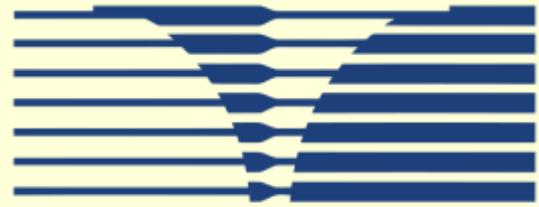
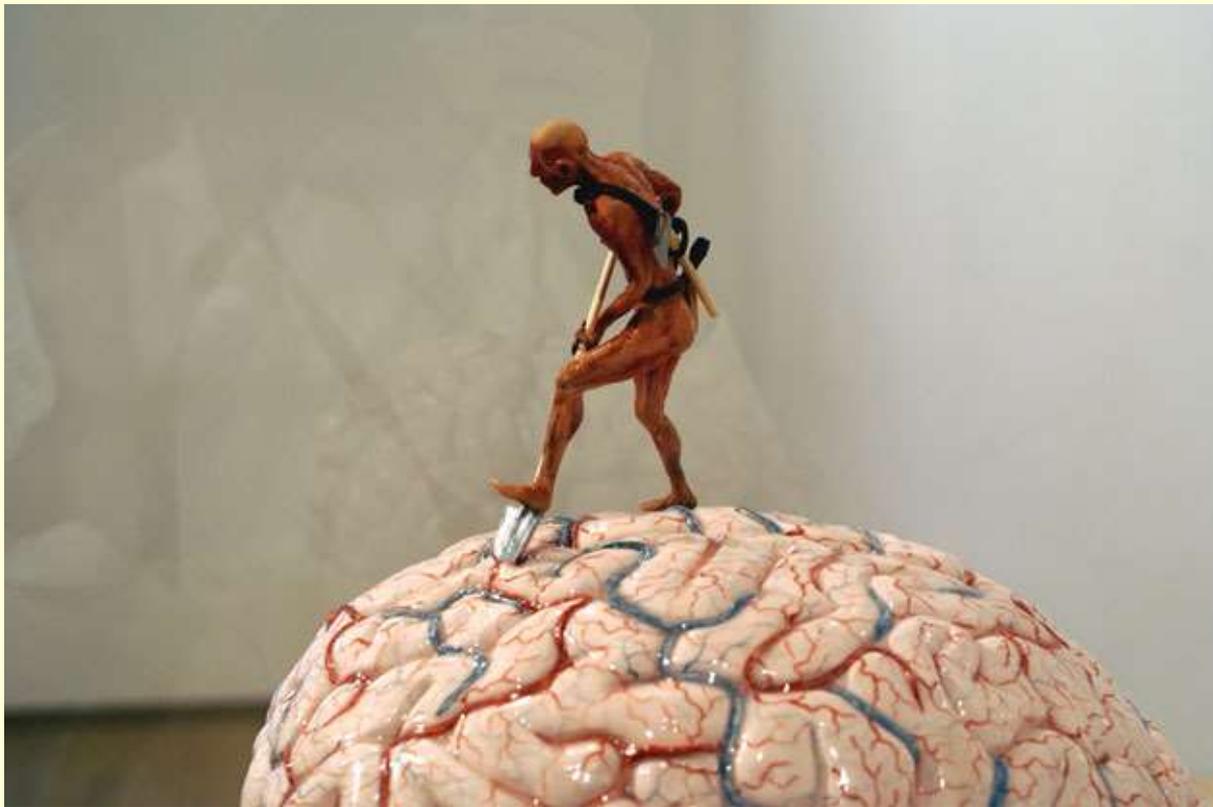


**École des profs**



**CÉGEP DE JONQUIÈRE**

9 janvier 2020



# LE CERVEAU À TOUS LES NIVEAUX!

Un site web interactif sur le cerveau et les comportements humains

- 📍 Visite guidée
- 📍 Plan du site
- 📍 Diffusion
- 📍 Présentations
- 📍 Nouveautés
- 📍 English

## 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



### 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 mania-co-dépression
- Les troubles anxieux
- La démence de type Alzheimer

## Le BLOGUE du CERVEAU À TOUS LES NIVEAUX

Chercher dans le blogue

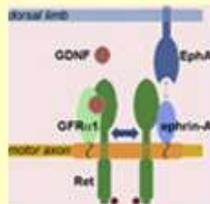
Envoyer

Catégories

- Au coeur de la mémoire
- De la pensée au langage

Lundi, 13 février 2012

### Des protéines qui guident le câblage cérébral



Le cerveau humain contient des millions de fois plus de connexions entre ses neurones que les quelque 20 000 ou 25 000 gènes contenus dans l'ADN de nos cellules. Et pourtant, durant le développement de notre cerveau, les extrémités des axones de nos neurones en développement ressemblent à de véritables « têtes chercheuses » qui réussissent à trouver leur cible spécifique à travers la soupe moléculaire complexe que constitue le milieu extracellulaire.

## Instituts de recherche en santé du Canada

Le cerveau à tous les niveaux est financé par l'Institut des neurosciences, de la santé mentale et des toxicomanies (INSMT), l'un des 13 instituts de recherche en santé du Canada (IRSC).

L'INSMT appuie la recherche dans différents domaines afin de réduire l'incidence des maladies du cerveau. L'INSMT fait ainsi progresser notre compréhension

# LE CERVEAU À TOUS LES NIVEAUX!

[Retour à l'accueil](#)

## Niveau d'explication

Débutant  
Intermédiaire  
Avancé



## Niveau d'organisation

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

### Thème

#### Le plaisir et la douleur



### Sous-thème

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

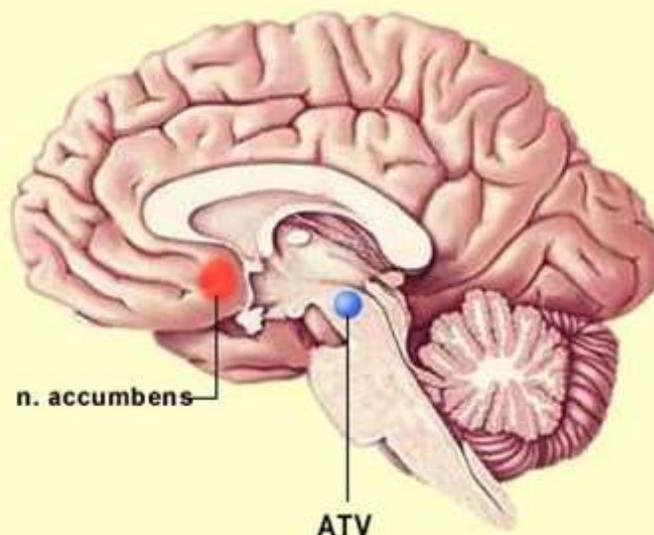


Un stimulus sensoriel qui n'apporte ni récompense ni punition est rapidement ignoré et oublié. C'est le phénomène de l'habituation qui nous fait oublier le contact de nos vêtements avec notre peau ou le tic tac de l'horloge du bureau.

## LES CENTRES DU PLAISIR

1

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



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

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

# 3 niveaux d'explication

**Niveau d'explication**

**Débutant**

**Intermédiaire**

**Avancé**

◀ ◻ ▶



**LE CERVEAU À TOUTES LES NIVEAUX!**

**Titre:** LE CERVEAU À TOUTES LES NIVEAUX!  
**Thème:** Neurosciences  
**Matériau:** Vidéo, Infographie, Article de presse

**Compétences attendues:**

**Objectifs de la séance:**

**Le cerveau est un organe complexe et sensible. Il est le siège de toutes les activités de notre corps. Il est composé de milliards de neurones qui communiquent entre eux pour nous permettre de penser, de sentir, de bouger, de ressentir les émotions, de mémoriser, de résoudre des problèmes, de créer, de communiquer, de s'adapter à notre environnement.**



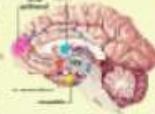
**LE CERVEAU À TOUTES LES NIVEAUX!**

**Titre:** LE CERVEAU À TOUTES LES NIVEAUX!  
**Thème:** Neurosciences  
**Matériau:** Vidéo, Infographie, Article de presse

**Compétences attendues:**

**Objectifs de la séance:**

**Le cerveau est un organe complexe et sensible. Il est le siège de toutes les activités de notre corps. Il est composé de milliards de neurones qui communiquent entre eux pour nous permettre de penser, de sentir, de bouger, de ressentir les émotions, de mémoriser, de résoudre des problèmes, de créer, de communiquer, de s'adapter à notre environnement.**



**LE CERVEAU À TOUTES LES NIVEAUX!**

**Titre:** LE CERVEAU À TOUTES LES NIVEAUX!  
**Thème:** Neurosciences  
**Matériau:** Vidéo, Infographie, Article de presse

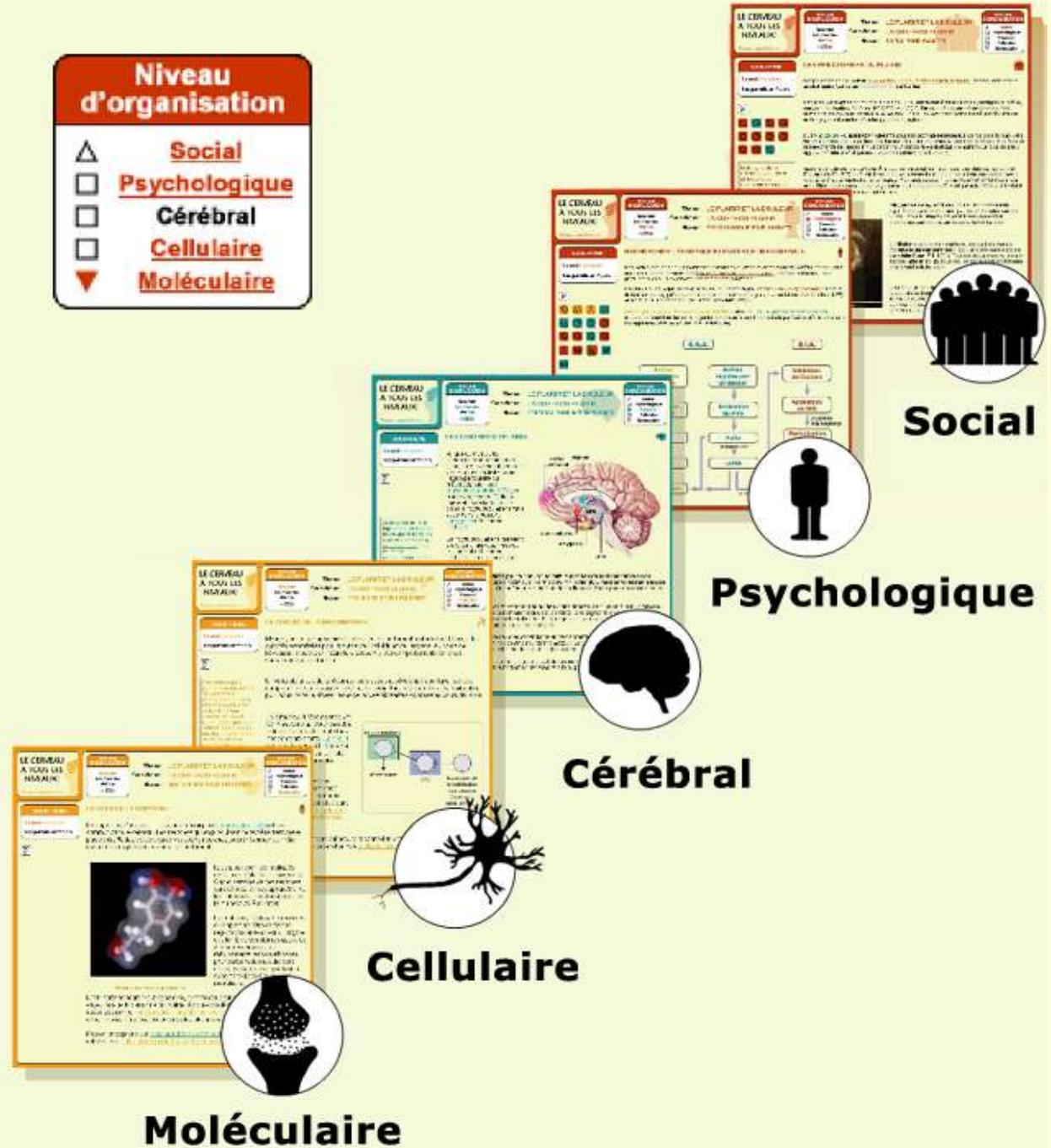
**Compétences attendues:**

**Objectifs de la séance:**

**Le cerveau est un organe complexe et sensible. Il est le siège de toutes les activités de notre corps. Il est composé de milliards de neurones qui communiquent entre eux pour nous permettre de penser, de sentir, de bouger, de ressentir les émotions, de mémoriser, de résoudre des problèmes, de créer, de communiquer, de s'adapter à notre environnement.**



# 5 niveaux d'organisation



## Université du troisième âge

[Accueil](#) | [Programmes](#) | [Bénévolat](#) | [UTA en bref](#) | [L'UTA et vous...](#) | [Étudiants](#) | [Professeurs](#) | [Partenaires](#) | [Personnel](#) | [Nous joindre](#)



[Français](#) | [English](#)

UQÀM

Faculté des sciences humaines  
**Institut des sciences cognitives**

UQAM > Institut des sciences cognitives

Chercher dans uqam.ca



[Accueil](#)

[L'Institut](#)

[Études](#)

[Recherche](#)

[Membres](#)

[Communication](#)

[Nous contacter](#)

**ISC8000 -  
Séminaire d'introduction  
aux sciences cognitives :  
éléments et méthodologie**



[www.upopmontreal.com](http://www.upopmontreal.com)

# DES COURS DONNÉS DANS **GRATUITS** les BARS et les CAFÉS

**Révolution féministe**  
De la chambre à coucher, à l'économie de marché

**Plein gaz sur le schiste**

**Introduction à l'écologie sonore**

**L'éthique dans l'assiette**

**Parlons cerveau**

**La Mort se raconte**

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'infinitement complexe : le labyrinthe de nos réseaux cérébraux  
Tous les détails au [www.upopmontreal.com](http://www.upopmontreal.com)



# LE CERVEAU À TOUS LES NIVEAUX!

## 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 manico-dépression  
→ Les troubles anxieux  
→ La démence de type Alzheimer

**Nouveau!** "L'école des profs"

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

Recherche -> site + blogue

Google™ Recherche |

## Le BLOGUE du CERVEAU À TOUS LES NIVEAUX

Accueil du site

Recherche -> blogue

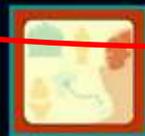
Billets par catégorie

Abonnez-vous !

NOUVELLES RÉCENTES SUR LE CERVEAU

Lundi, 30 septembre 2019

**Dix cours gratuits sur le « ceveau-corps » avec du contenu publié sur ce blogue !**



# Notre cerveau à tous les niveaux

## 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 financement. Nous pourrions...

# LE CERVEAU À TOUS LES NIVEAUX!

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

Recherche -> site + blogue

Google™ Recherche |

## 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

## Dysfonction

- Les troubles
- Dép
- Les
- La c

Nouveau! "L'école des profs"

# "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

## Le BLOGUE du CERVEAU À TOUS LES NIVEAUX

Accueil du site

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

Recherche -> blogue

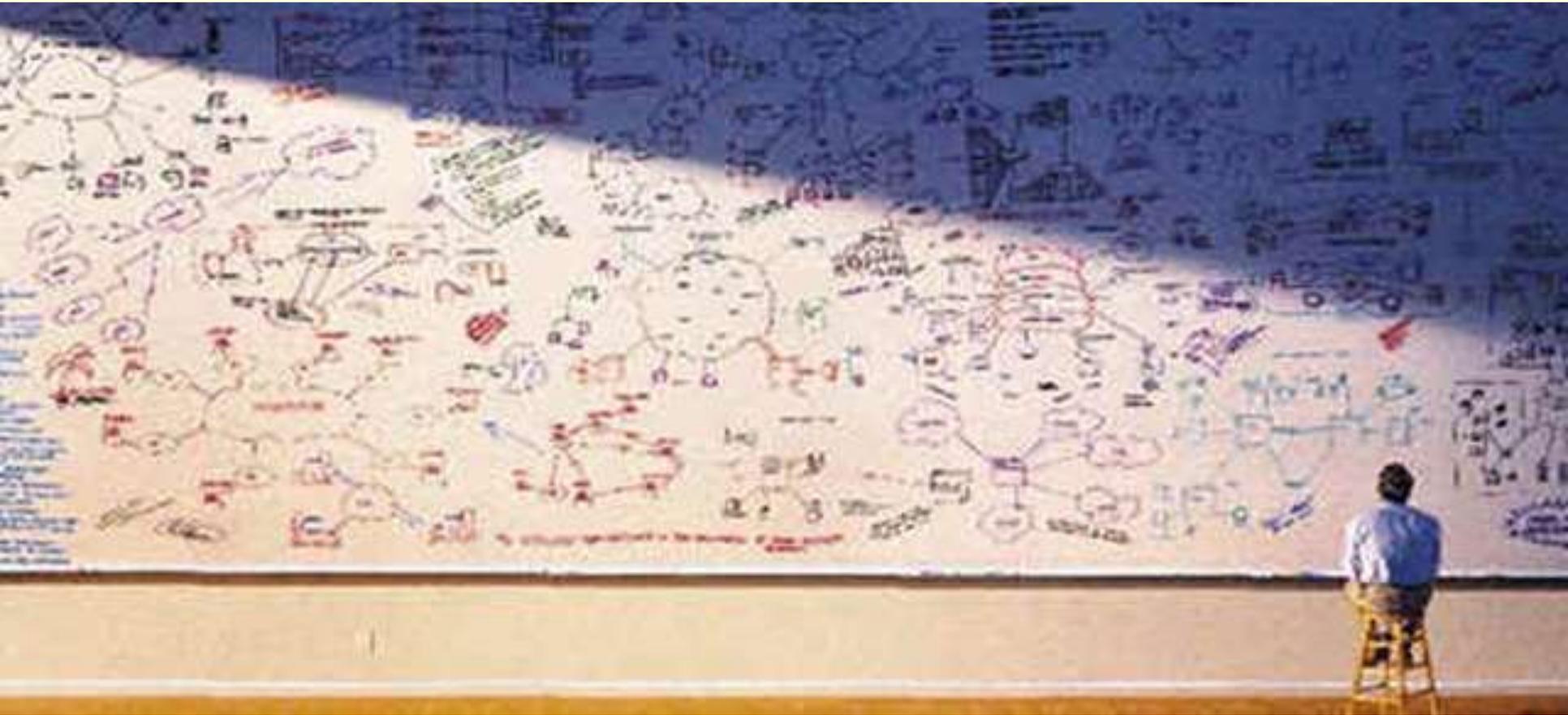
Billets par catégorie

Abonnez-vous !

NOUVELLES RÉCENTES SUR LE CERVEAU

Les Power Points de chaque présentation seront mis sur **la page « L'école des profs »** accessible par **la page d'accueil** du Cerveau à tous les niveaux quelques jours après avoir été donnés.

Merci de l'invitation et...



...de me donner l'occasion une fois de plus  
d'essayer de donner du sens à toute cette complexité !



# Plan

**Avant-midi** : « sur les aspects du fonctionnement et des nouveautés »

**1<sup>er</sup> bloc** : La base : une perspective évolutive par niveaux d'organisation

*Ou comment on passe de la physique/chimie à la biologie, puis à la cognition*

**Après-midi** : « sur les liens que l'on peut faire avec l'apprentissage et la pédagogie »

# Plan

**Avant-midi** : « sur les aspects du fonctionnement et des nouveautés »

**1<sup>er</sup> bloc** : La base : une perspective évolutive par niveaux d'organisation

**2<sup>e</sup> bloc** : Des dogmes qui tombent du neuronal au cérébral

*Ou comment tout est plus compliqué qu'hier, et moins que demain !*

**Après-midi** : « sur les liens que l'on peut faire avec l'apprentissage et la pédagogie »

# Plan

**Avant-midi** : « sur les aspects du fonctionnement et des nouveautés »

**1<sup>er</sup> bloc** : La base : une perspective évolutive par niveaux d'organisation

**2<sup>e</sup> bloc** : Des dogmes qui tombent du neuronal au cérébral

**Après-midi** : « sur les liens que l'on peut faire avec l'apprentissage et la pédagogie »

**3<sup>e</sup> bloc** : Plasticité cérébrale, apprentissage  
et facteurs qui influencent nos mémoires

*Ou comment la mémoire est un instrument de prédiction qui doit oublier les détails*

# Plan

**Avant-midi** : « sur les aspects du fonctionnement et des nouveautés »

**1<sup>er</sup> bloc** : La base : une perspective évolutive par niveaux d'organisation

**2<sup>e</sup> bloc** : Des dogmes qui tombent du neuronal au cérébral

**Après-midi** : « sur les liens que l'on peut faire avec l'apprentissage et la pédagogie »

**3<sup>e</sup> bloc** : Plasticité cérébrale, apprentissage  
et facteurs qui influencent nos mémoires

**4<sup>e</sup> bloc** : De nouveaux paradigmes pour mieux comprendre le fonctionnement  
du « cerveau-corps-environnement »

*Ou comment notre cerveau, loin d'être passif, projette activement ses hypothèses sur le monde*

# Plan

**Avant-midi :** « sur les aspects du fonctionnement et des nouveautés »

**1<sup>er</sup> bloc :** La base : une perspective évolutive par niveaux d'organisation

**2<sup>e</sup> bloc :** Des dogmes qui tombent du neuronal au cérébral

**Après-midi :** « sur les liens que l'on peut faire avec l'apprentissage et la pédagogie »

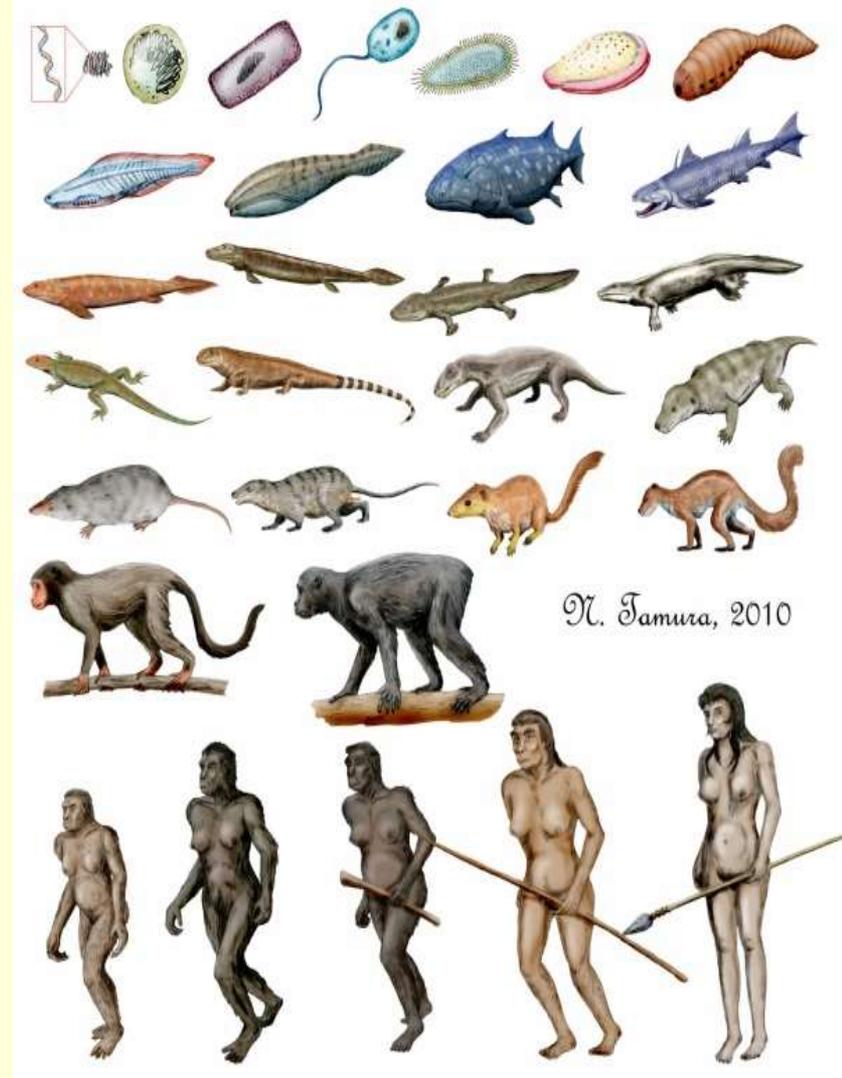
**3<sup>e</sup> bloc :** Plasticité cérébrale, apprentissage  
et facteurs qui influencent nos mémoires

