une **relation** plus ou moins prolongée.

# → couplages de premier ordre

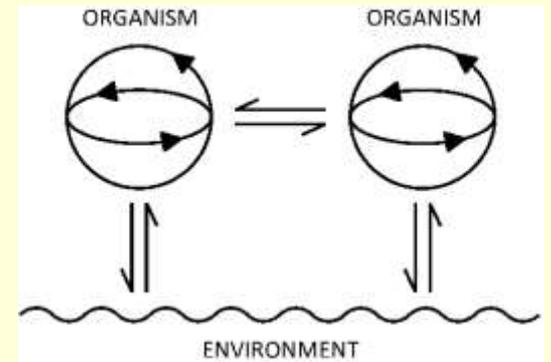
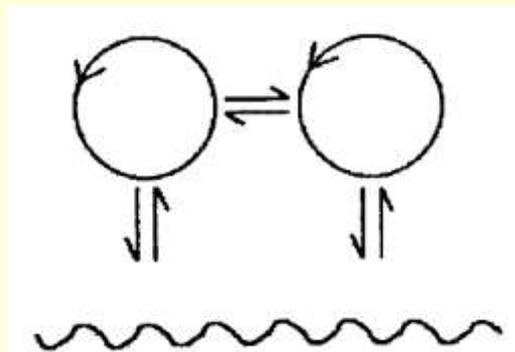
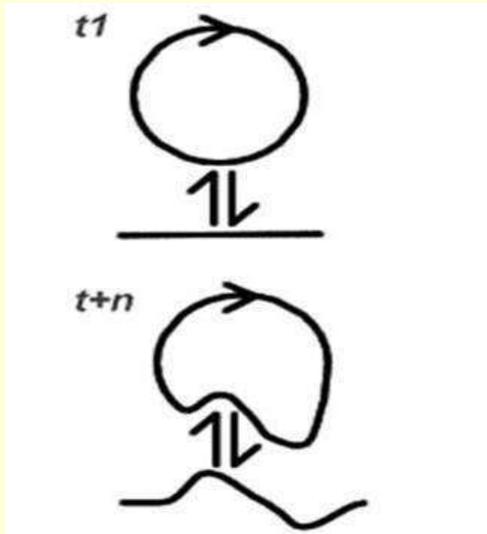
(Maturana et Varela)



# → couplages de deuxième ordre



# → couplages de troisième ordre



→ couplages de troisième ordre

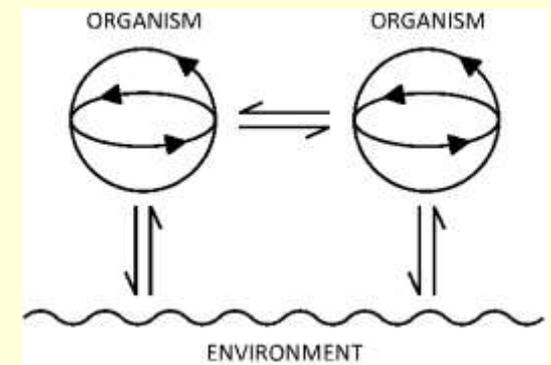
**Les individus** vont entrer en **relations**  
et produire des **coordinations de comportements**  
entre des organismes par ailleurs **indépendants**  
grâce à différentes formes **d'interaction** :



chimiques



visuelles



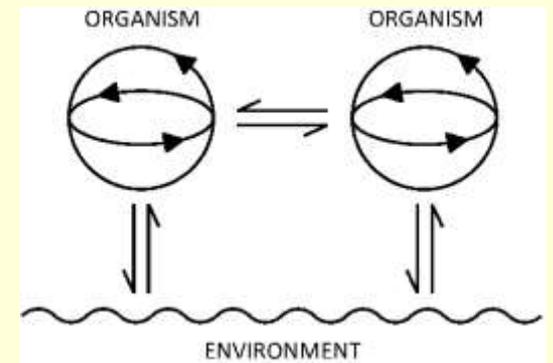
La « danse » des abeilles qui indique la position des fleurs à butiner est un autre exemple de communication visuelle.