**4<sup>e</sup> bloc :** De nouveaux paradigmes pour mieux comprendre le fonctionnement  
du « cerveau-corps-environnement »

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

- Theodosius Dobzhansky  
(1900-1975)

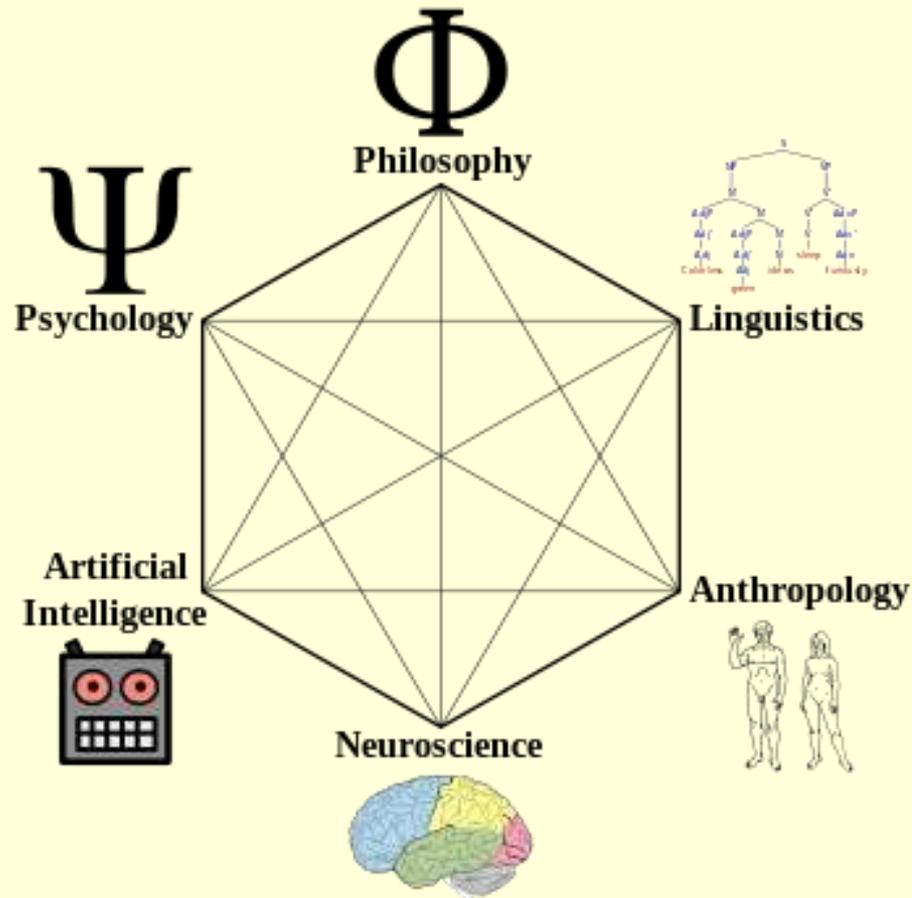
Et rien n'a de sens non plus  
en **sciences cognitives...**



N. Tamura, 2010

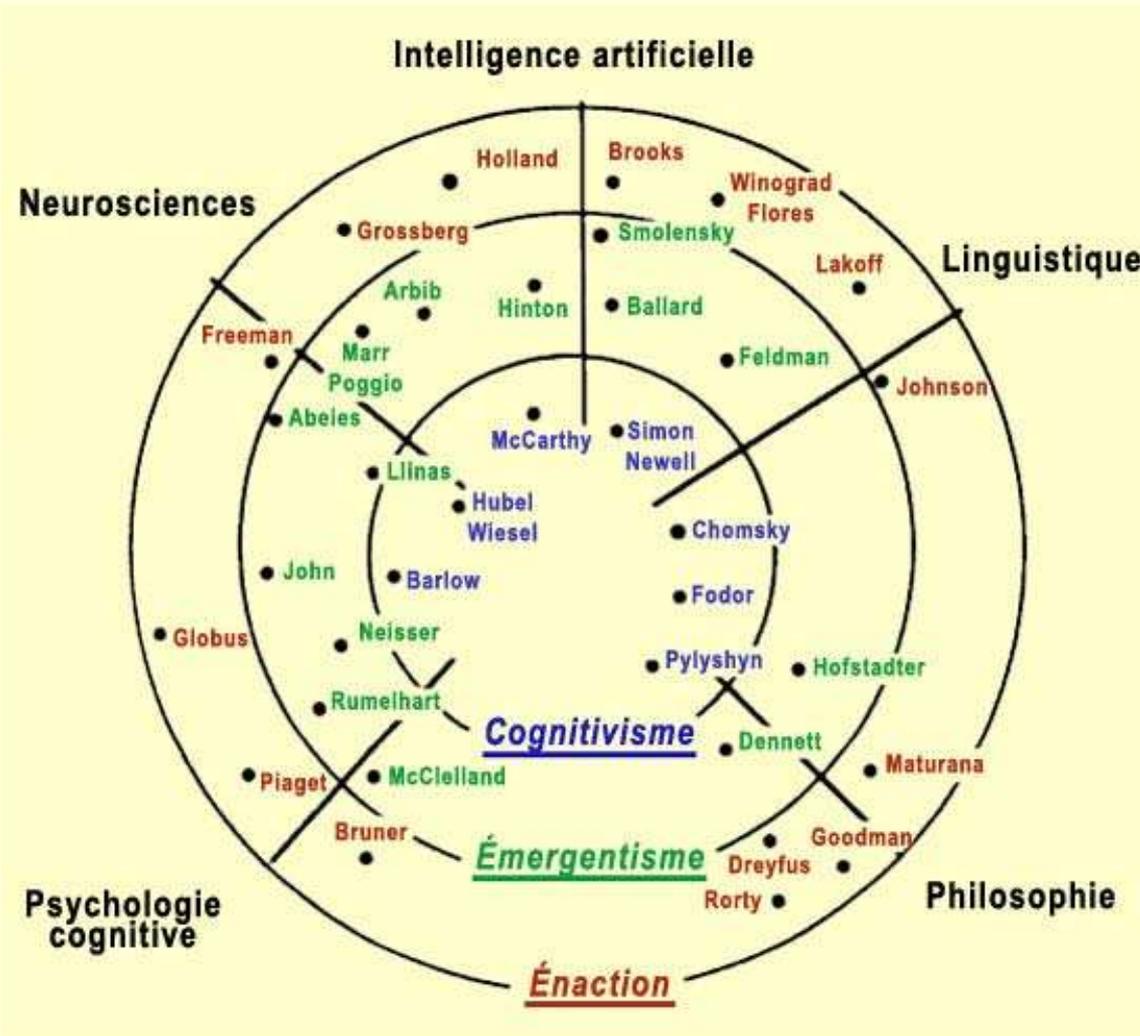
Les *sciences cognitives* visent à comprendre tous les aspects du processus **d'acquisition de connaissances**.

(<https://admission.umontreal.ca/programmes/mineure-en-sciences-cognitives/>)



Les *sciences cognitives* visent à comprendre tous les aspects du processus **d'acquisition de connaissances**.

(<https://admission.umontreal.ca/programmes/mineure-en-sciences-cognitives/>)



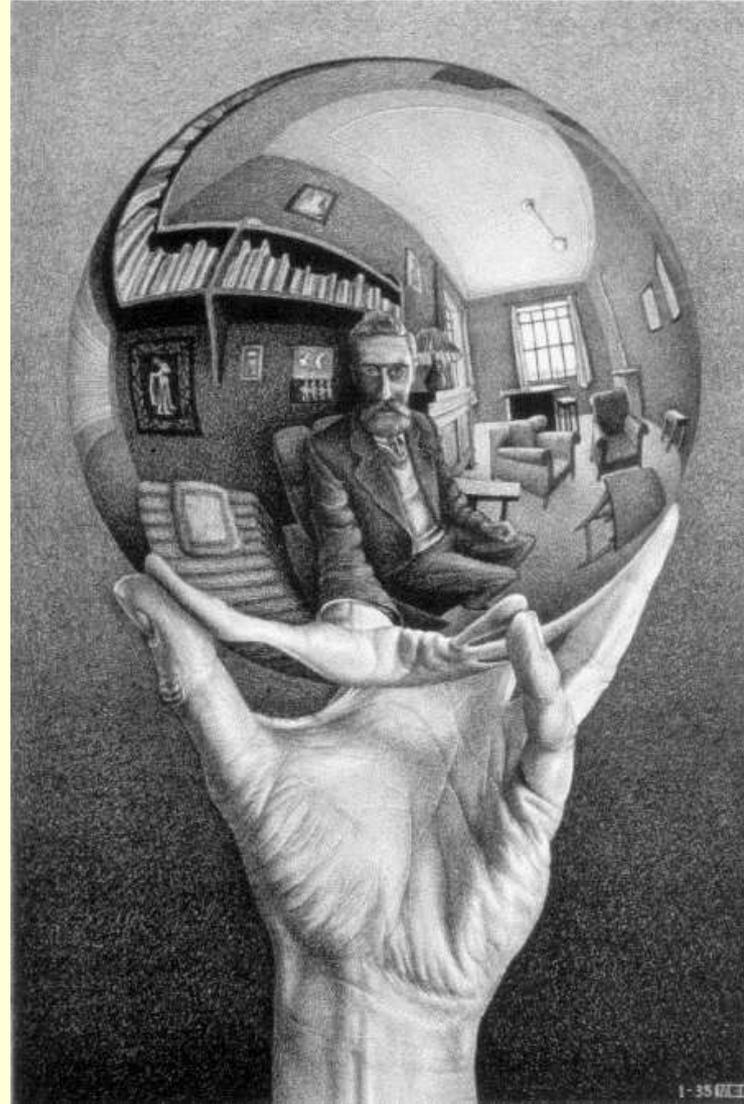
Source: The Embodied Mind: Cognitive Science and Human Experience, by **Francisco Varela**, Evan Thompson, and Eleanor Rosch, Cambridge, MA: MIT Press, **1991**.

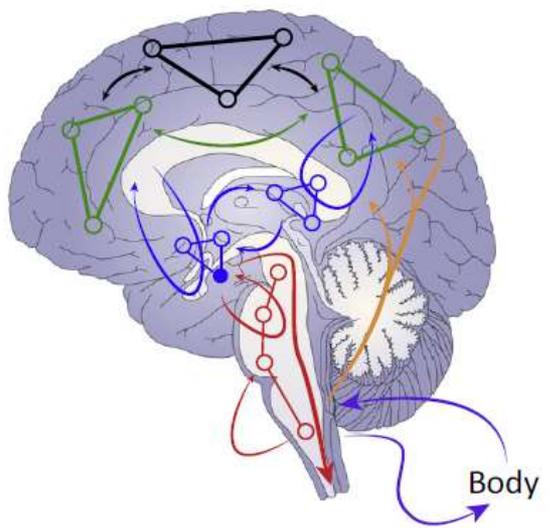
**What happened to cognitive science?**  
*Nature Human Behaviour*  
**volume 3**, pages78  
 2–791(**2019**)  
<https://www.nature.com/articles/s41562-019-0626-2>

Séance 1 :

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

Comment se constituent  
nos connaissances sur le monde.





- happés par la vie quotidienne, on se pose peu de questions sur l'origine de nos connaissances.
- On fonctionne tellement bien dans notre environnement habituel qu'on ne remarque pas le **miracle quotidien** que cela implique en nous.

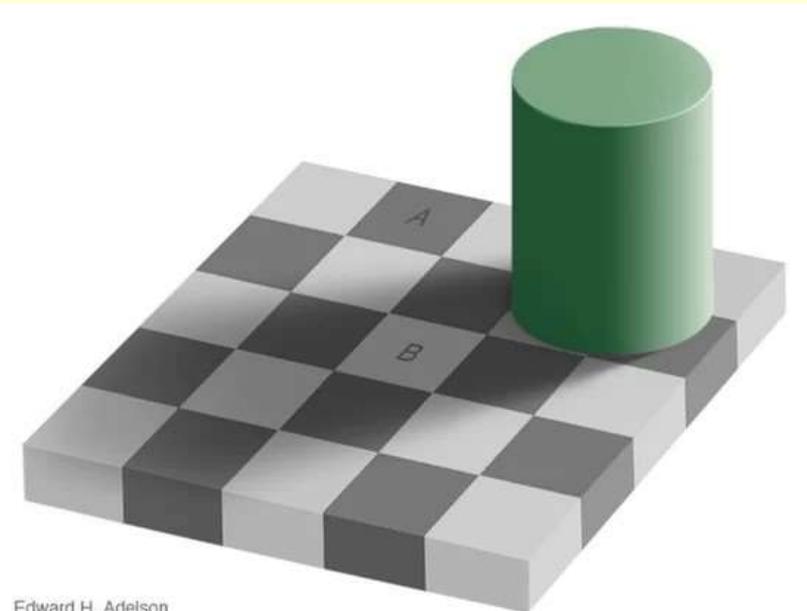
Mais devant certaines illusions d'optique, on est troublé de constater que « **nos sens peuvent nous tromper** ».

C'est-à-dire que le monde de nos perceptions n'est peut-être pas un « miroir » du monde extérieur

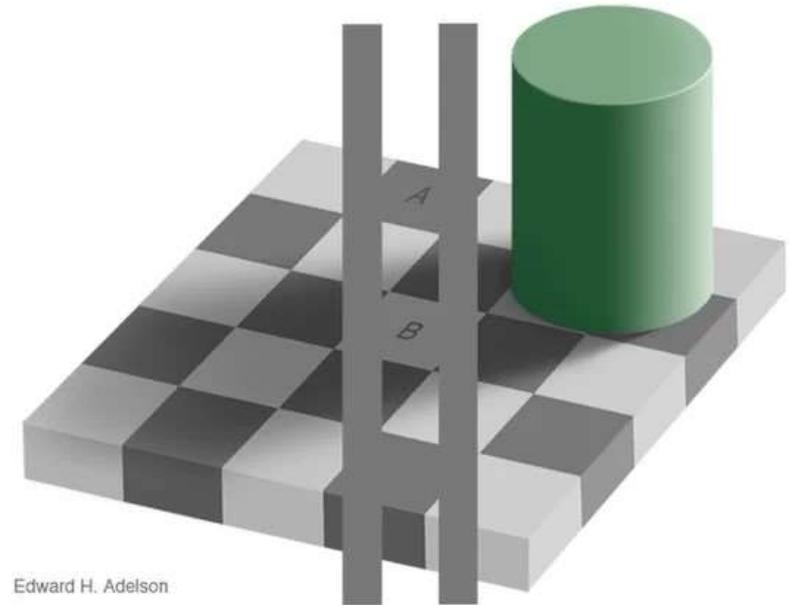
mais bien une **interprétation**, une **construction**, ou une **simulation**, faite par notre système nerveux à partir de ce que nos sens peuvent capter du monde.

Et l'on doit alors reconnaître que **la structure particulière de notre corps** (et en particulier de notre système nerveux) **détermine ce qui pourra être connaissable pour nous.**

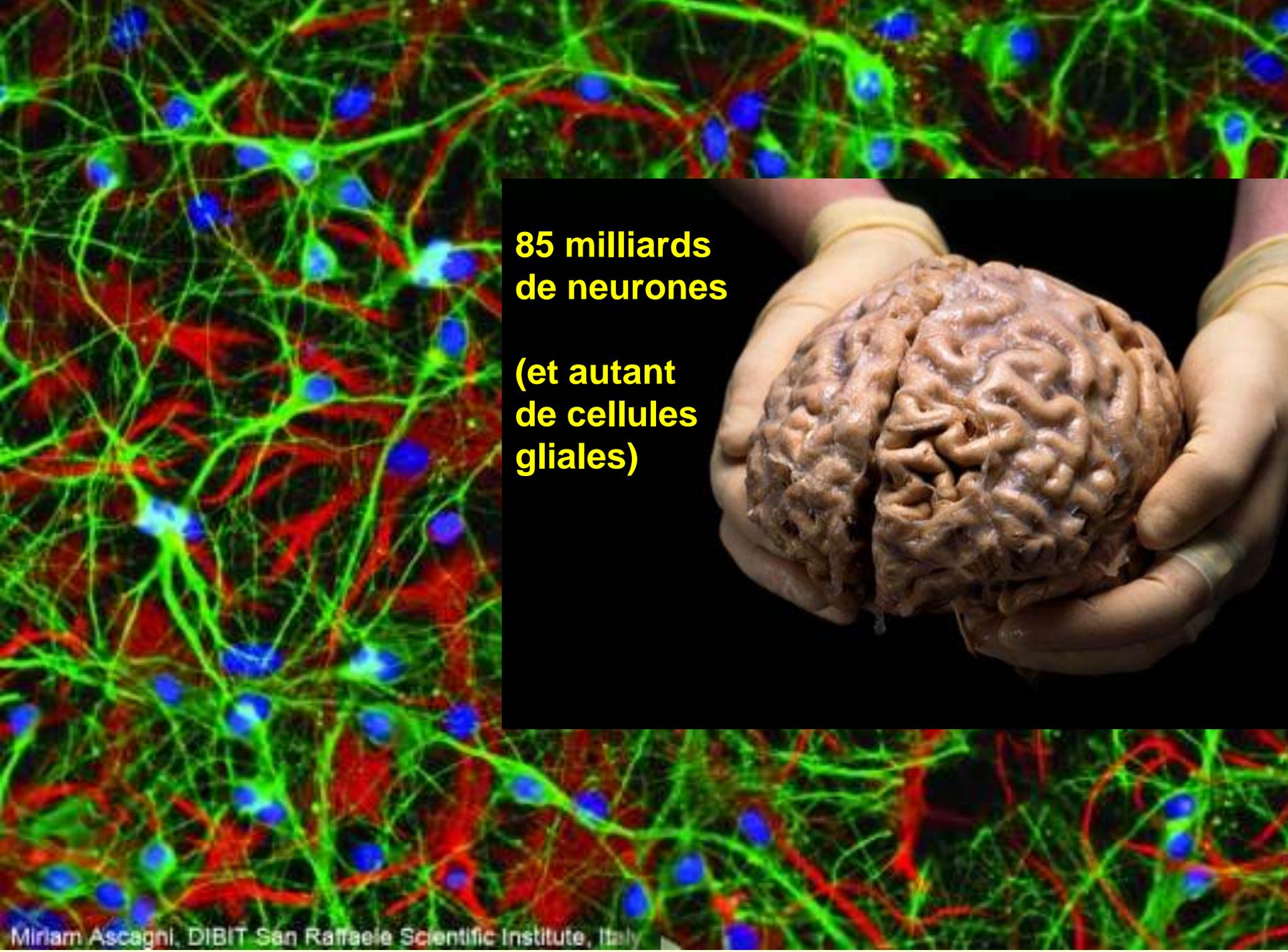
Or **cette structure est le fruit d'une très longue évolution.**



Edward H. Adelson

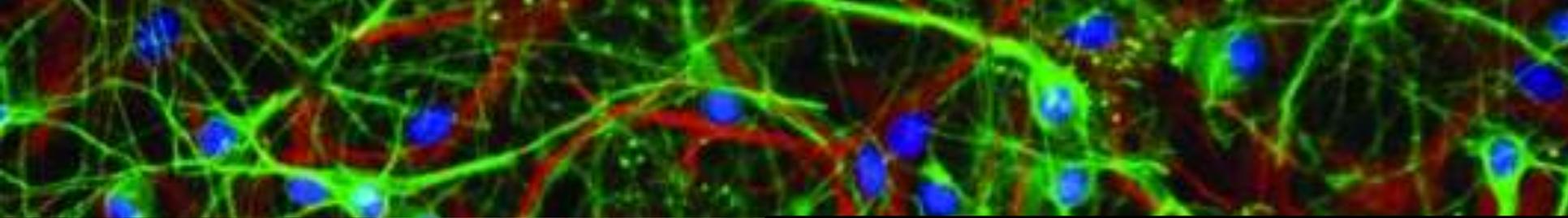


Edward H. Adelson

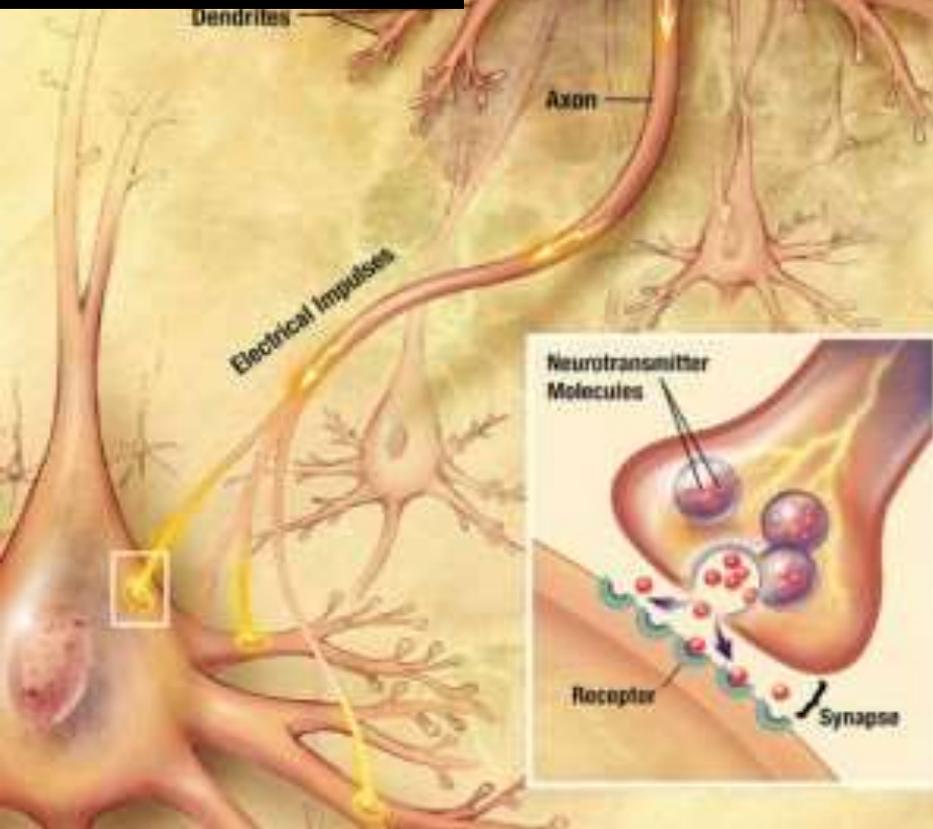
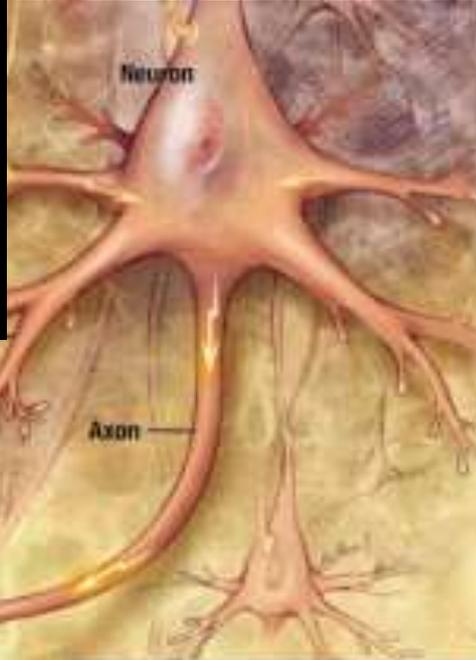


**85 milliards  
de neurones**

**(et autant  
de cellules  
gliales)**



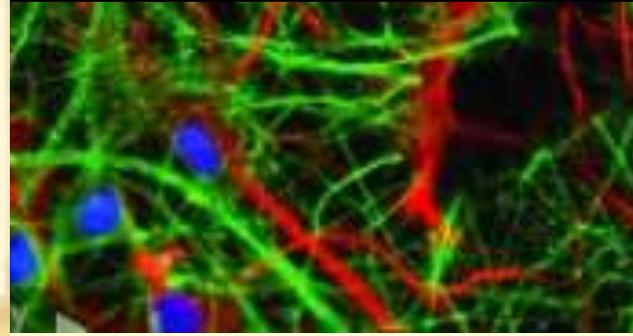
**Chaque neurone peut recevoir 1 000 et même jusqu'à 10 000 connexions**

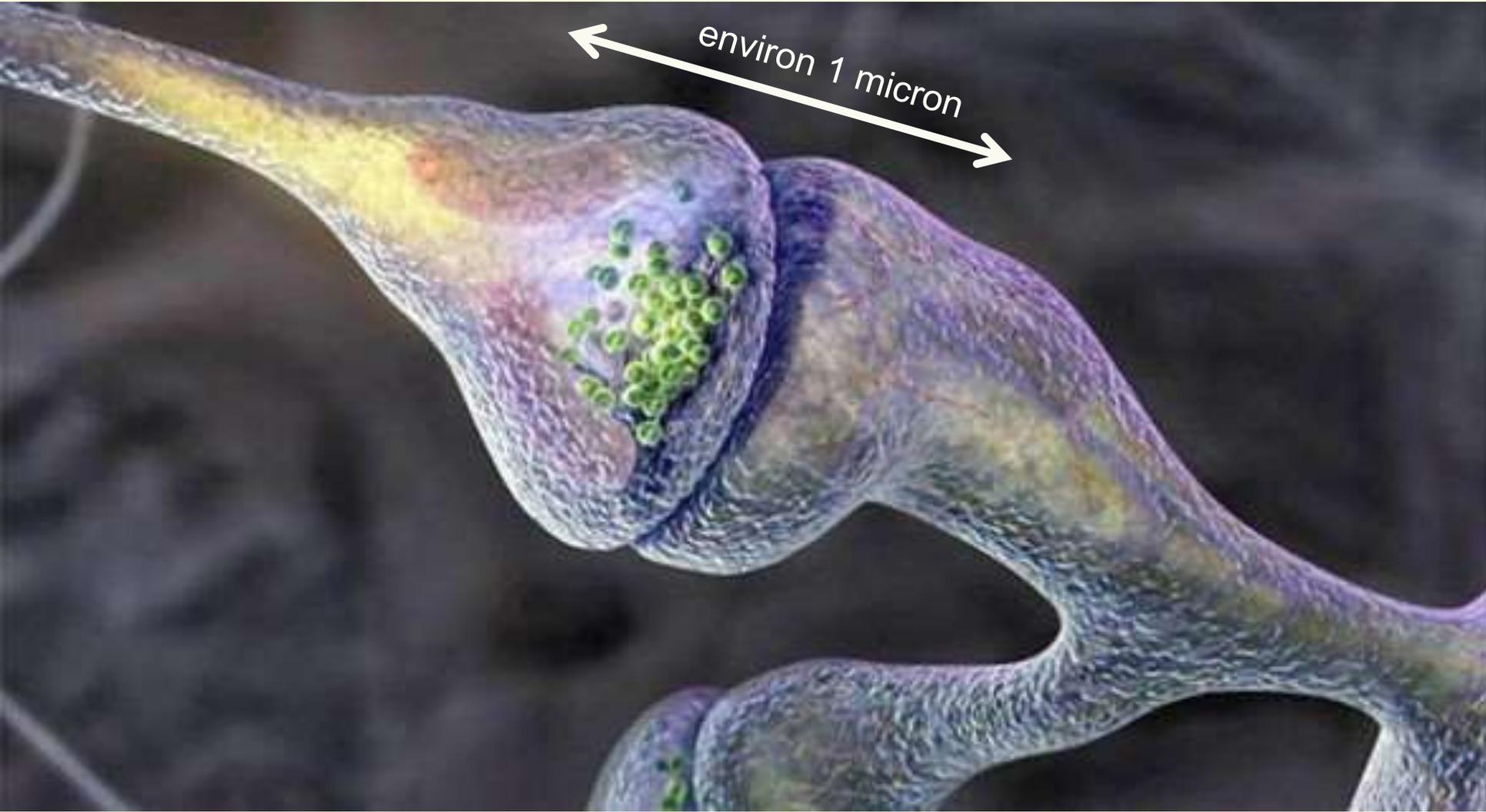


**Si l'on comptait 1 000 connexions pour 86 milliards de neurones à raison de une par seconde, cela prendrait environ...**

**...2,7 millions d'années !**

**Donc il aurait fallu commencer un peu avant l'apparition d'Homo habilis (premier Homo il y a 2,5 millions d'années)**



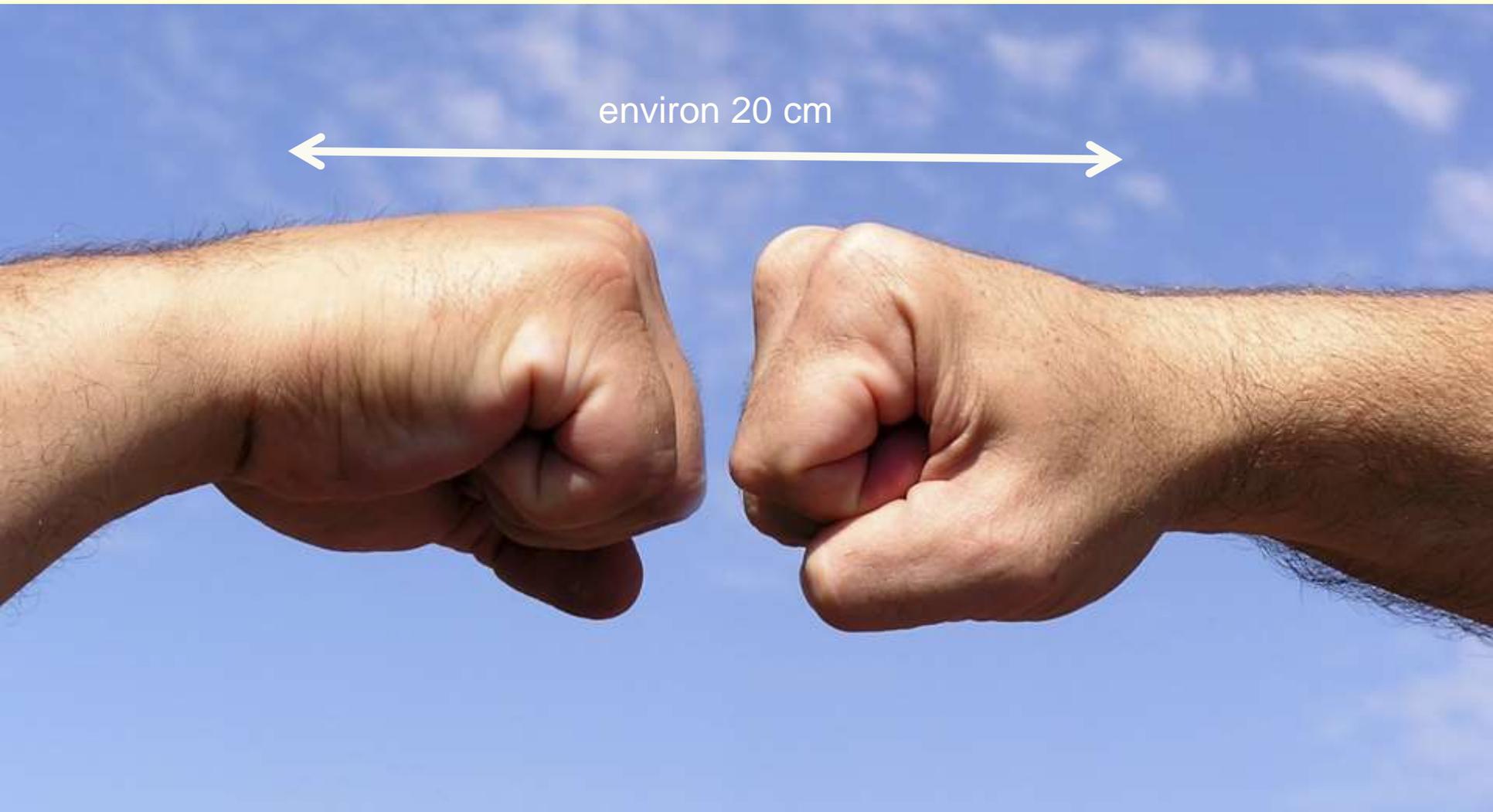


environ 1 micron

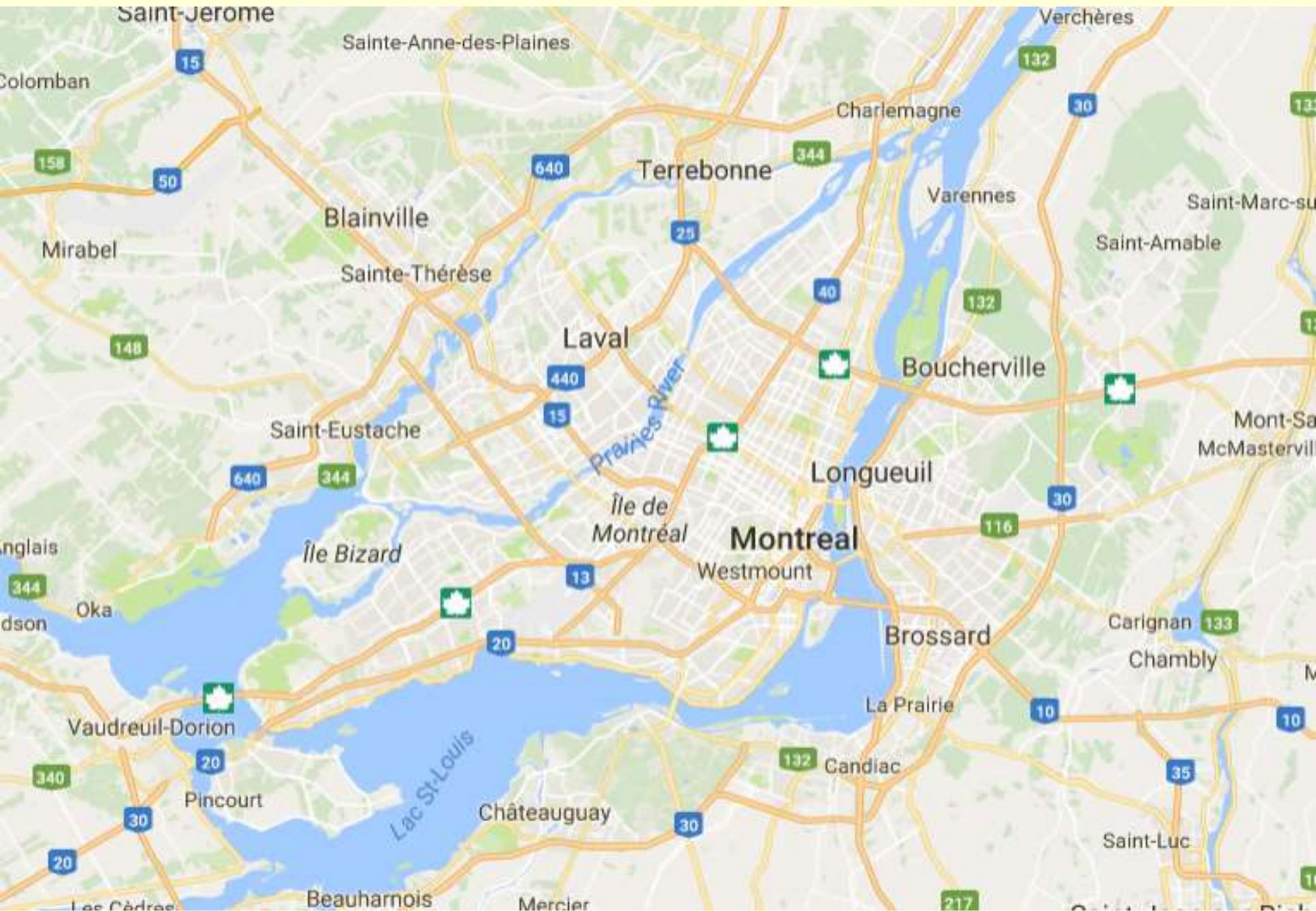


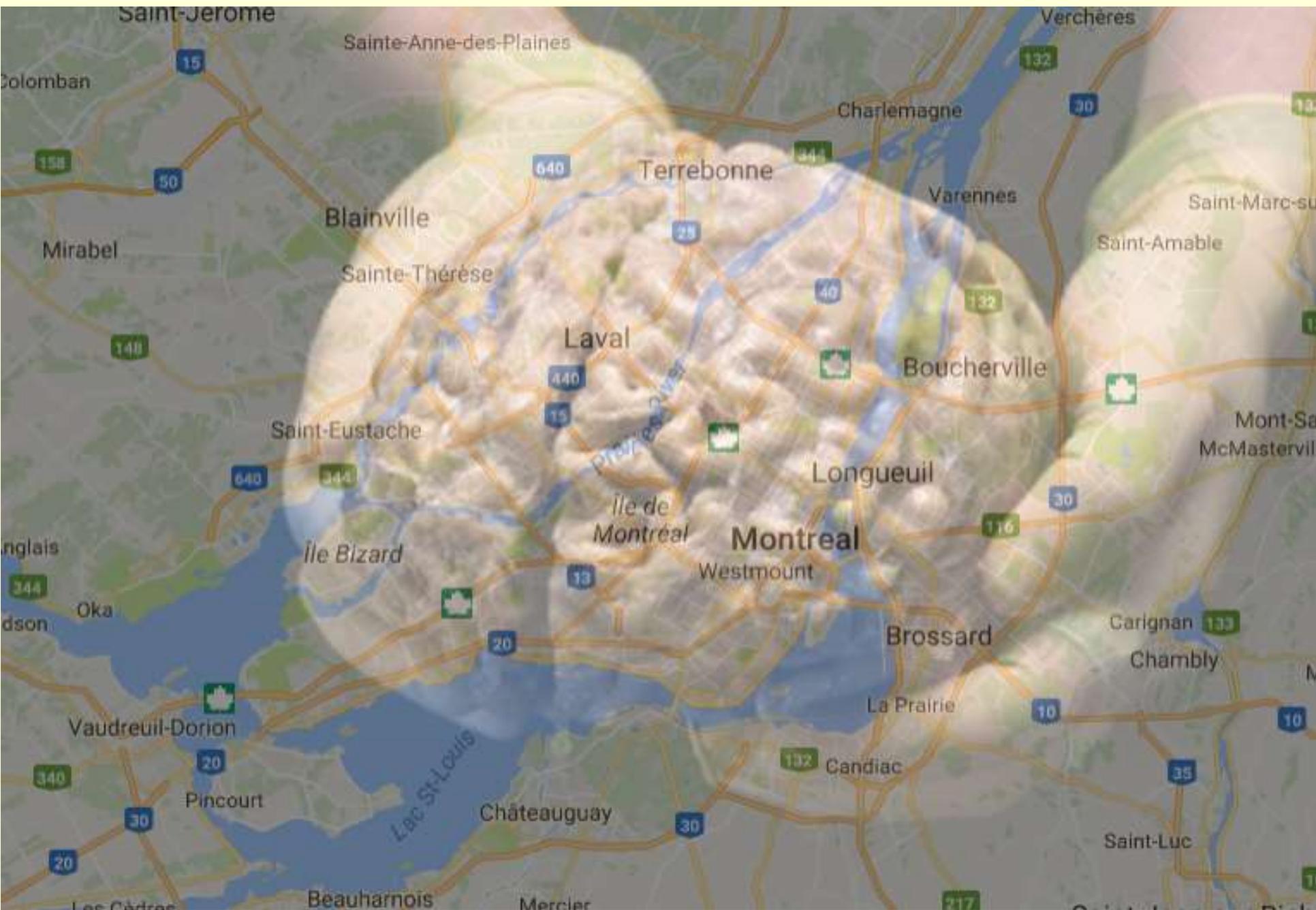
environ 20 cm

Quelle devrait être la taille d'un cerveau  
dont les synapses auraient la taille de deux poings ?



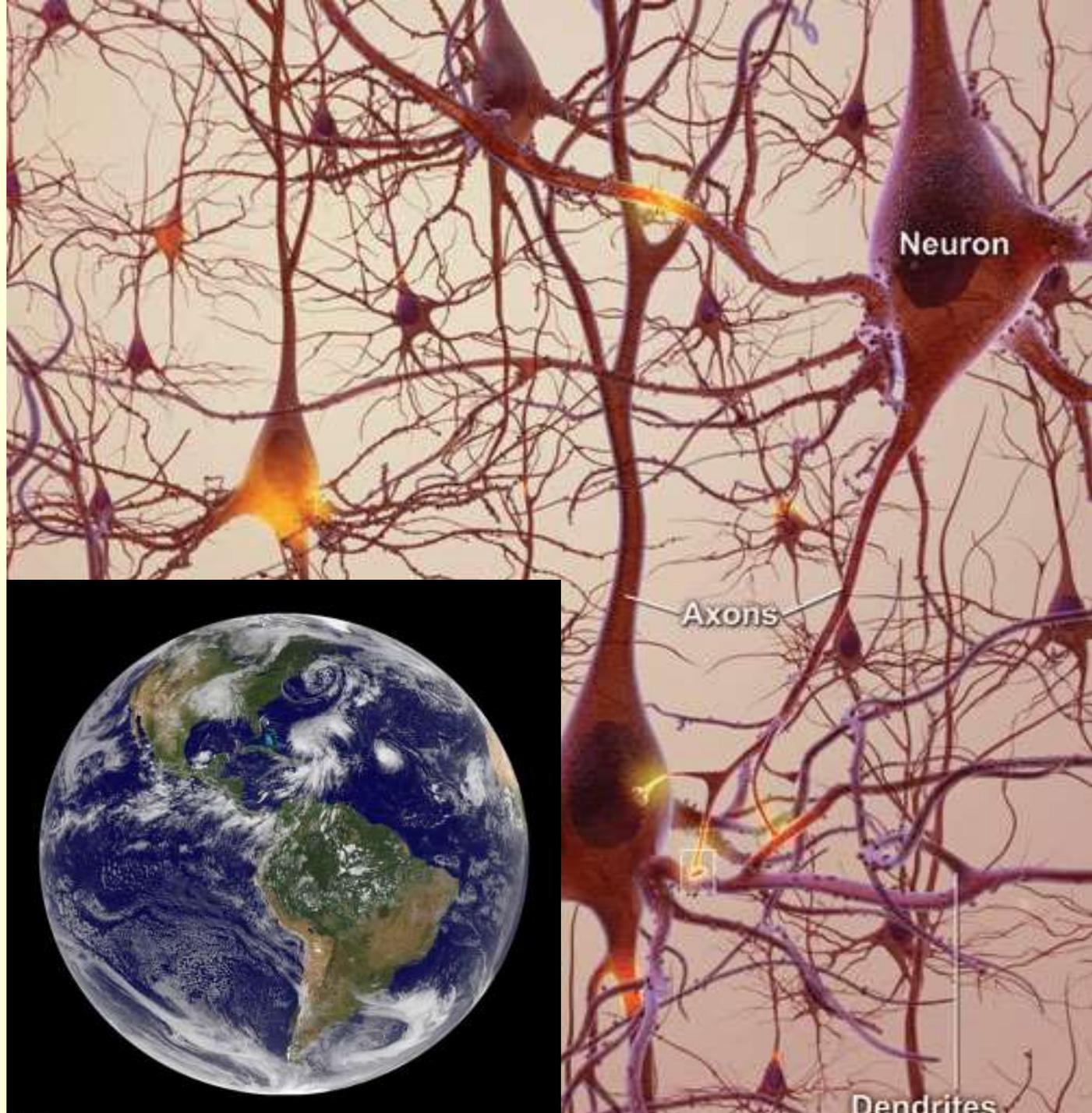
Alors :  $0,2 \text{ m} \times 0,2 \text{ m} / 0,000\ 001 \text{ m} = 40\ 000 \text{ m} = \mathbf{40 \text{ km}}$





Et si on mettait  
bout à bout tous  
ces petits câbles,

on a estimé  
qu'on pourrait  
faire plus de  
**4 fois le tour  
de la Terre**  
avec le contenu  
d'un seul cerveau  
humain !



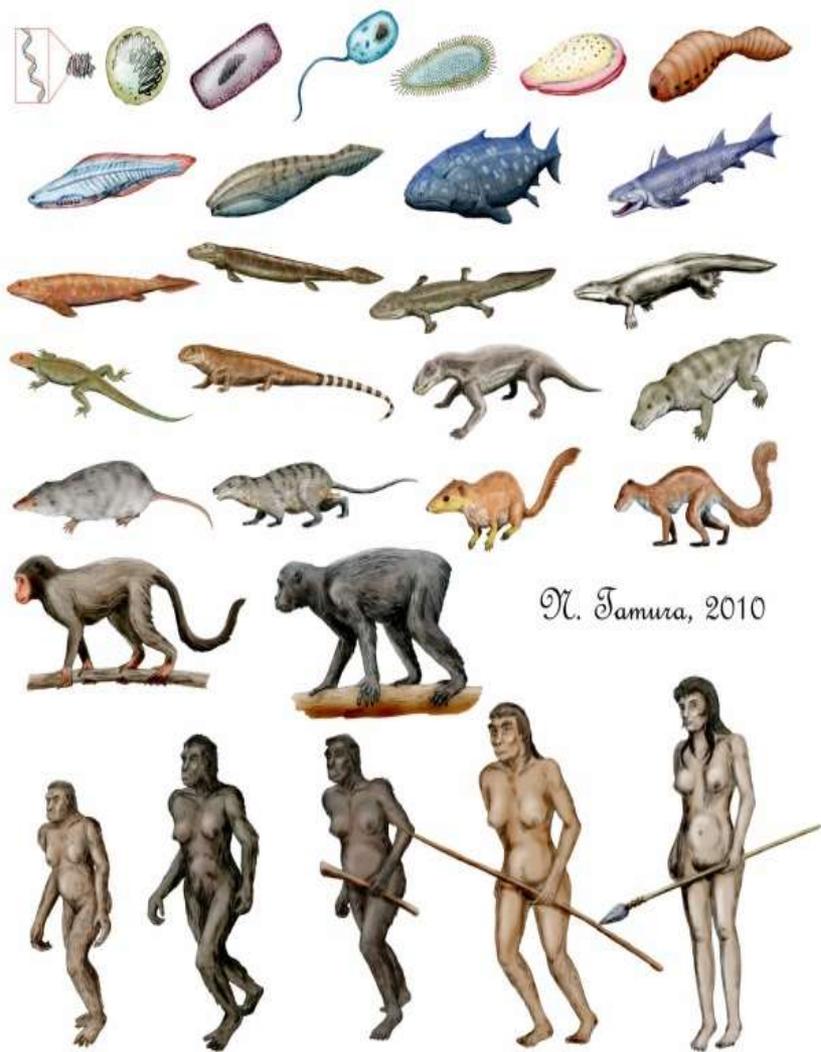


Live from the Flight Deck | golfcharlie232





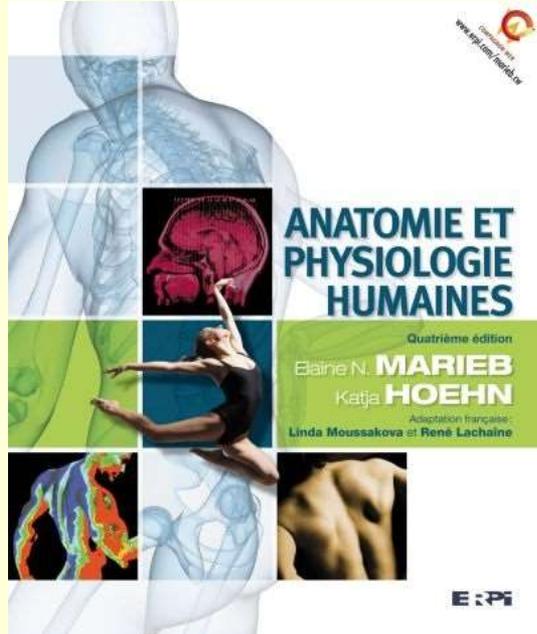




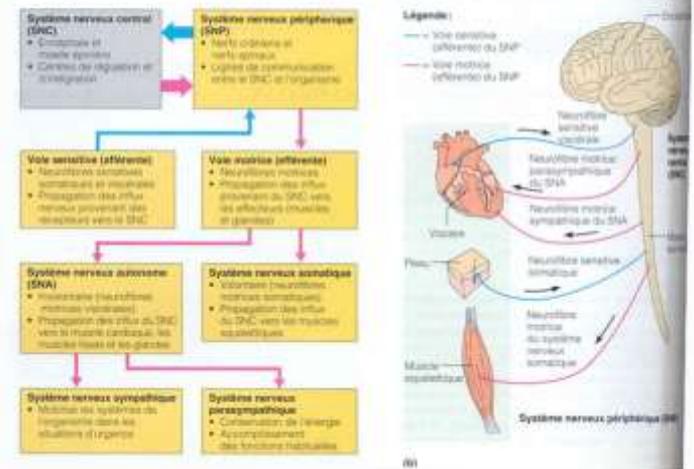
Or pour comprendre comment se constitue le corps d'un individu, il faut remonter aux origines de la **vie** (puisque nous sommes des êtres vivants), puis aux origines des **systèmes nerveux** (puisque nous sommes des animaux) et aux origines du **langage** et de la **culture** (puisque nous sommes des humains).