→ **couplages de troisième ordre**



visuelles





différentes formes **d'interaction** : auditives

Plusieurs vertébrés comme les **oiseaux** ou les **mammifères** utilisent leurs cordes vocales pour produire différents signaux **sonores**.



Contrairement aux signaux chimiques ou visuels, les sons ont l'avantage de pouvoir **être perçus la nuit ou sur de longues distances**.



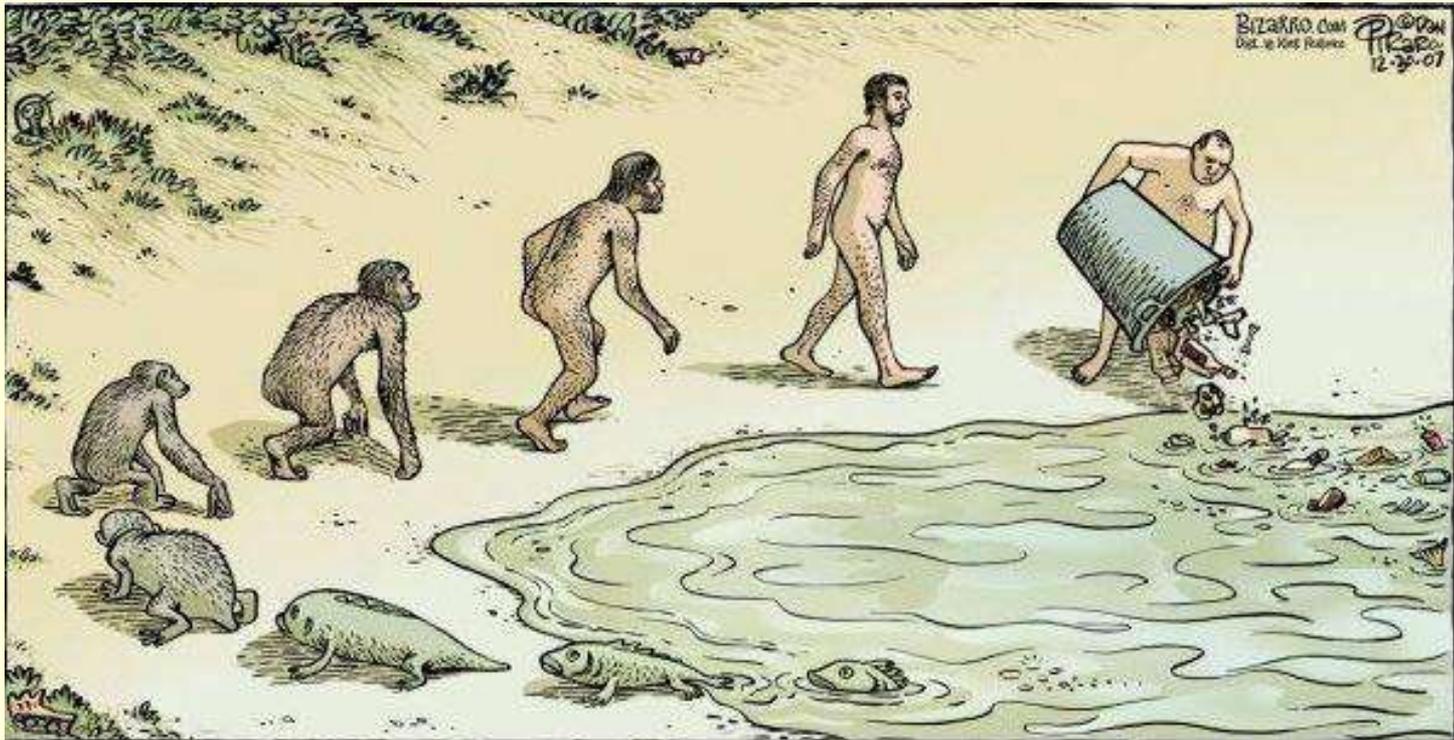
Le langage humain, qui utilise lui aussi des sons, n'est donc qu'une forme de communication parmi d'autres.  
**Mais une forme très sophistiquée.**

De même que tout organisme exige un couplage de premier et de deuxième ordre entre ses composants, les organismes **sociaux humains** vont être couplés dans des domaines **linguistiques**.