Et à cette longue histoire **évolutive** (ou phylogénétique) va s'ajouter l'histoire du **développement** (ou ontogénèse) et de tous les **apprentissages** faits durant la vie personnelle de chaque individu connaissant.





# Organisation du système nerveux

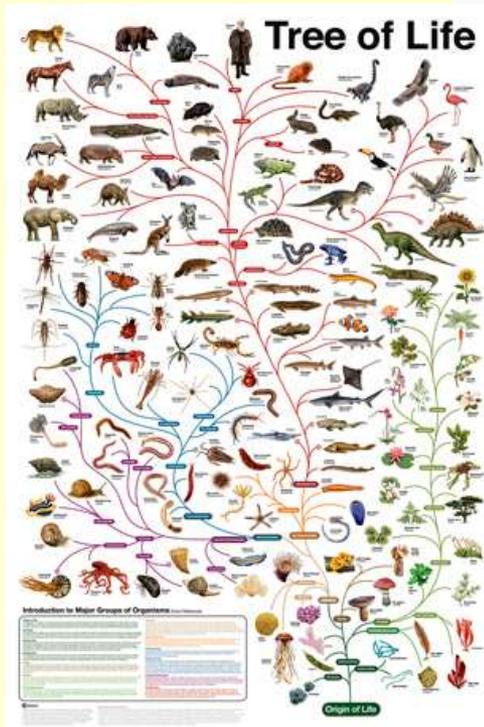


Marieb, 1999

Et donc essayer de comprendre le cerveau humain actuel en présentant son **organisation** et ses **fonctions**

en faisant pratiquement abstraction de sa longue **histoire évolutive**

ne peut déboucher que sur une compréhension **superficielle** de celui-ci.



# Notre cerveau à tous les niveaux

Upop Montréal

5 séances à l'automne

5 séances à l'hiver

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

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

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

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

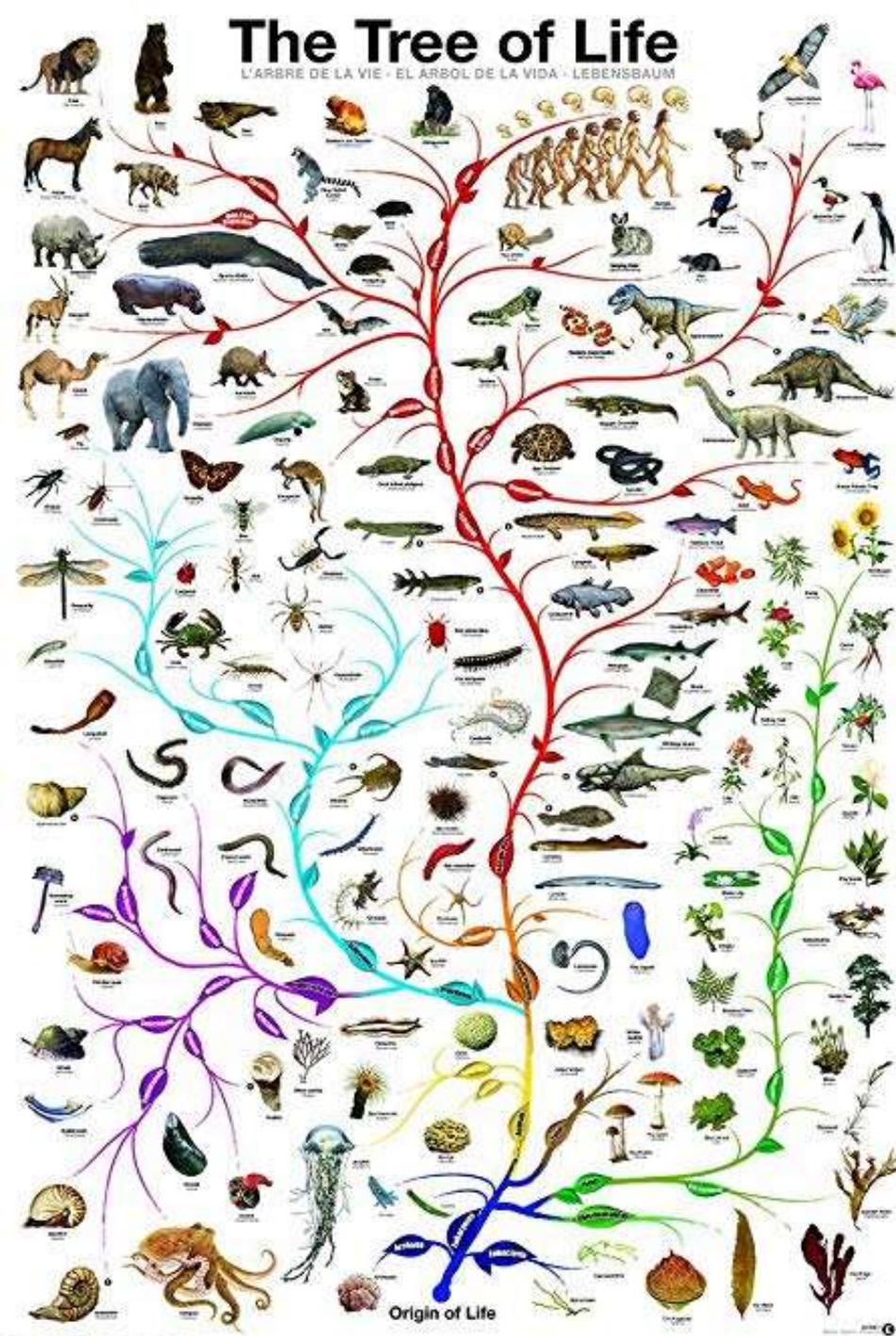
Séance 8 :  
**Cerveau et corps  
ne font qu'un  
et sont  
constamment  
affectés par  
l'environnement**

Séance 9 :  
**Conscient,  
inconscient et  
langage : quel est  
ce « je » qui se  
dit libre ?**

Séance 10 :  
**Morale de  
l'histoire : notre  
espèce a-t-elle  
de l'avenir ?**

# The Tree of Life

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



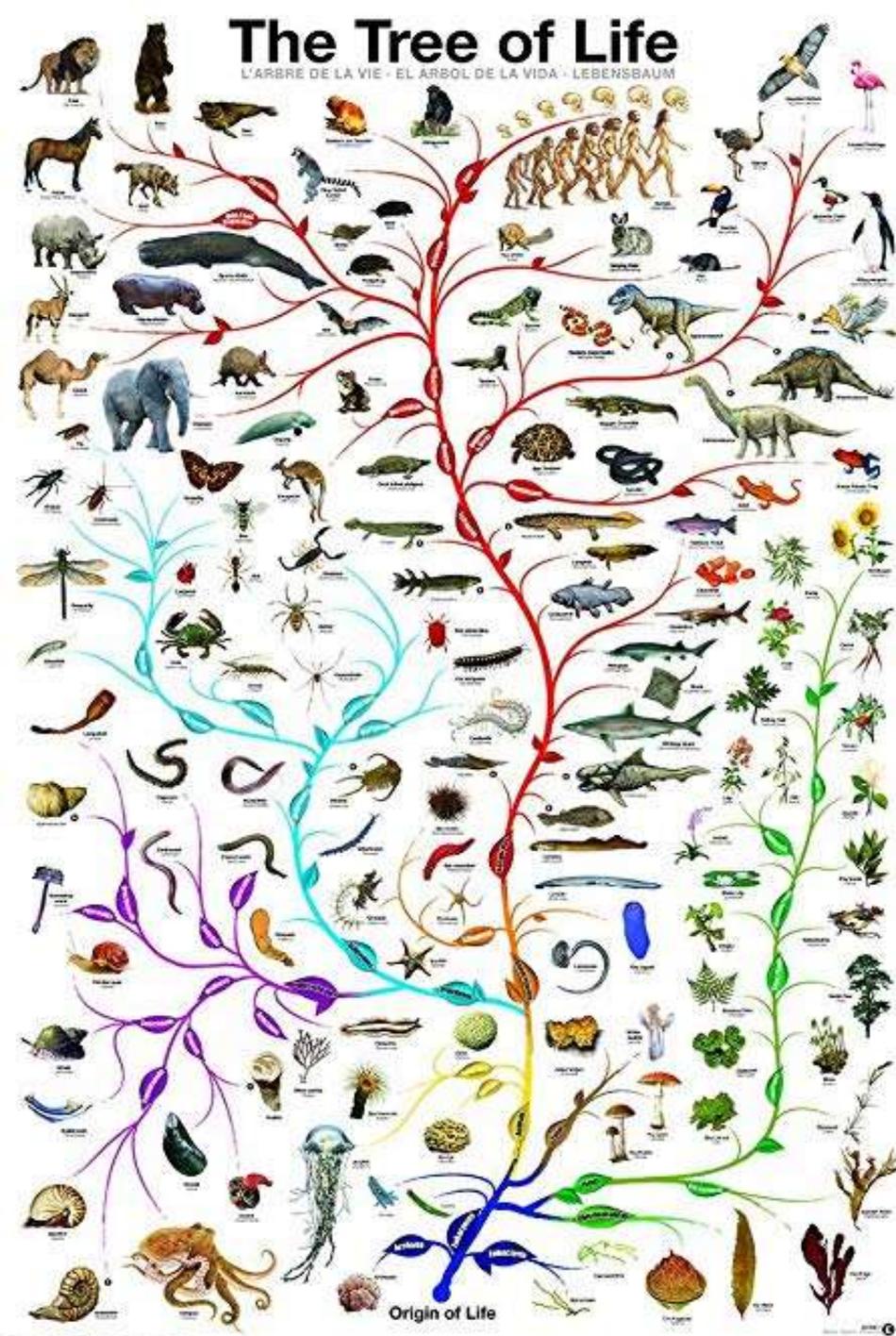
Pour une compréhension plus profonde  
du cerveau,



il faut donc se pencher  
sur ce qu'est **la vie** elle-même...

# The Tree of Life

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

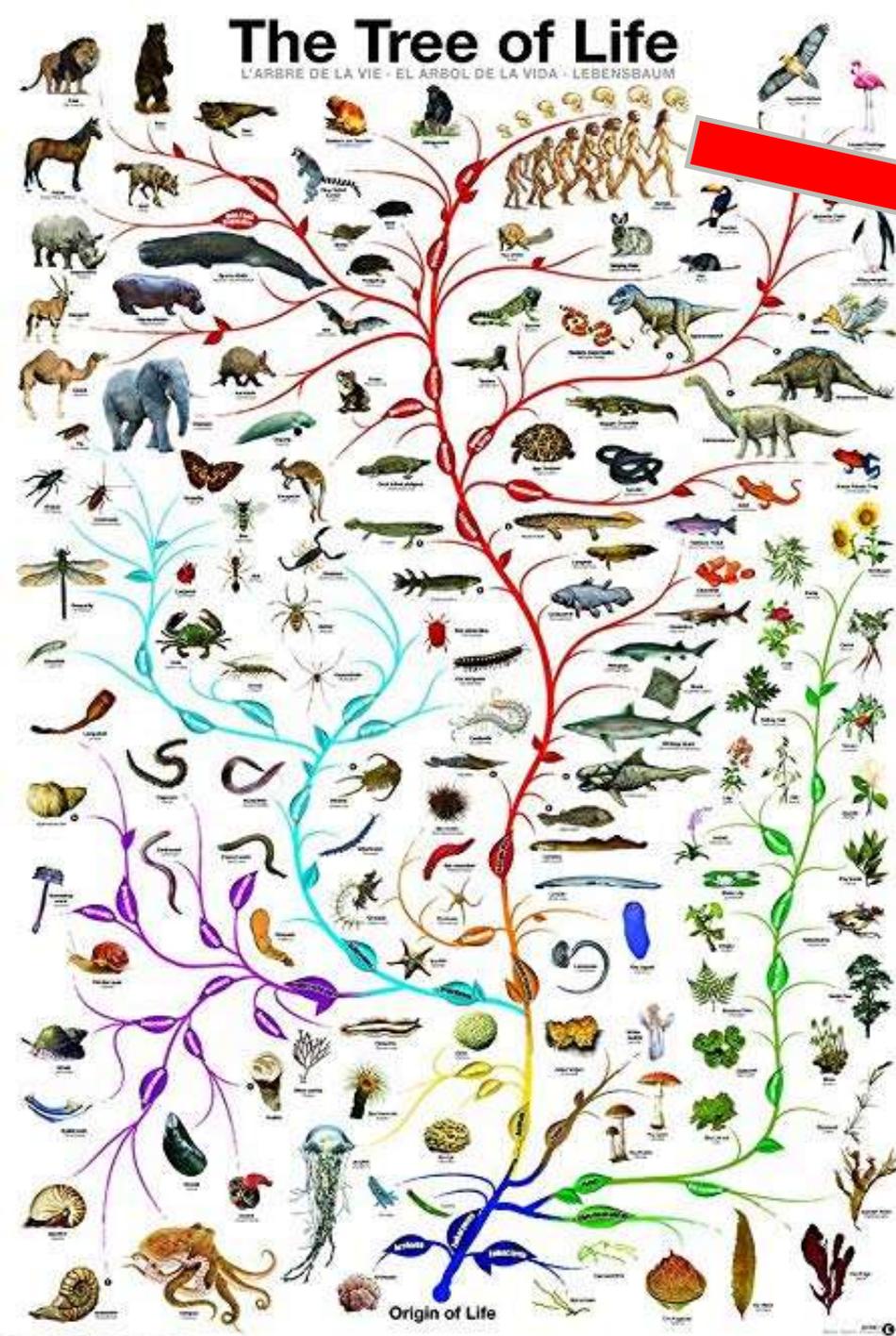


J'attire l'attention sur le caractère singulier de cette démarche.

Car de tous les êtres vivants sur la Terre...

# The Tree of Life

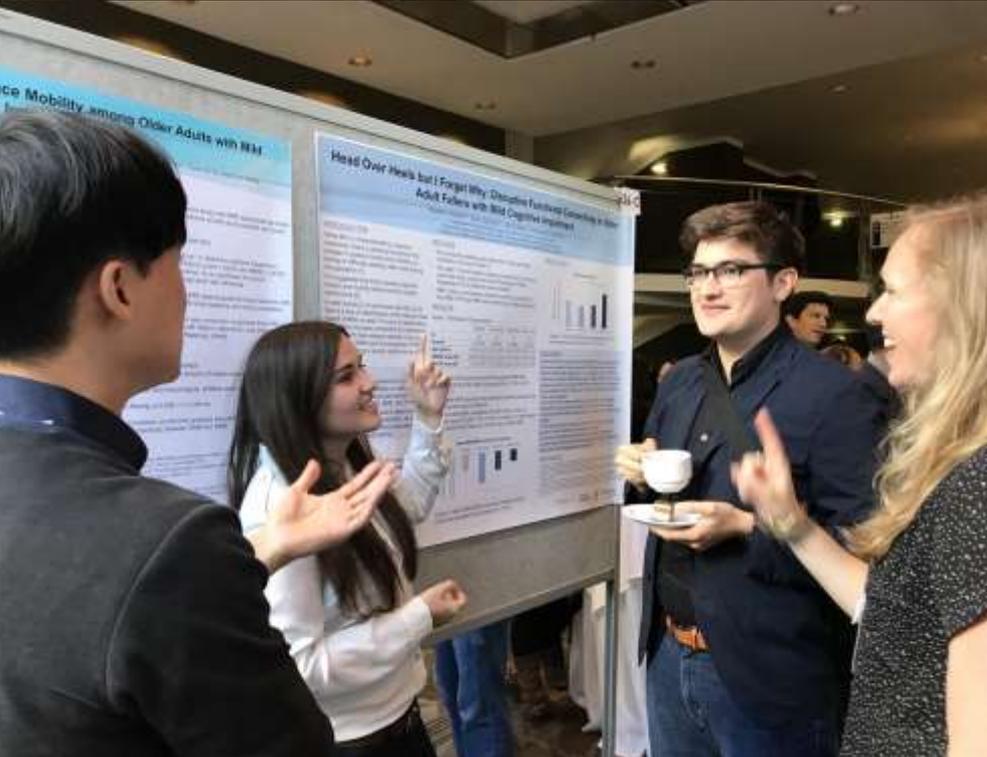
L'ARBRE DE LA VIE - EL ARBOL DE LA VIDA - LEBENSBAUM



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

→ **D'où cette sensation de vertige** du fait de la circularité engendrée par l'utilisation de l'instrument d'analyse pour analyser l'instrument d'analyse

...mais pas science !



Culture, outil, politique...

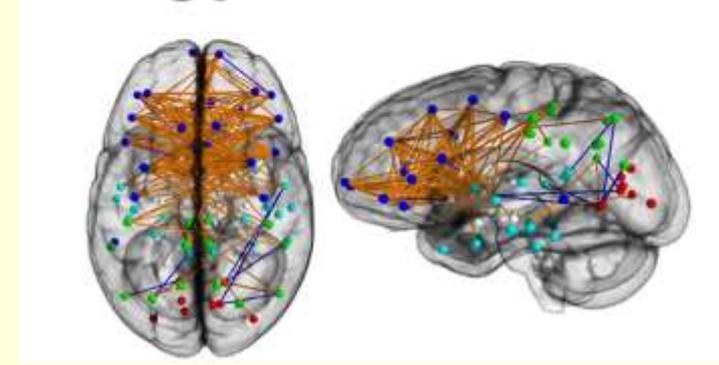
Autrement dit, nous les humains, avec notre gros cerveau, on peut...



...créer un monde de sens commun à partir de **subjectivités partagées**  
à propos d'éléments du monde comme... le cerveau humain lui-même !

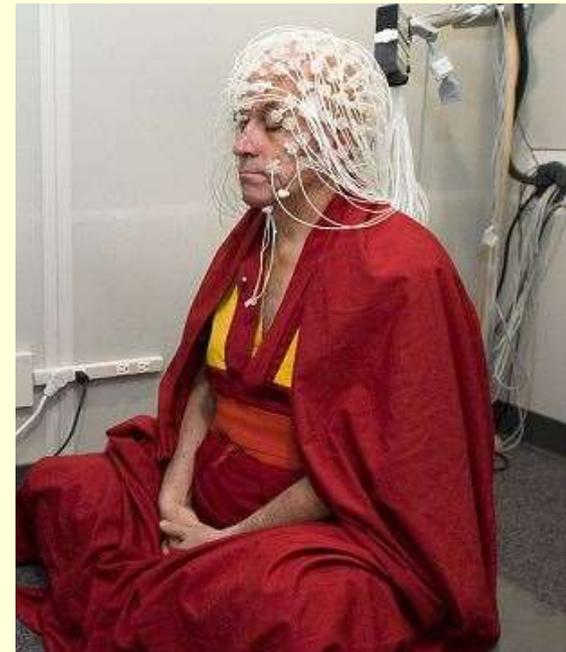
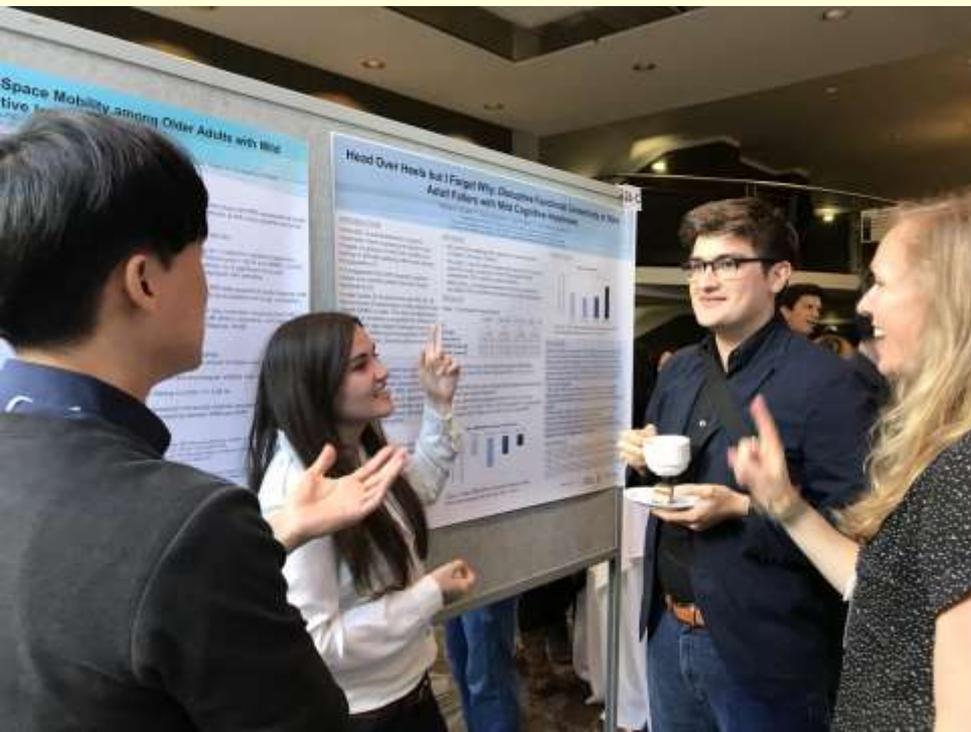


Mais il ne faudra pas confondre les descriptions langagières à la 3<sup>e</sup> personne que font les scientifiques et qui leur permettent de faire des **distinctions** linguistiques (**catégories, concepts, etc.**)

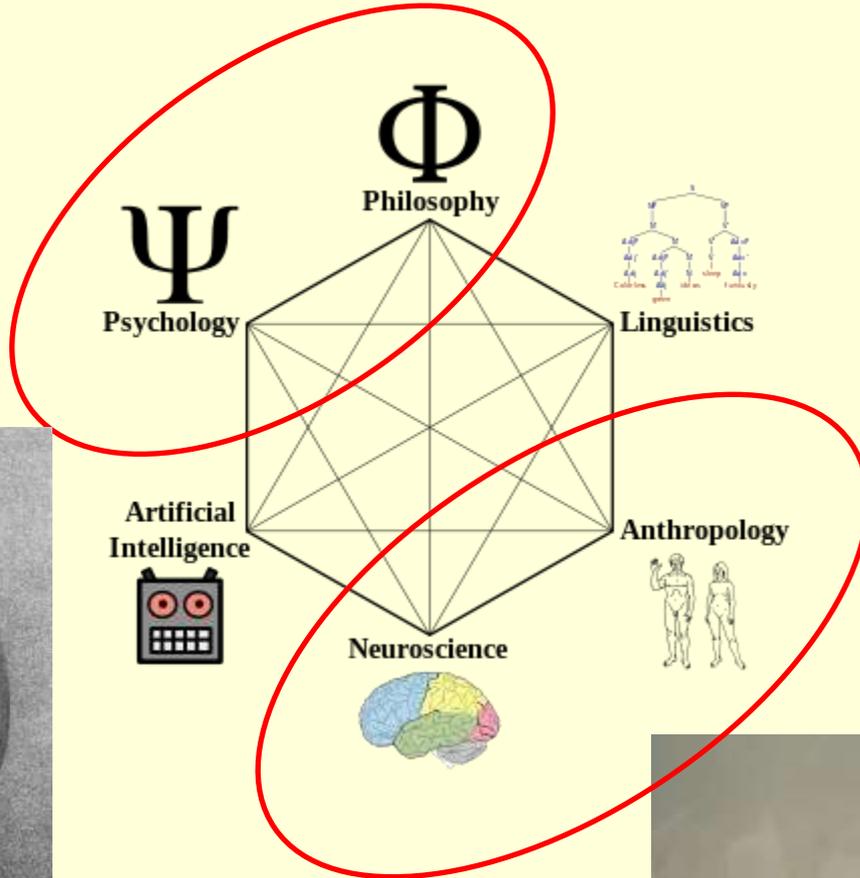


des opérations biologiques concrètes de « **couplage** » à tous les niveaux

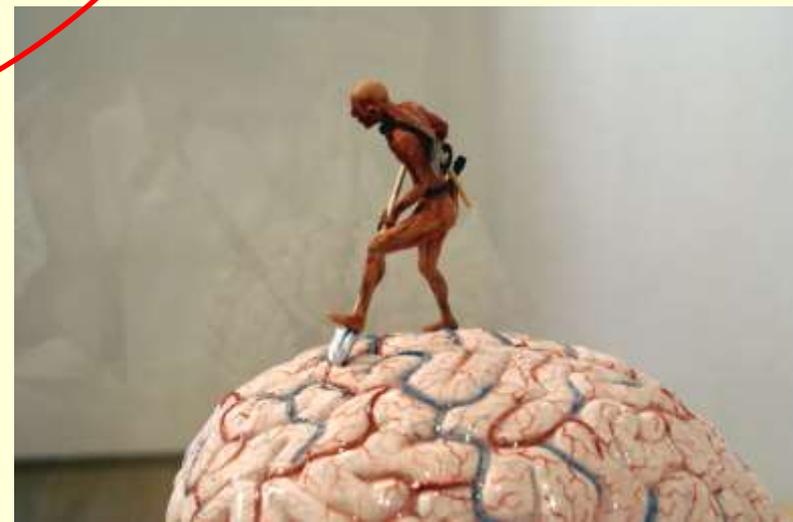
(majoritairement inconscientes et dont on a un accès limité à la 1<sup>ère</sup> personne).



l'aspect « subjectif »  
ou à la 1<sup>ère</sup> personne



l'aspect « objectif »  
ou à la 3<sup>e</sup> personne



Et ce n'est pas facile de concilier les deux...



Le rouge que  
l'on ressent à  
la vue de cette  
pomme...





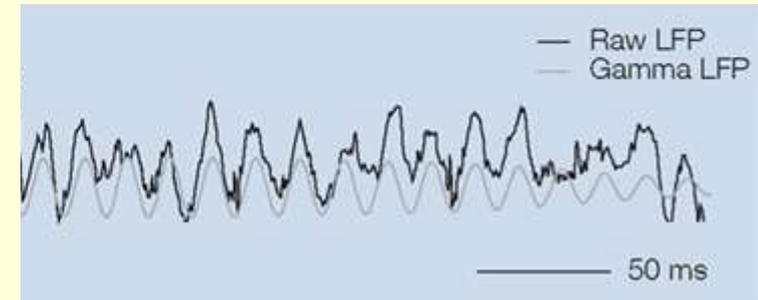
Le rouge que l'on ressent à la vue de cette pomme...

...c'est notre sentiment « subjectif » ou à la 1<sup>ère</sup> personne.

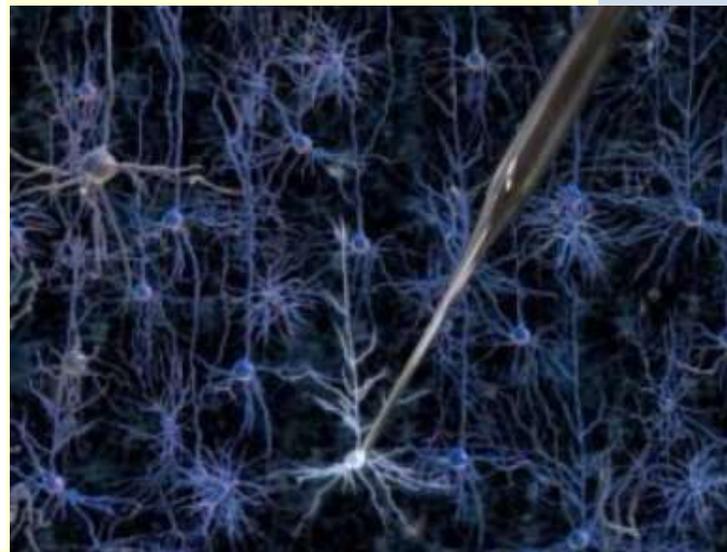
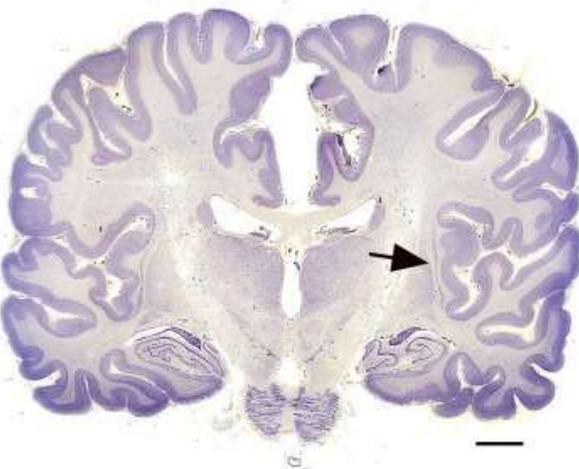


**Mais il est où le rouge dans notre cerveau ?**

Car si on regarde dans le cerveau, on voit juste de l'activité électrique qui parcourt des neurones, i.e. des ions qui traversent des membranes...!



B



Le niveau neuronal ou moléculaire n'est donc pas le bon niveau pour voir des analogies intéressantes avec notre pensée... **mais il y est nécessaire !**

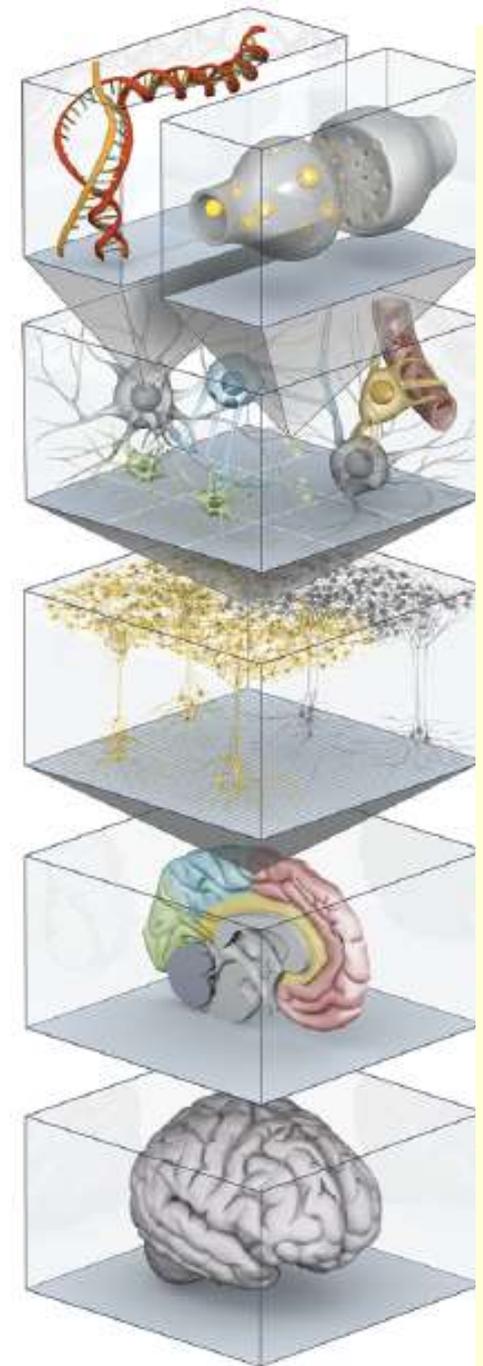
Car nous sommes fait de multiples **niveaux d'organisation**

LE CERVEAU À TOUS LES NIVEAUX!

Le social  
(corps-cerveau-environnement)



L'individu  
(corps-cerveau)



# Plan :

**1<sup>er</sup> bloc** : on va explorer l'émergence de ces différents niveaux d'organisation sur le temps long de l'évolution

Atomes et molécules

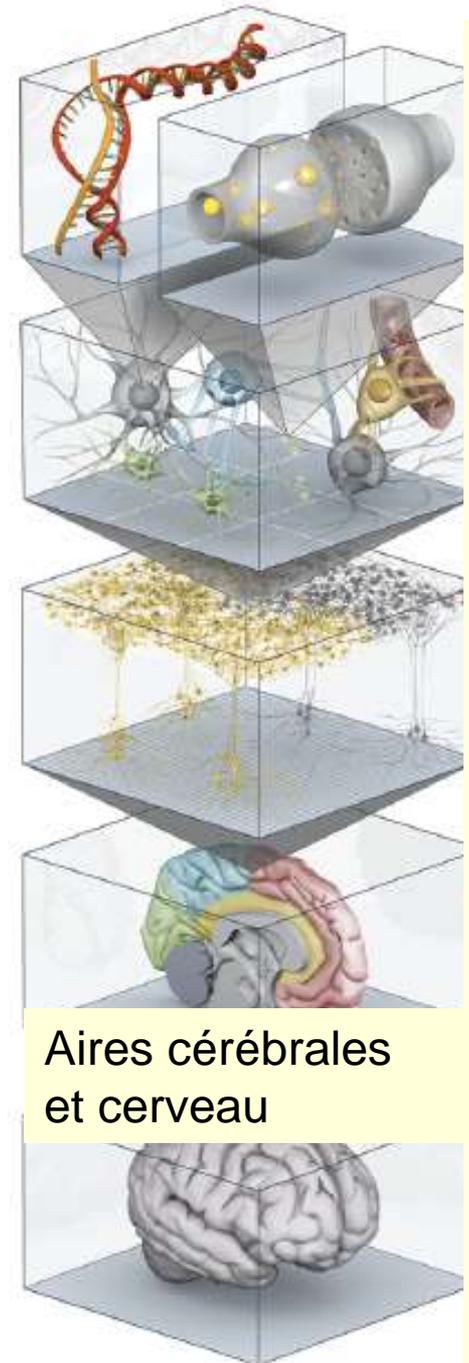
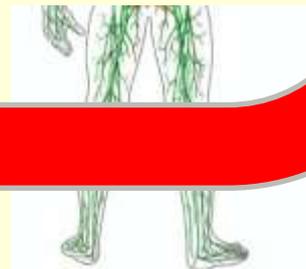
Cellules vivantes (neurones)

Circuits de neurones

Social  
(cerveau-corps-environnement)



Corps



Aires cérébrales et cerveau

Repartons du problème de la conscience subjective.

Désir

Attentes

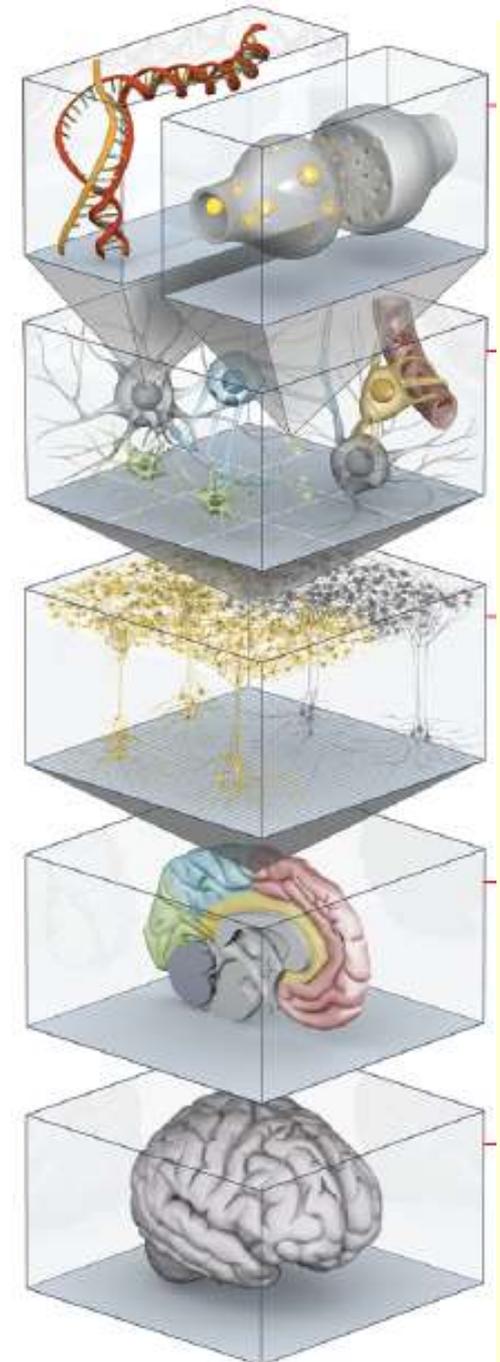
Imagination

Intentions

Souvenirs

C'est grâce à tous ces niveaux qu'elle émerge.

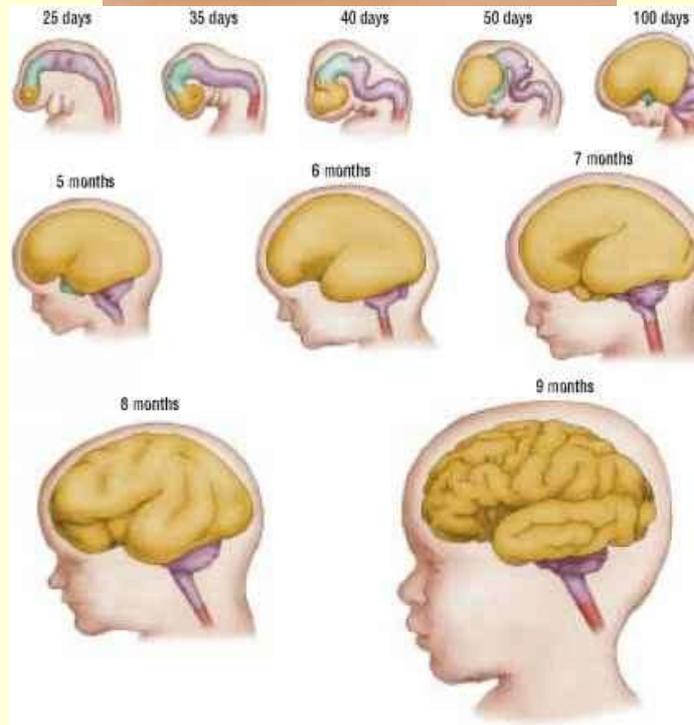
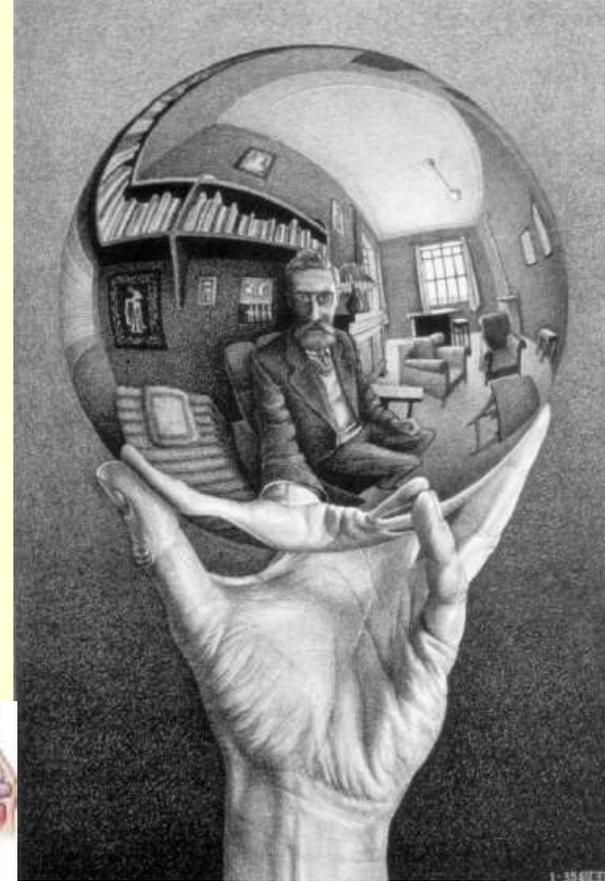
Mais elle commence quand ?

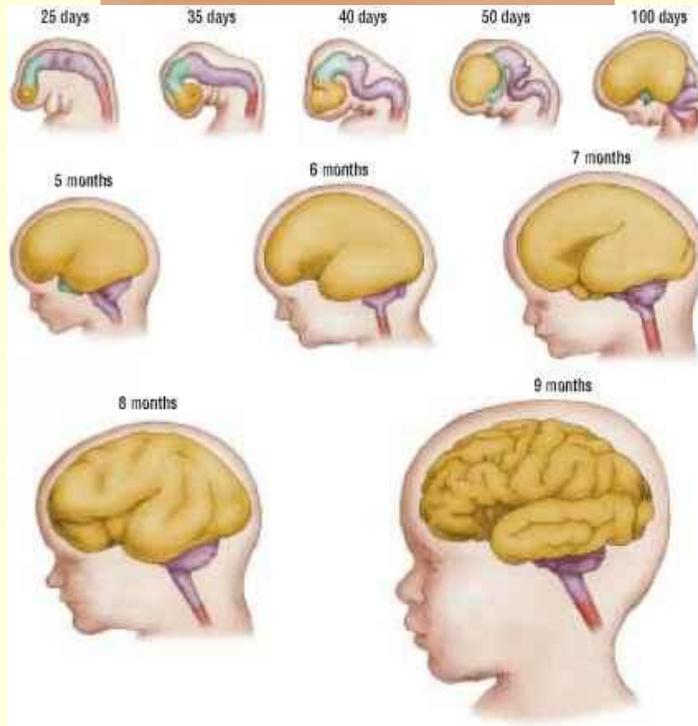
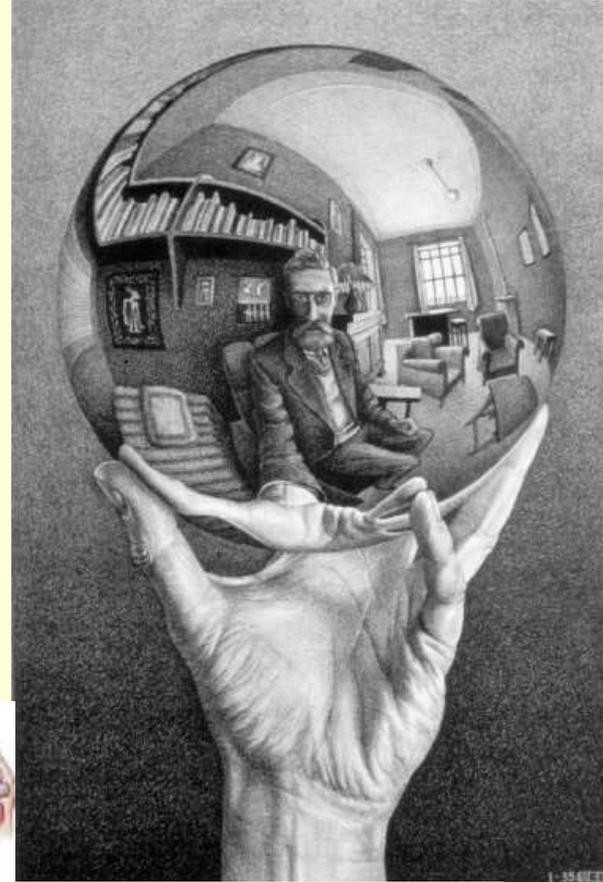


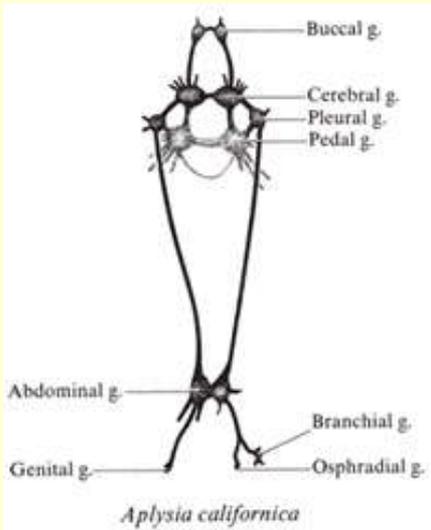
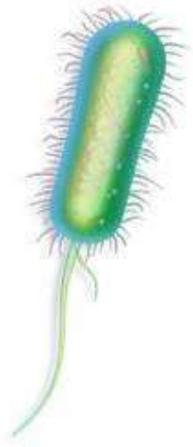
Difficile d'avoir accès  
à sa subjectivité...

...mais pas  
impossible par des  
protocoles astucieux

et l'on peut faire des  
corrélations avec le  
cerveau en  
développement.







# Linguistic Bodies

## The Continuity between Life and Language

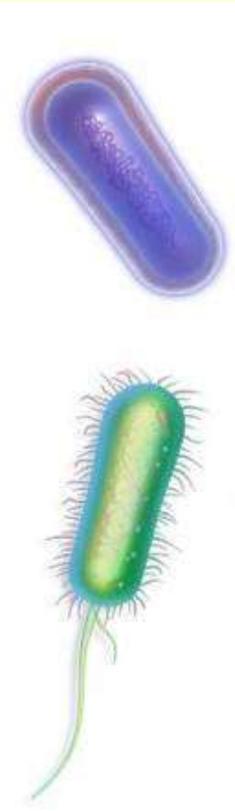
By Ezequiel A. Di Paolo, Elena Clare Cuffari and Hanne De Jaegher

A novel theoretical framework for an embodied, non-representational approach to language that extends and deepens enactive theory, bridging the gap between sensorimotor skills and language.

<https://mitpress.mit.edu/books/linguistic-bodies>

**2018**

Il va falloir **reculer dans le temps**  
pour essayer de comprendre où commence le « mind » !