La question est peut-être au fond de savoir si la complexité va continuer de croître dans l'univers...

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



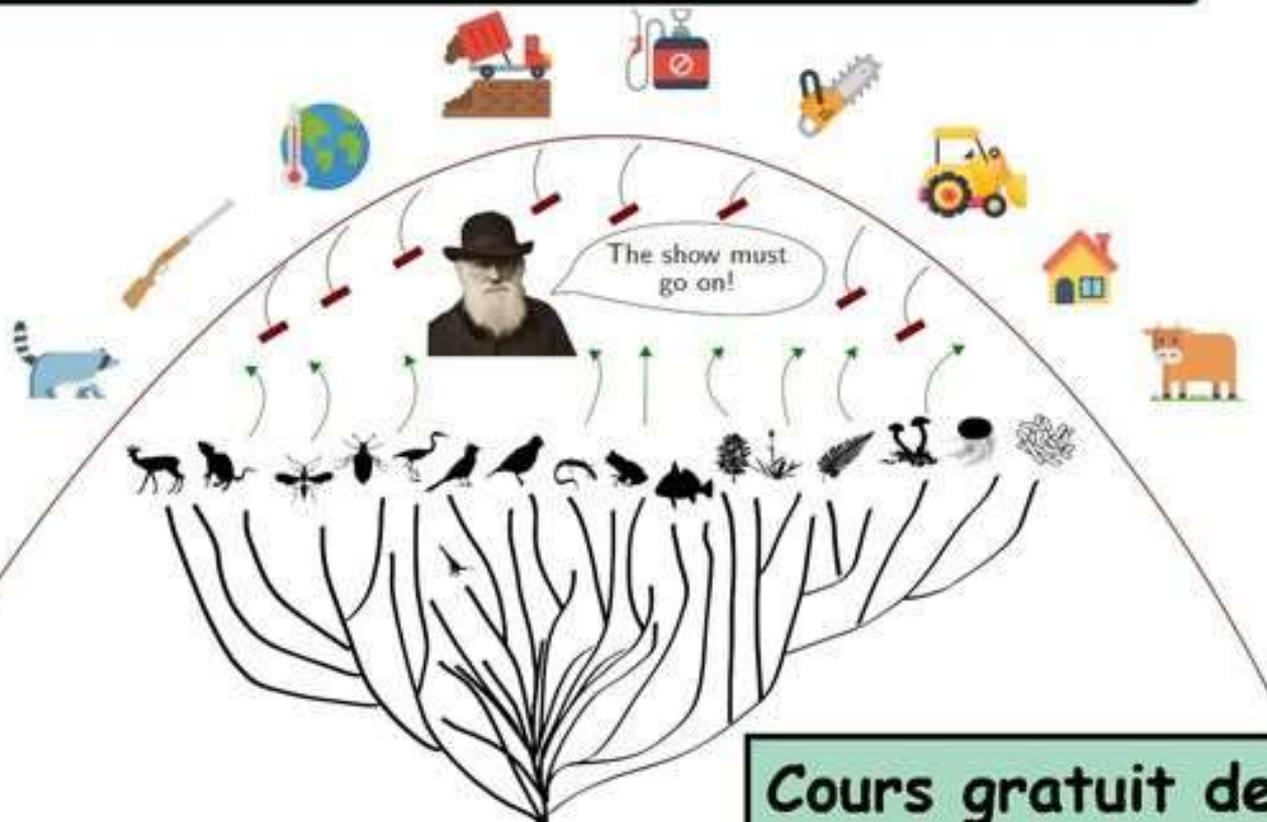
Séance #2

## BIODIVERSITÉ :

la comprendre pour la pérenniser.

MERCREDI 5 AVRIL, donnée par Paul Savary

**Le vivant: complexité, biodiversité,  
relations et expérience**



**Cours gratuit de l'UPop Montréal**