# Plan :

**1<sup>er</sup> bloc** : on va explorer l'émergence de ces différents niveaux d'organisation sur le temps long de l'évolution

**Atomes et molécules**

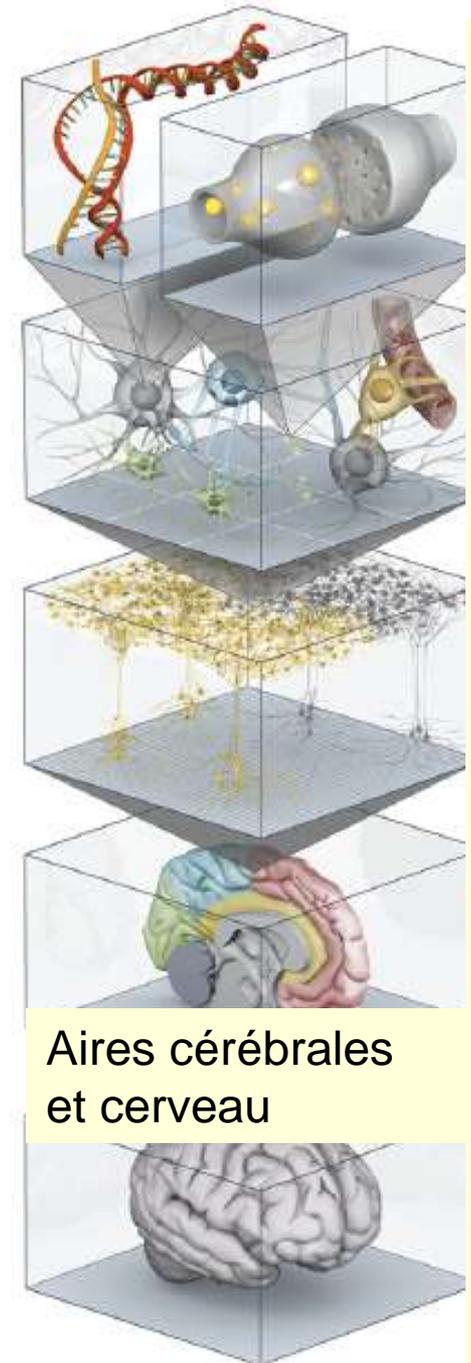
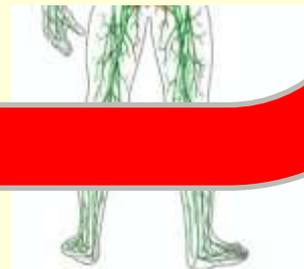
Cellules vivantes (neurones)

Circuits de neurones

**Social**  
(cerveau-corps-environnement)



**Corps**



**Aires cérébrales et cerveau**

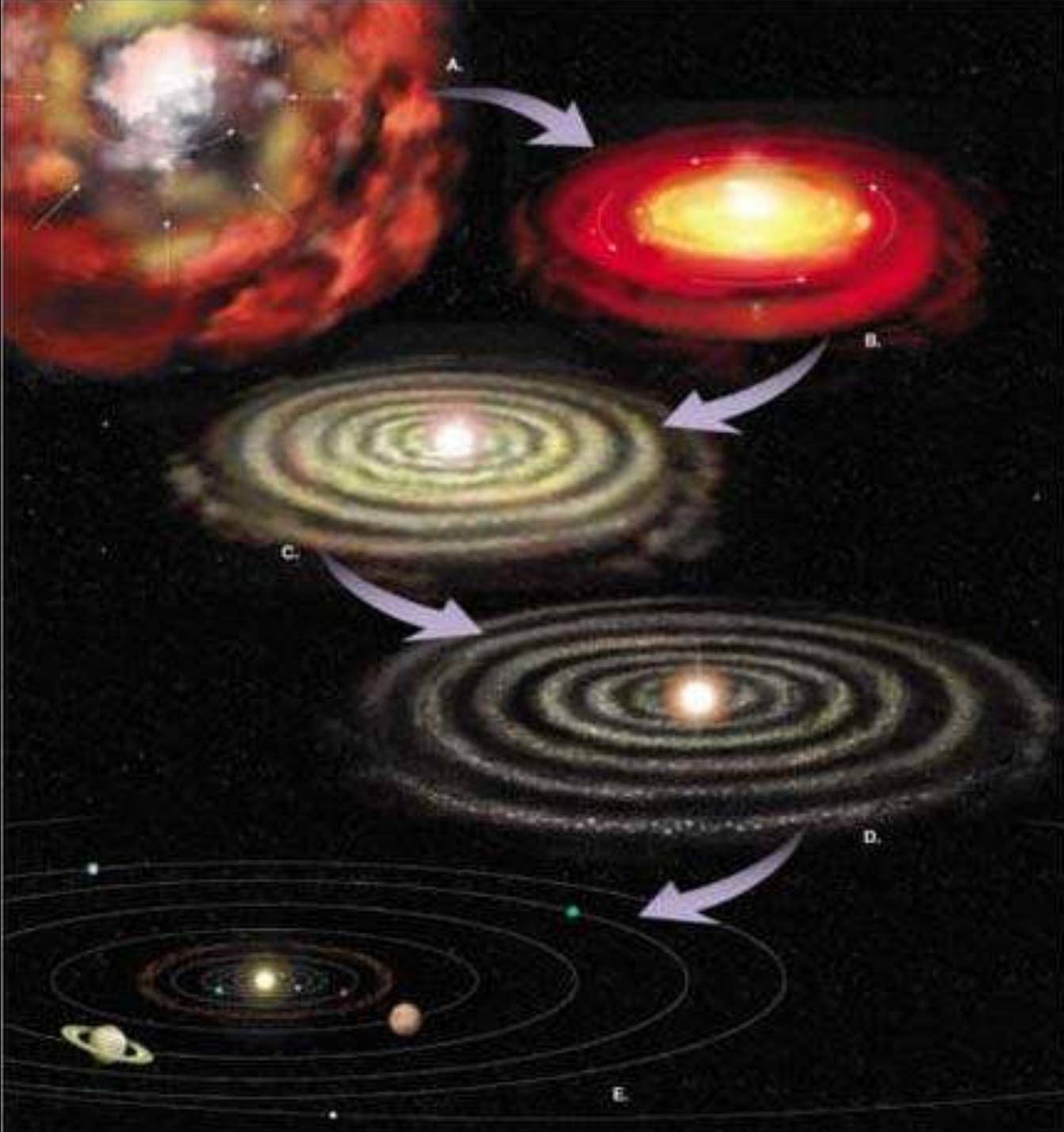
# Poussières d'étoiles

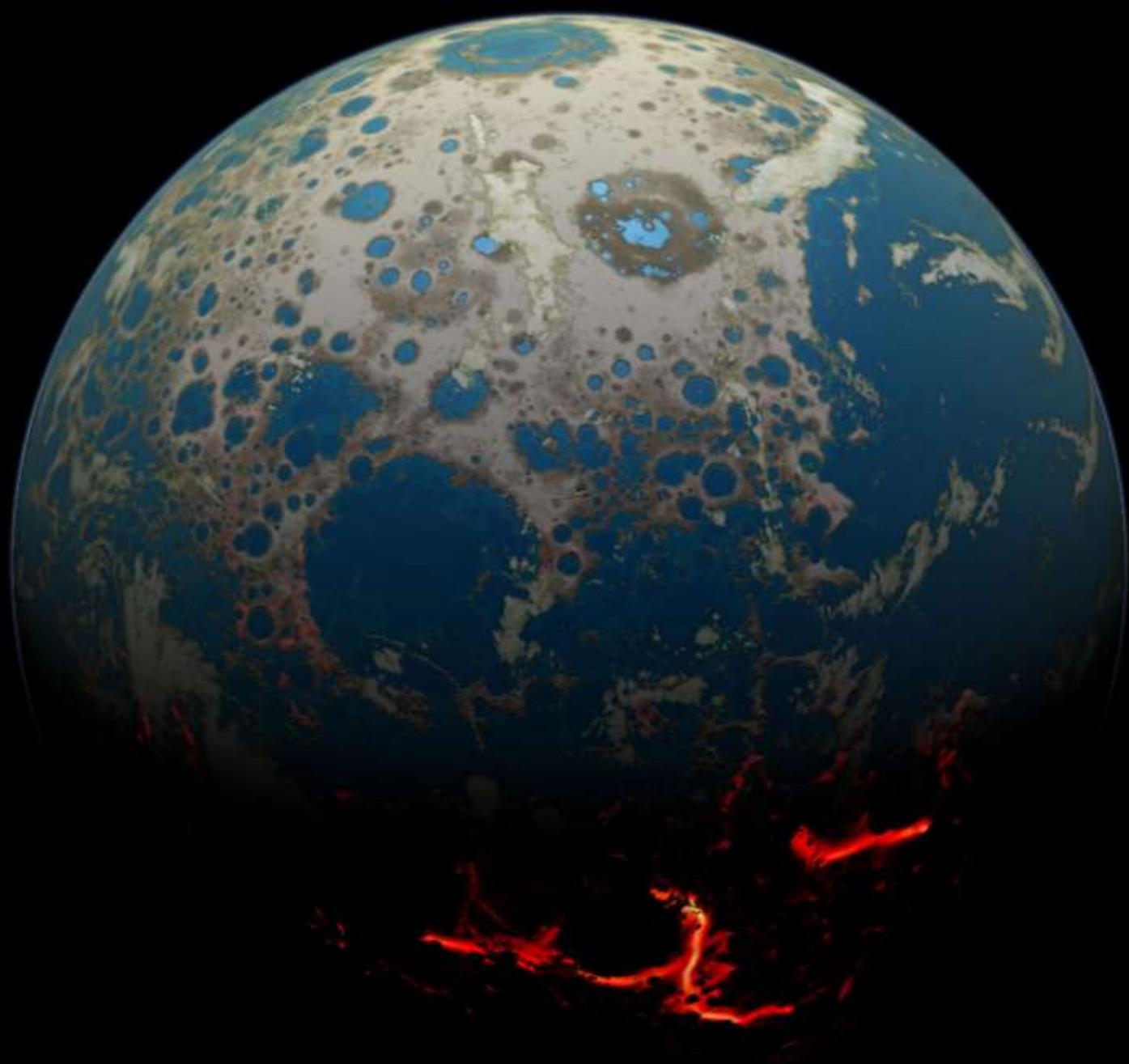
Hubert Reeves

SEUIL

Une petite partie du cosmos  
prend conscience de lui-même  
(ou plutôt d'une partie de lui-même)...

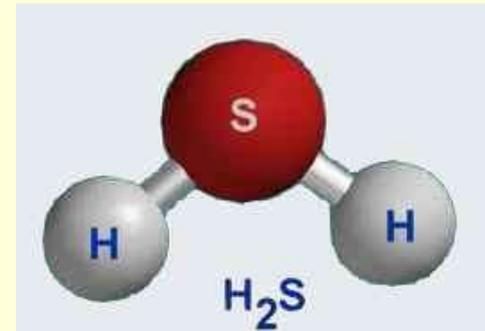
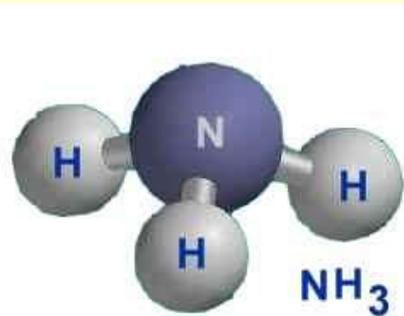
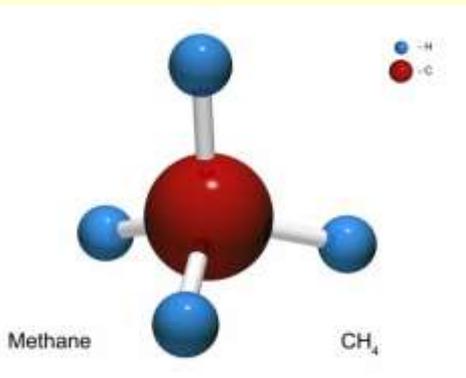
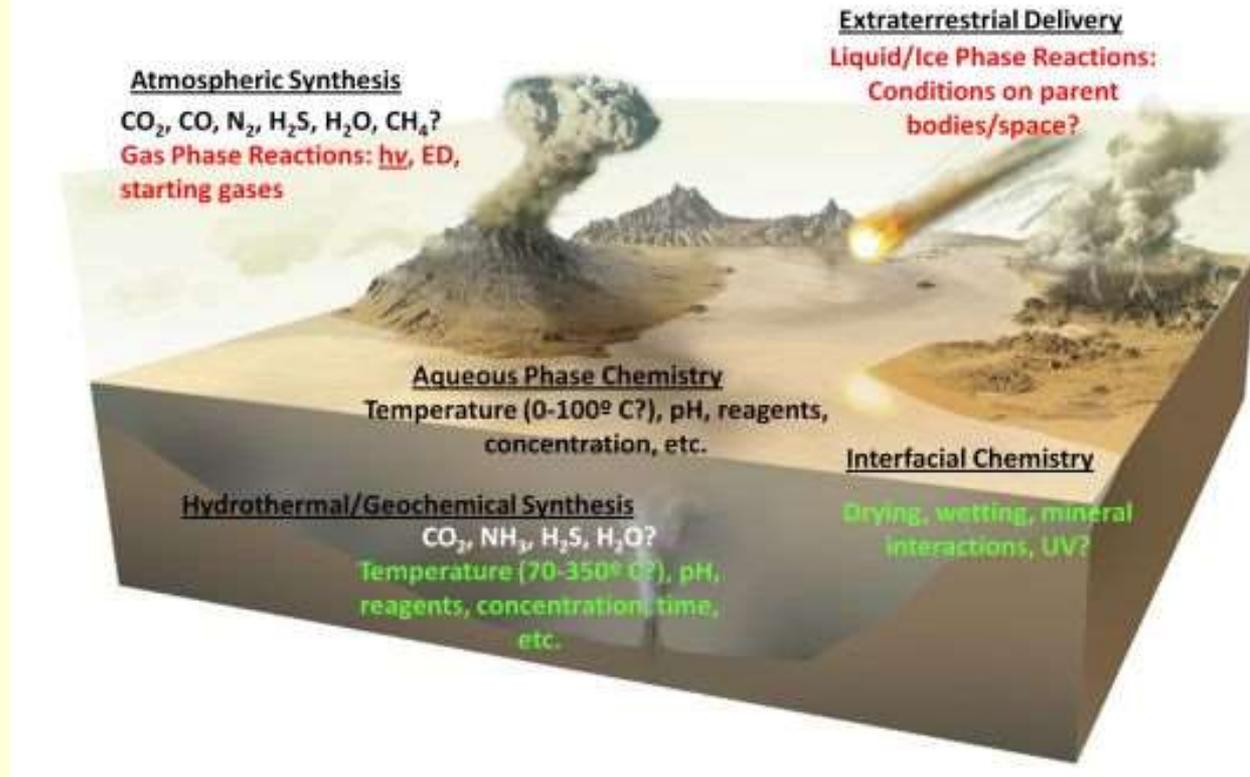
Et se rend compte qu'il y a un lien  
entre ce qui le constitue et  
les étoiles qu'il observe !





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 ( $\text{H}_2\text{S}$ ).



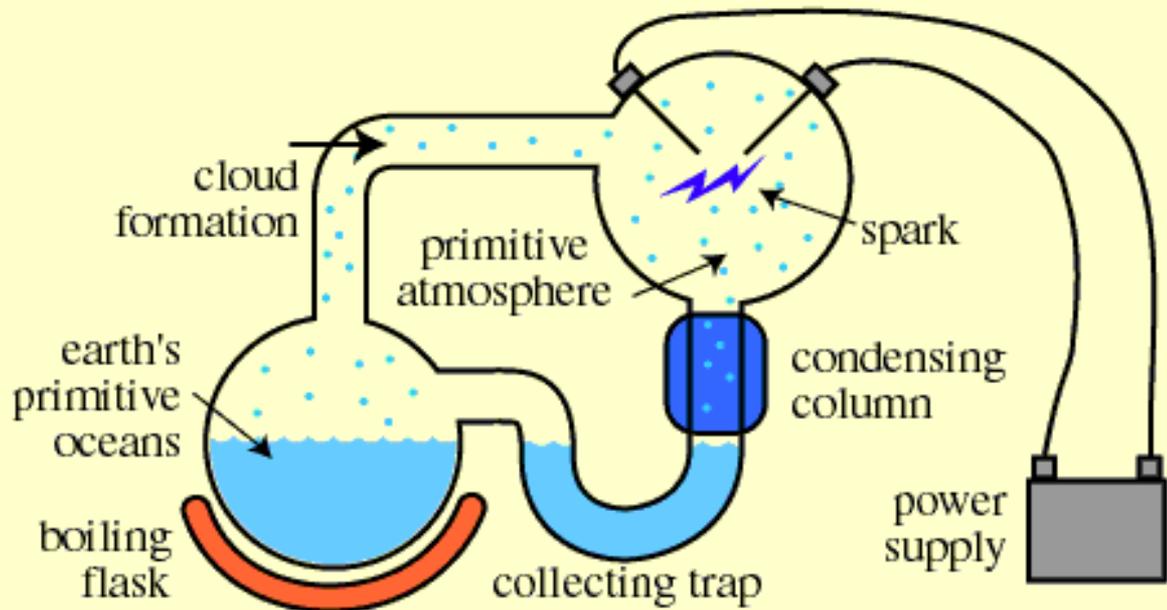
Ces molécules simples ont pu se complexifier jusqu'à un certain point dans les « **mares chaudes** » dont parlait déjà Darwin et qu'on a ensuite appelé « **soupe primitive** ».



atmosphère et "soupe" primitive

**1953, Miller et Urey :**  
confirment cette  
hypothèse par une  
célèbre expérience in  
vitro où des molécules  
organiques apparaissent

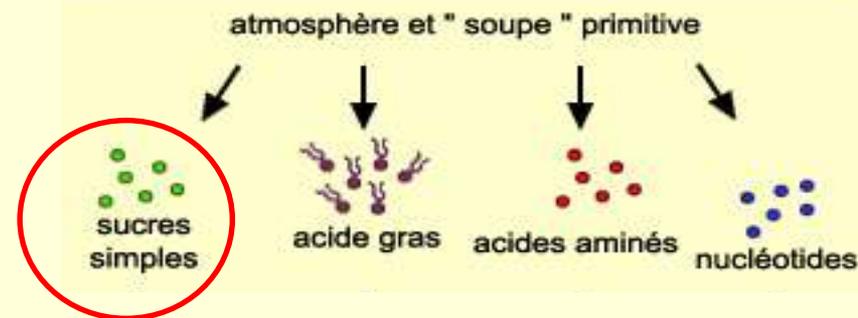
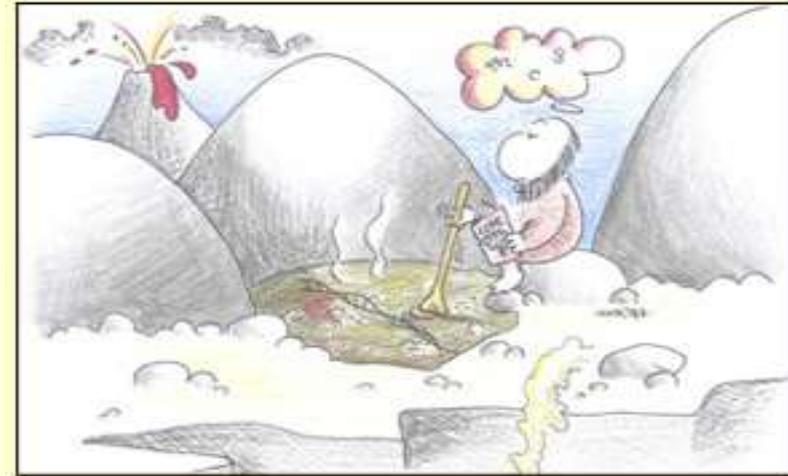
(**acides aminés**, etc.)

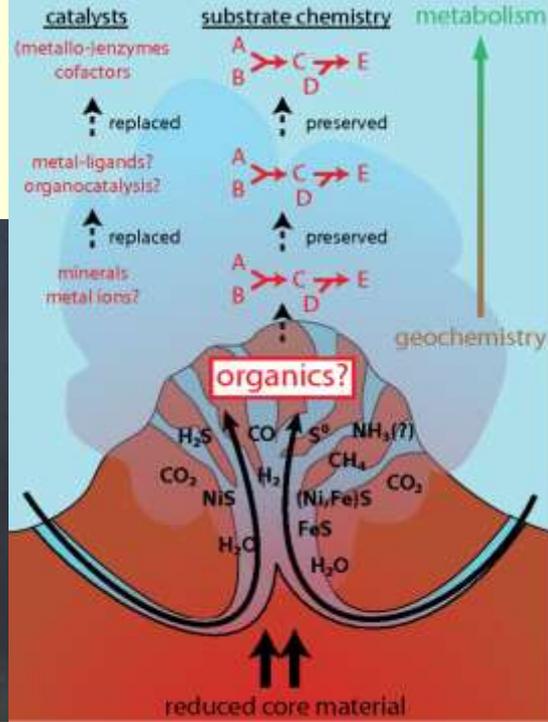


# Un constituant de la vie détecté dans une comète

16 avril 2016 <http://www.ledevoir.com/societe/science-et-technologie/468358/un-constituant-de-la-vie-detecte-dans-une-comete>

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

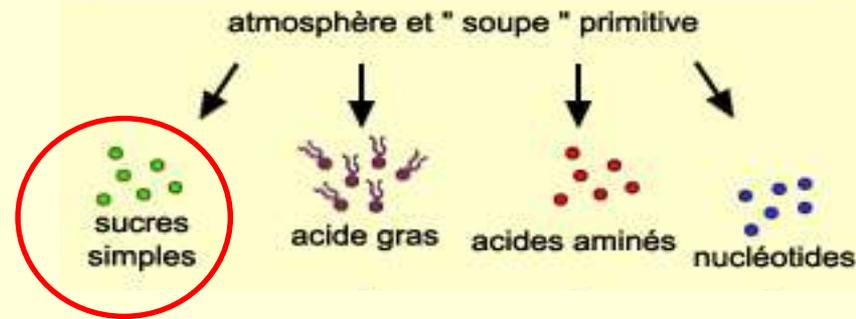




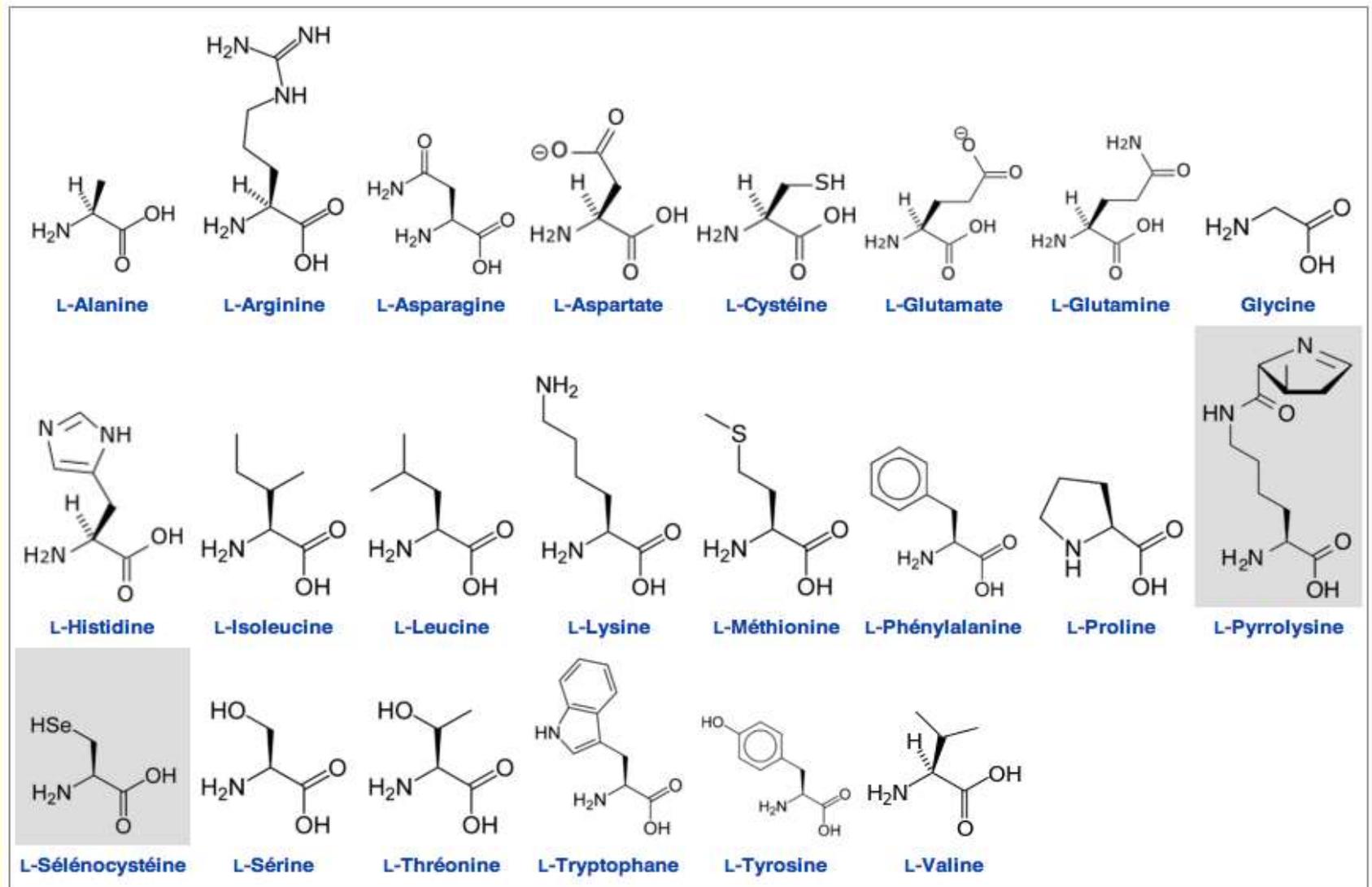
# Abiotic synthesis of amino acids in the recesses of the oceanic lithosphere

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

Bénédicte Ménez, et al. *Nature*,  
**volume 564**,  
 pages 59–63 (2018)



# Les acides aminés (qui formeront plus tard les protéines).

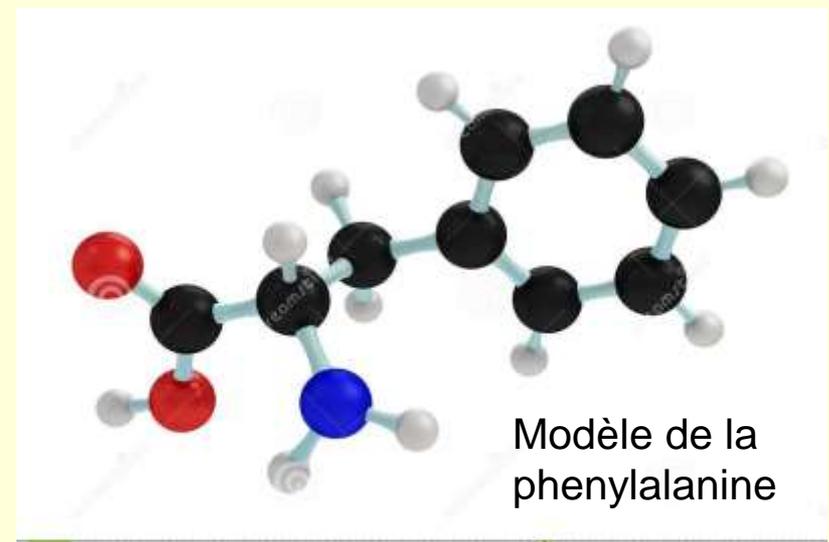
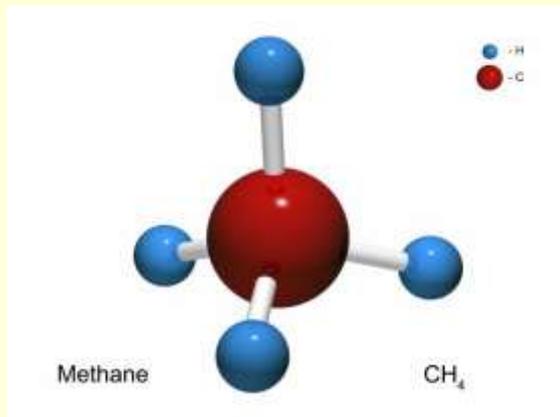


On peut donc dire que le passage de molécules simples vers des molécules organiques comme les acides aminés s'accompagne d'une **croissance de la complexité**.

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.



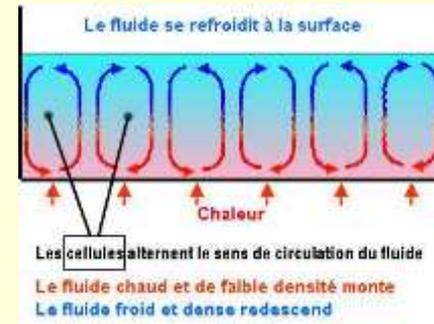
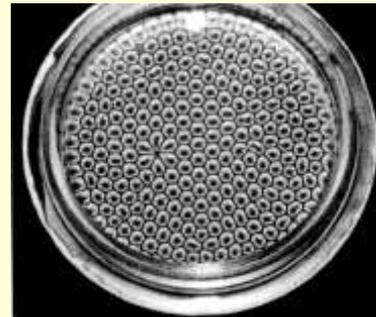
La notion d'**auto-organisation** permet de comprendre comment **de l'ordre peut apparaître spontanément au sein du désordre [...]**

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...**

# **Biological self-organisation and Markov blankets**

Enzor Rafael Palacios, Adeel Razi, Thomas Parr, Michael Kirchhoff and Karl Friston (2017)

[https://www.academia.edu/35604713/Biological\\_self-organisation\\_and\\_Markov\\_blankets?email\\_work\\_card=title](https://www.academia.edu/35604713/Biological_self-organisation_and_Markov_blankets?email_work_card=title)

## Abstract

Biological self-organisation is a process of spontaneous pattern formation; namely **the emergence of coherent and stable systemic configurations that distinguish themselves from their environment.**

**This process can occur at various spatial scales: from the microscopic (giving rise to cells) to the macroscopic (the emergence of organisms).**

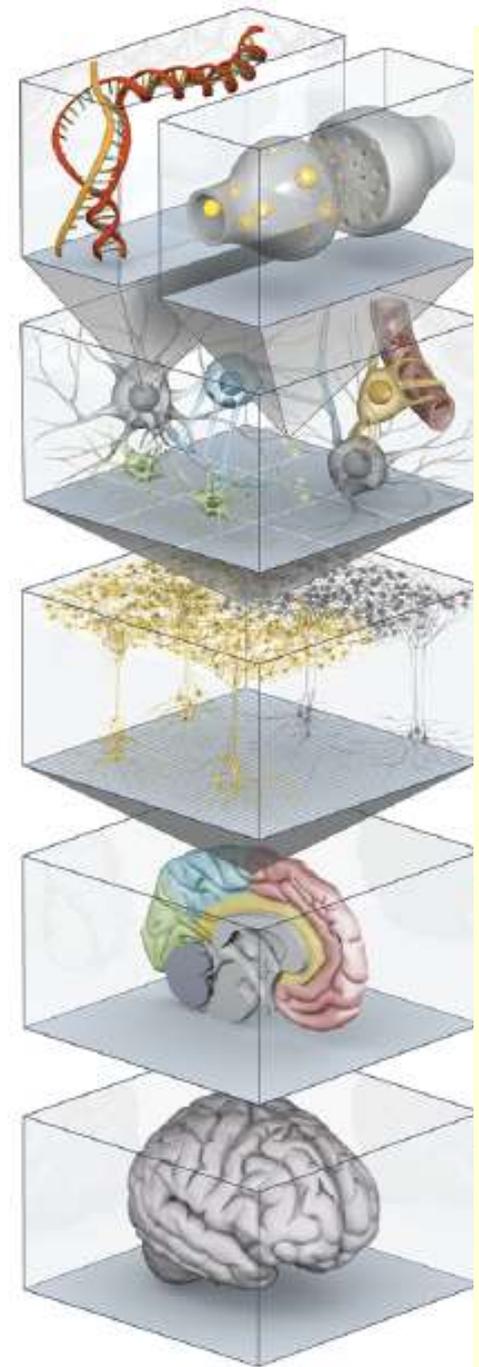
**Self-organisation at each level is essential to account for the hierarchical organisation of living organisms (organelles within cells, within tissues, within organs, etc.).**

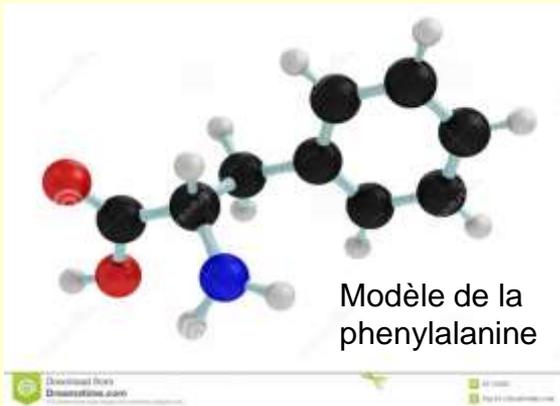
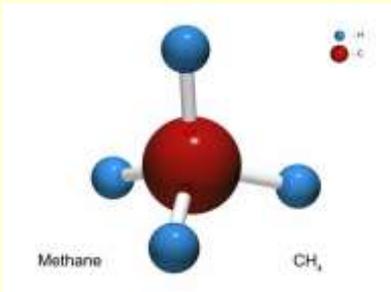
Atomes et  
molécules

Cellules  
vivantes  
(neurones)

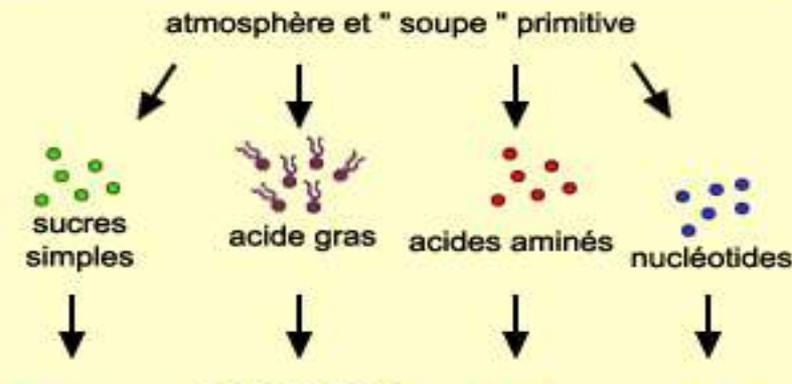
Le social  
(corps-cerveau-environnement)

L'individu  
(corps-cerveau)





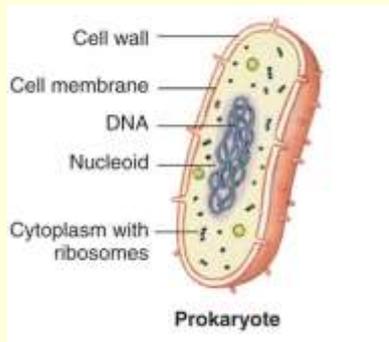
Non



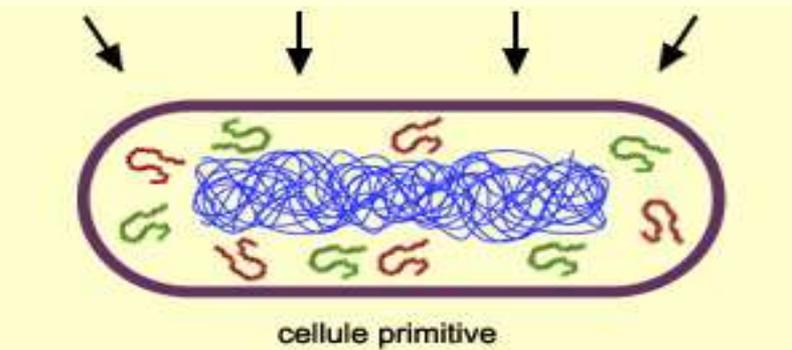
Qu'est-ce qui se passe entre les deux ?

?

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



Oui



# Différentes « signature de vie »

## Ni êtres vivants ni cailloux...

### Etre vivant

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



### Chose inerte

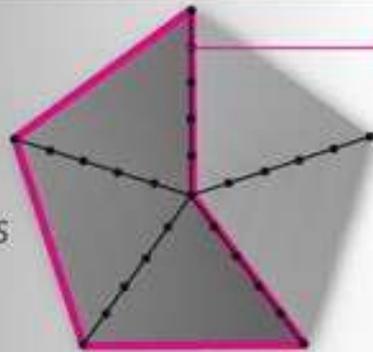
Incapable de se reproduire, d'évoluer, de posséder un métabolisme, une membrane ni, a fortiori, de conjuguer ces 4 facteurs, un caillou, par exemple, ne remplit aucune partie du pentagone.



# Différentes « signature de vie »

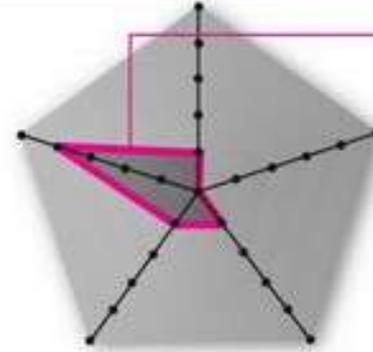
## mais des organismes à mi-chemin entre les deux

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



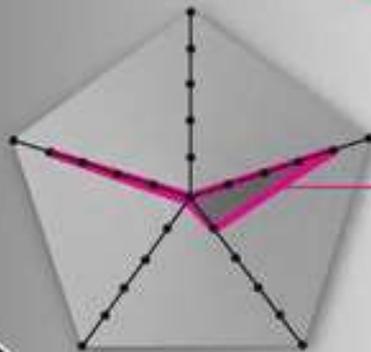
### Virus

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



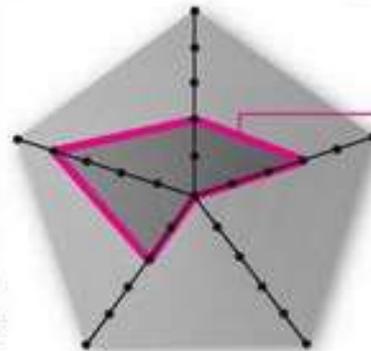
### Prion

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



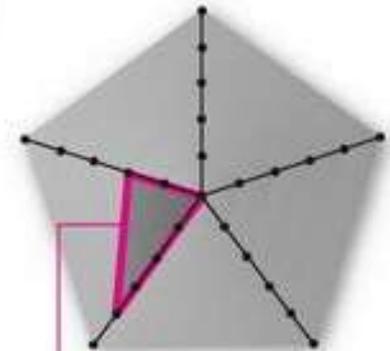
### Pepsine

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



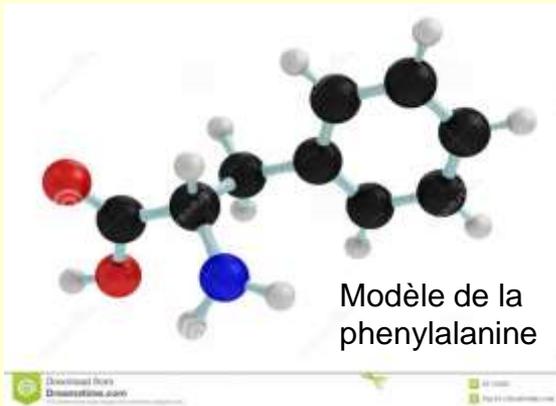
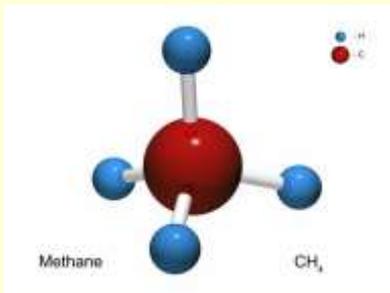
### Ribozyme

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



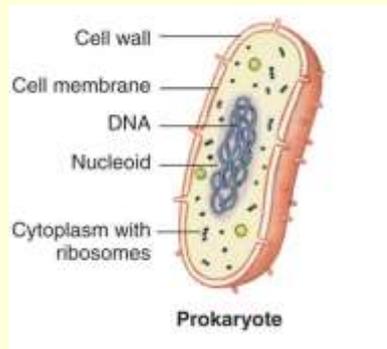
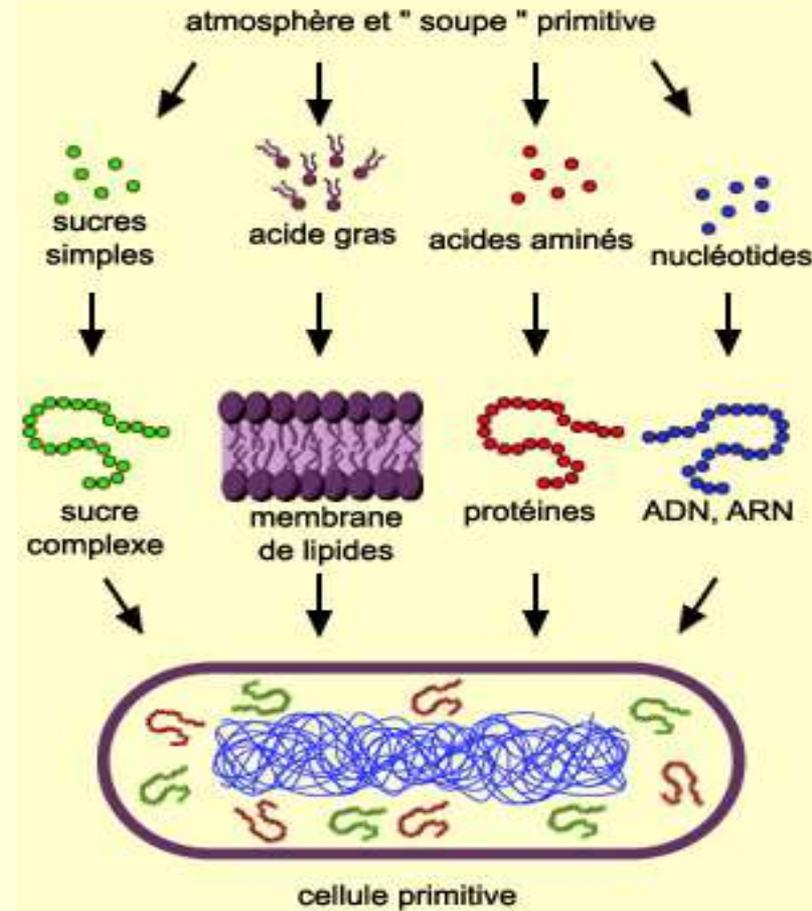
### Liposome

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



Non

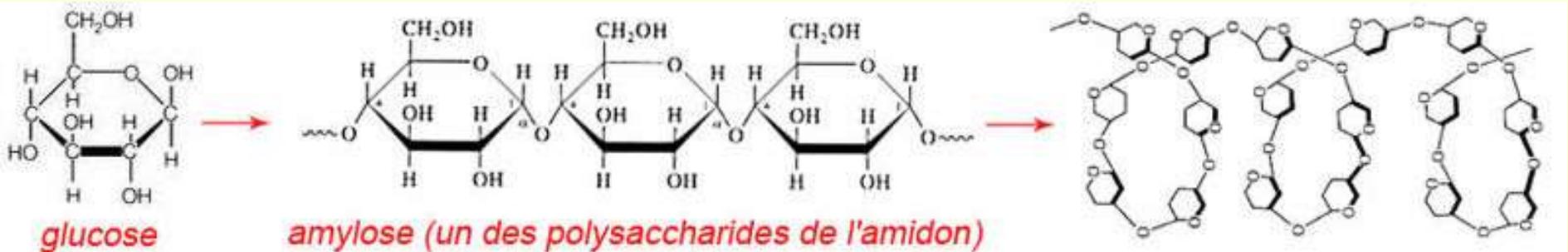
On va voir apparaître des « chaînes de molécules simples »



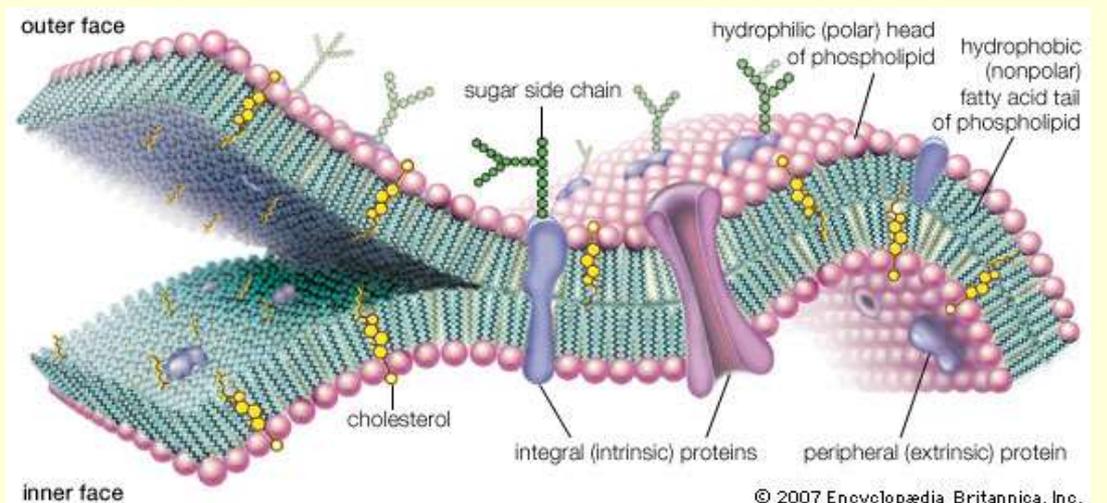
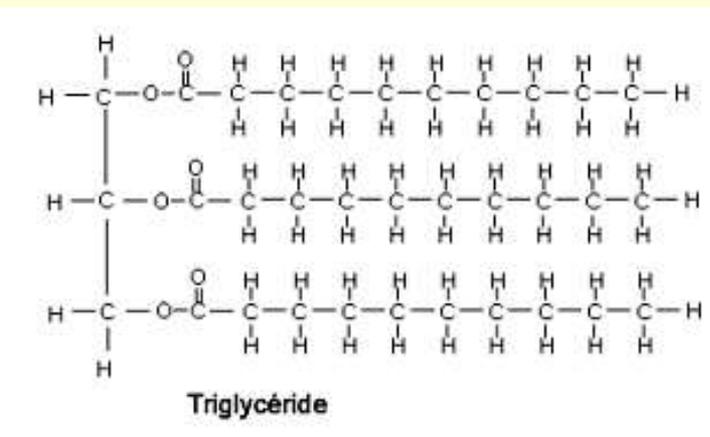
Oui

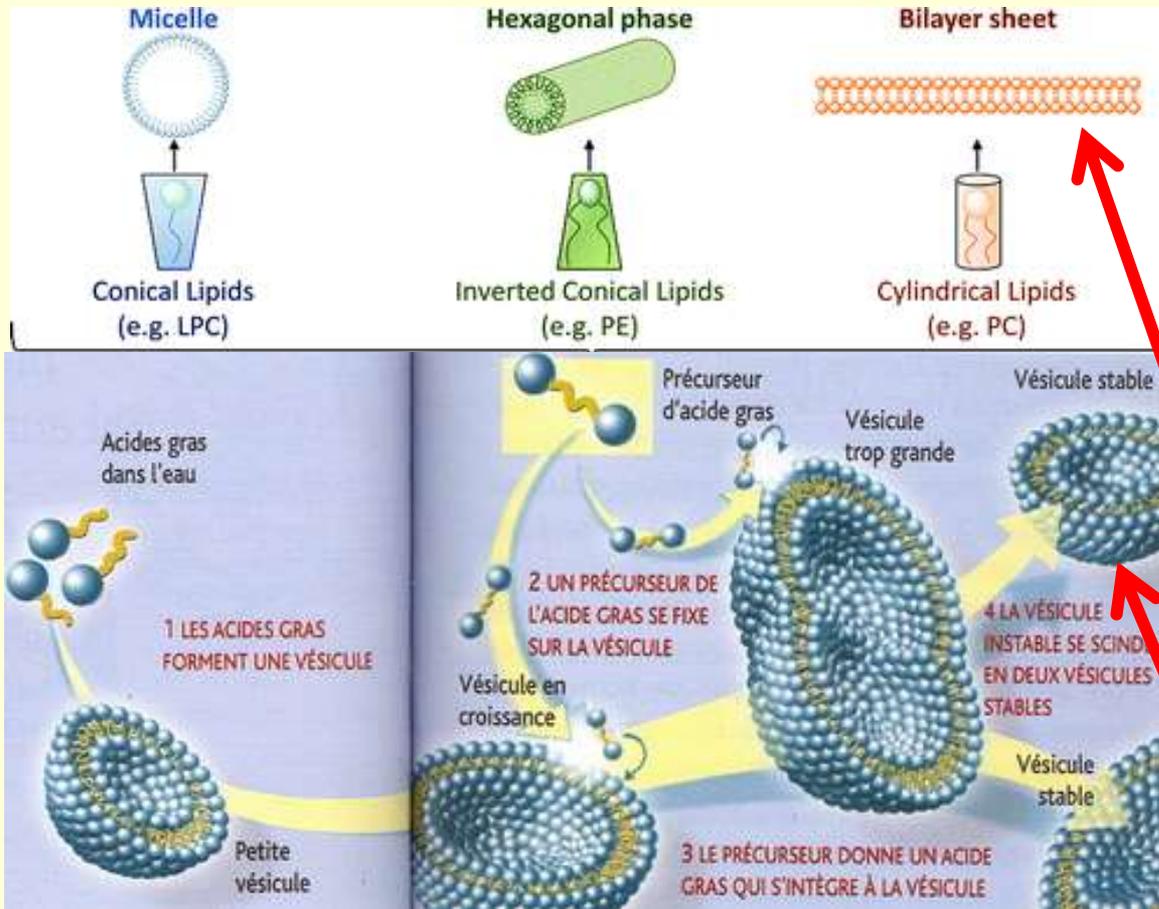
Les molécules organiques ont ainsi tendance à former des chaînes moléculaires de :

- Glucides



- Lipides

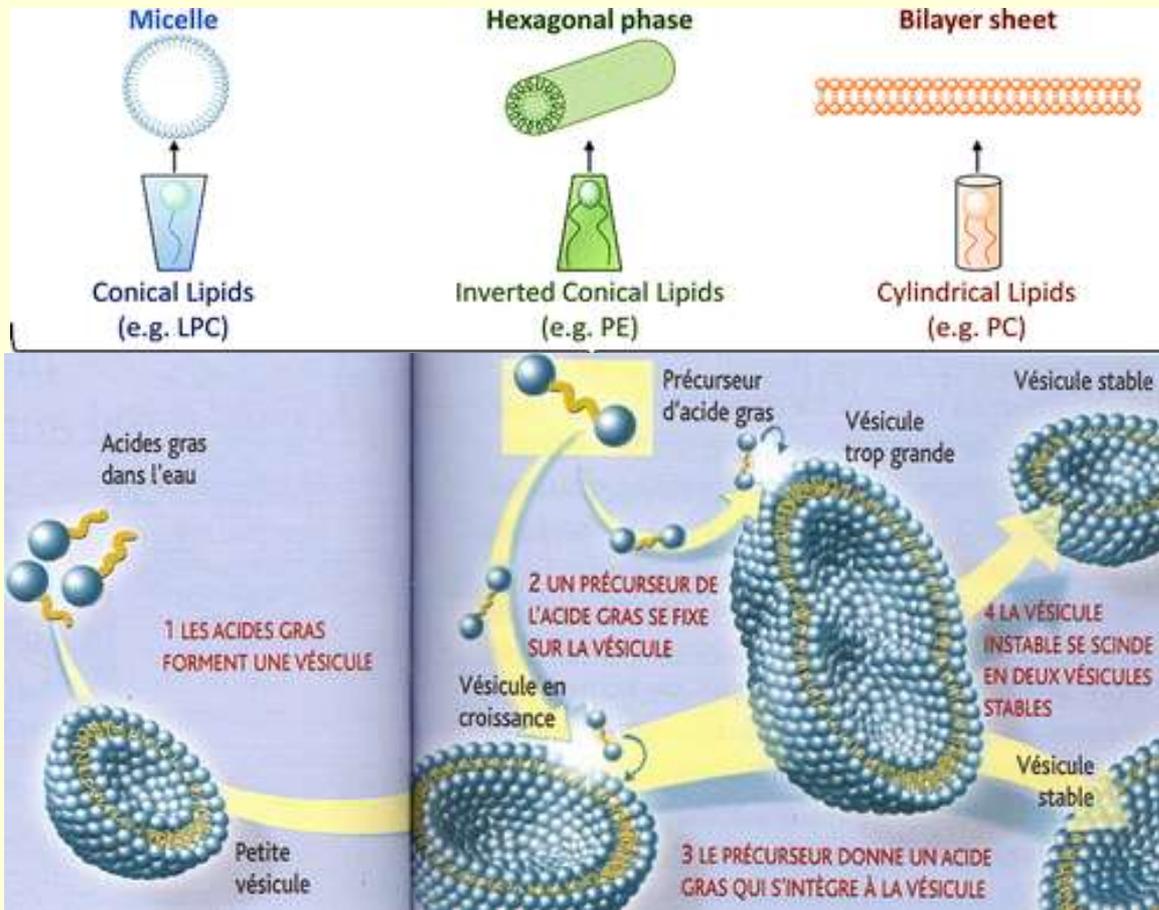




Ces chaînes de lipides vont donner lieu à des phénomènes **d'auto-organisation** mais cette fois-ci au niveau **supra-moléculaires** :

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

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

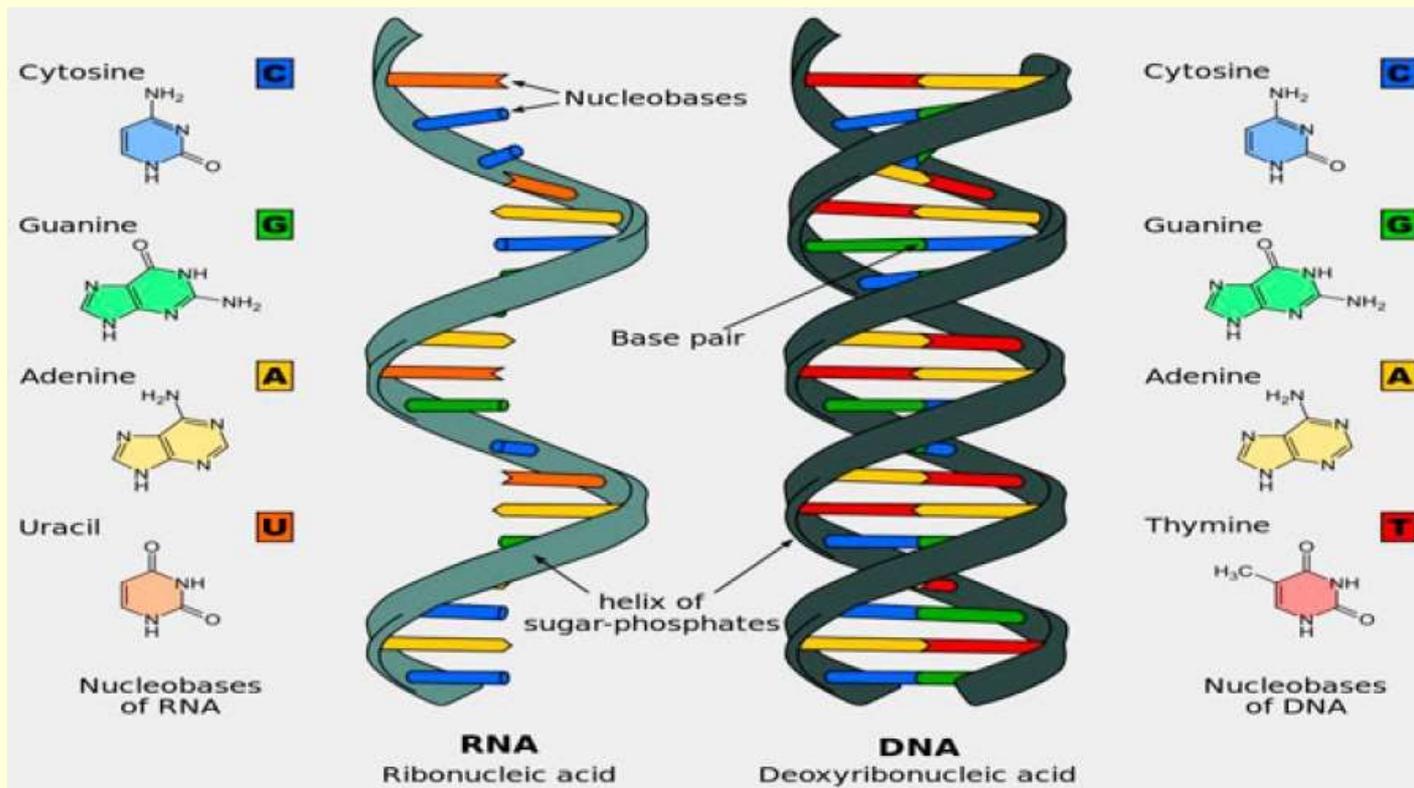


« Pas de membrane, pas de cellules.  
Pas de cellules, pas de neurones.  
Pas de neurones, pas de cerveaux.  
Pas de cerveaux, pas d'humains ! »

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

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

- Glucides
- Lipides
- **Bases nucléiques**



**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 ?

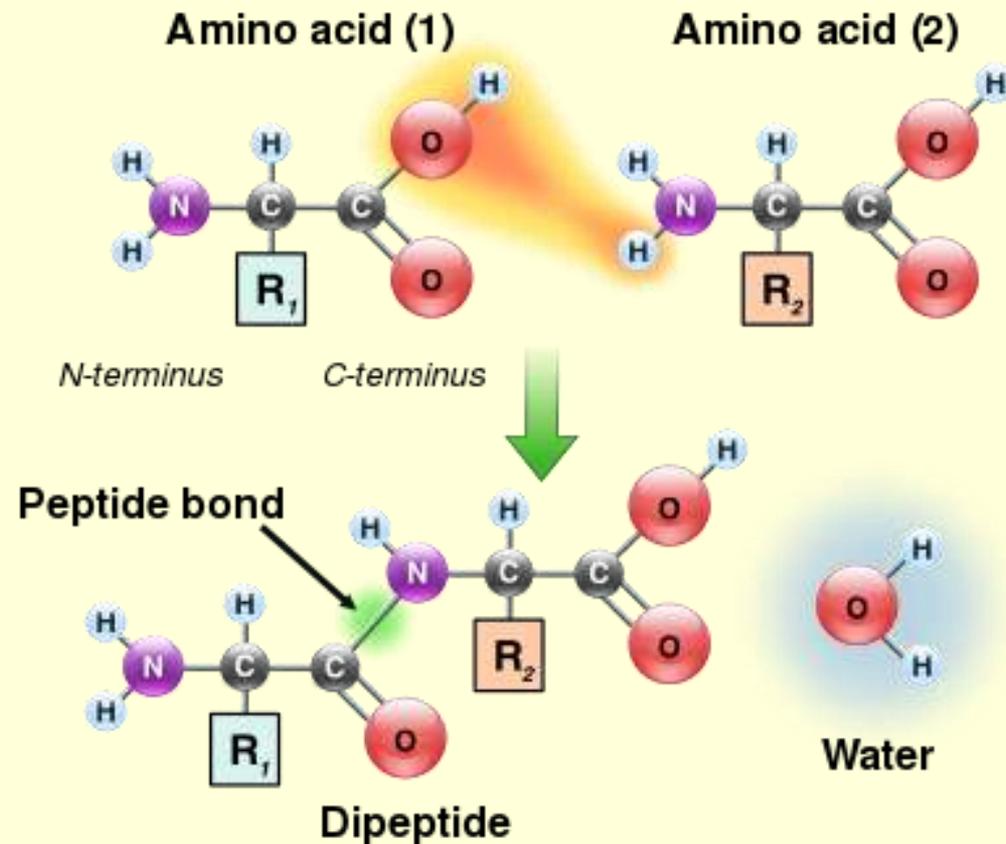
Comment les plantes convertissent cette lumière en énergie ?

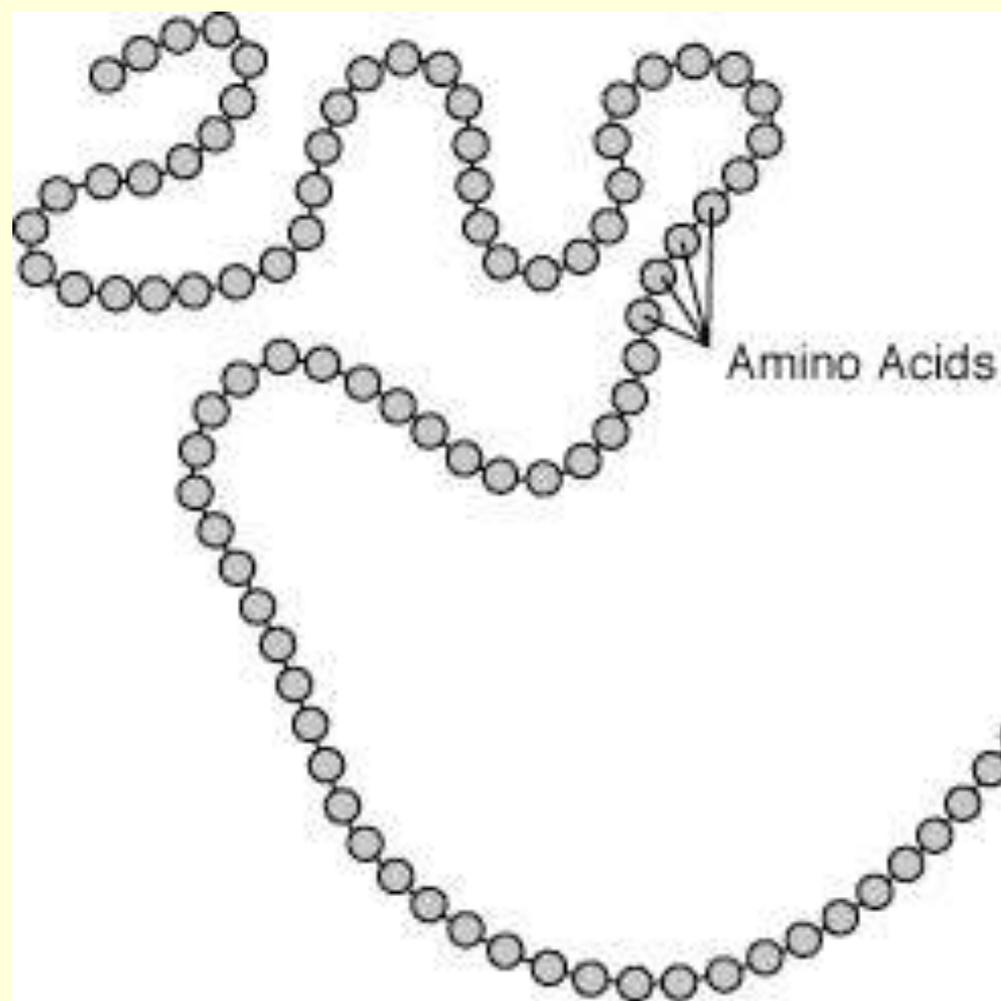
Comment nos neurotransmetteurs permettent le passage de l'influx nerveux d'un neurone à l'autre ?

**Grâce à des protéines !**

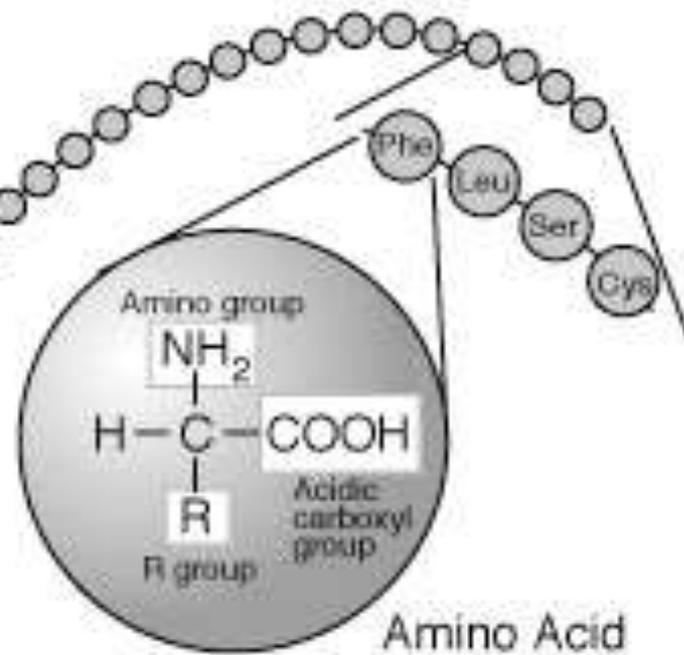
Les molécules organiques ont ainsi tendance à former des chaînes moléculaires de :

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

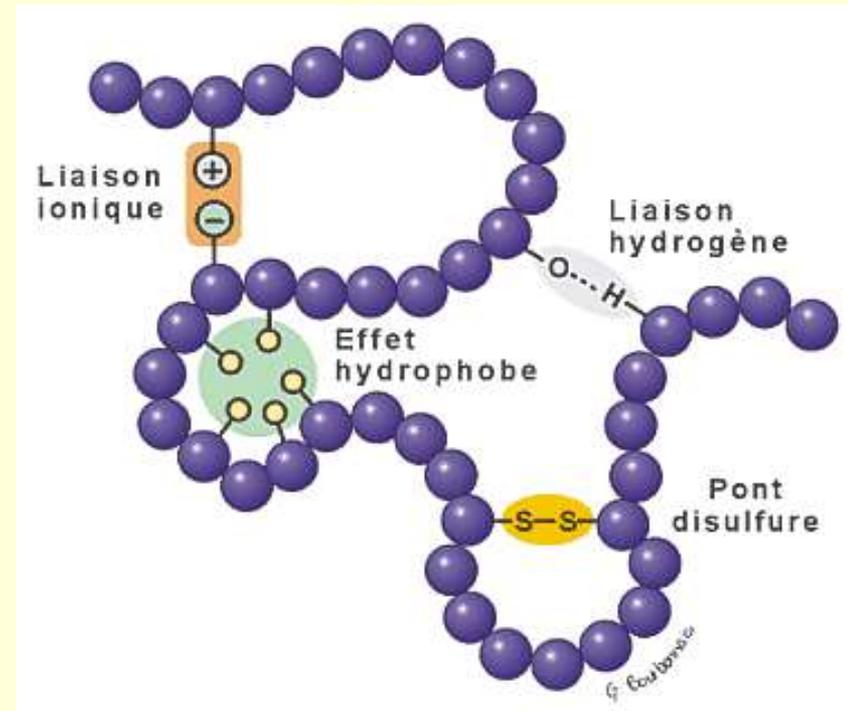
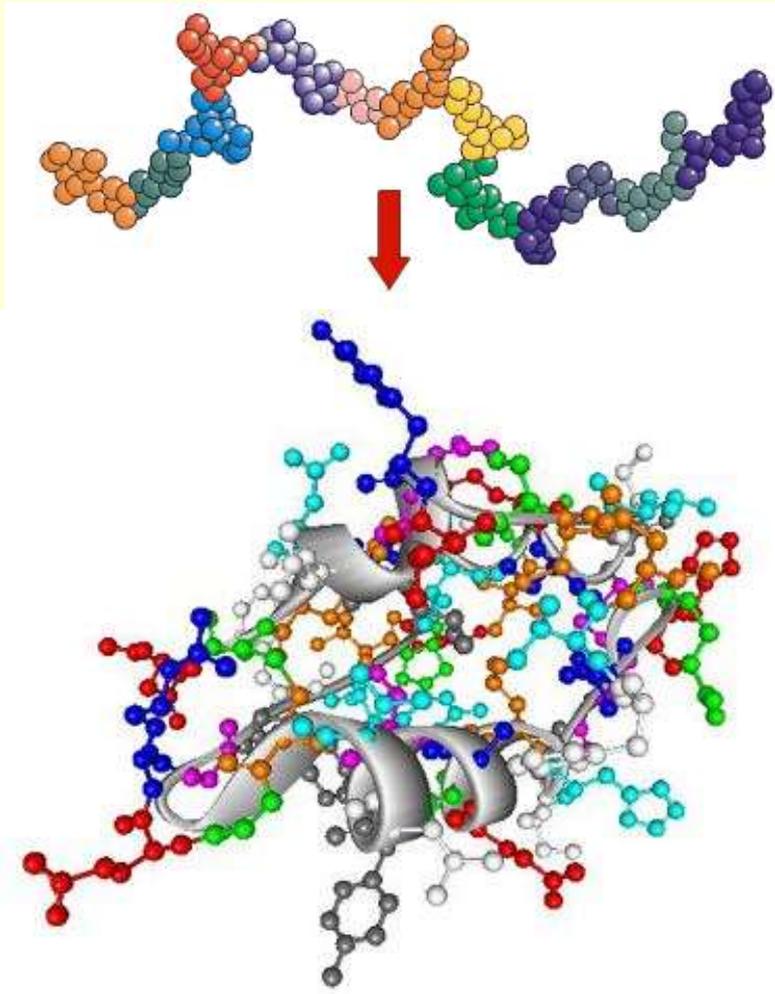




Primary protein structure  
is sequence of a chain of amino acids



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



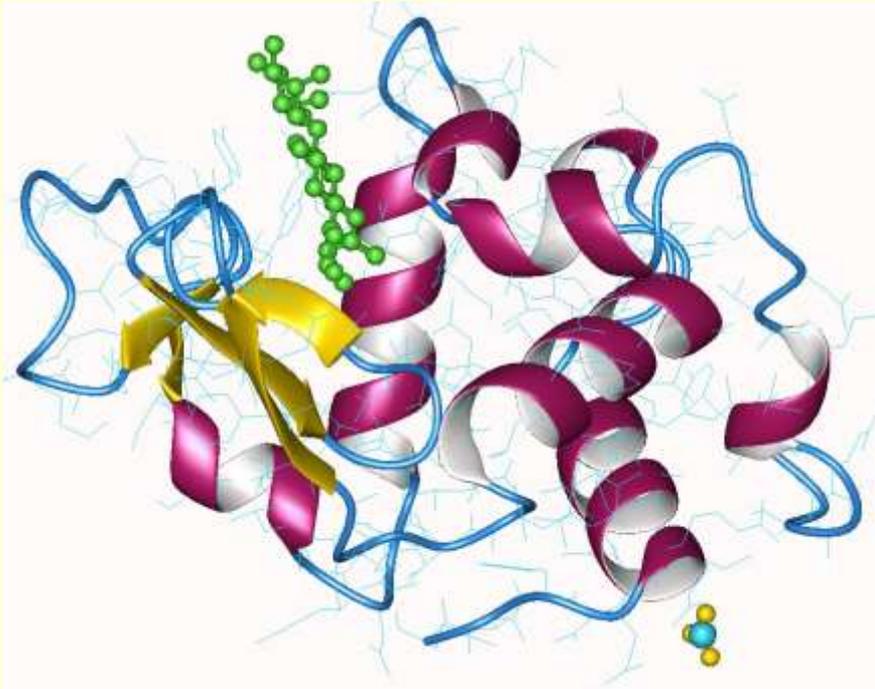
qui est déterminé par la  
**séquence** primaire des acides  
aminés de la protéine  
(la suite des « perles » dans le  
« collier de perles »).

# The protein folding problem: a major conundrum of science

Ken Dill at TEDxSBU

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





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

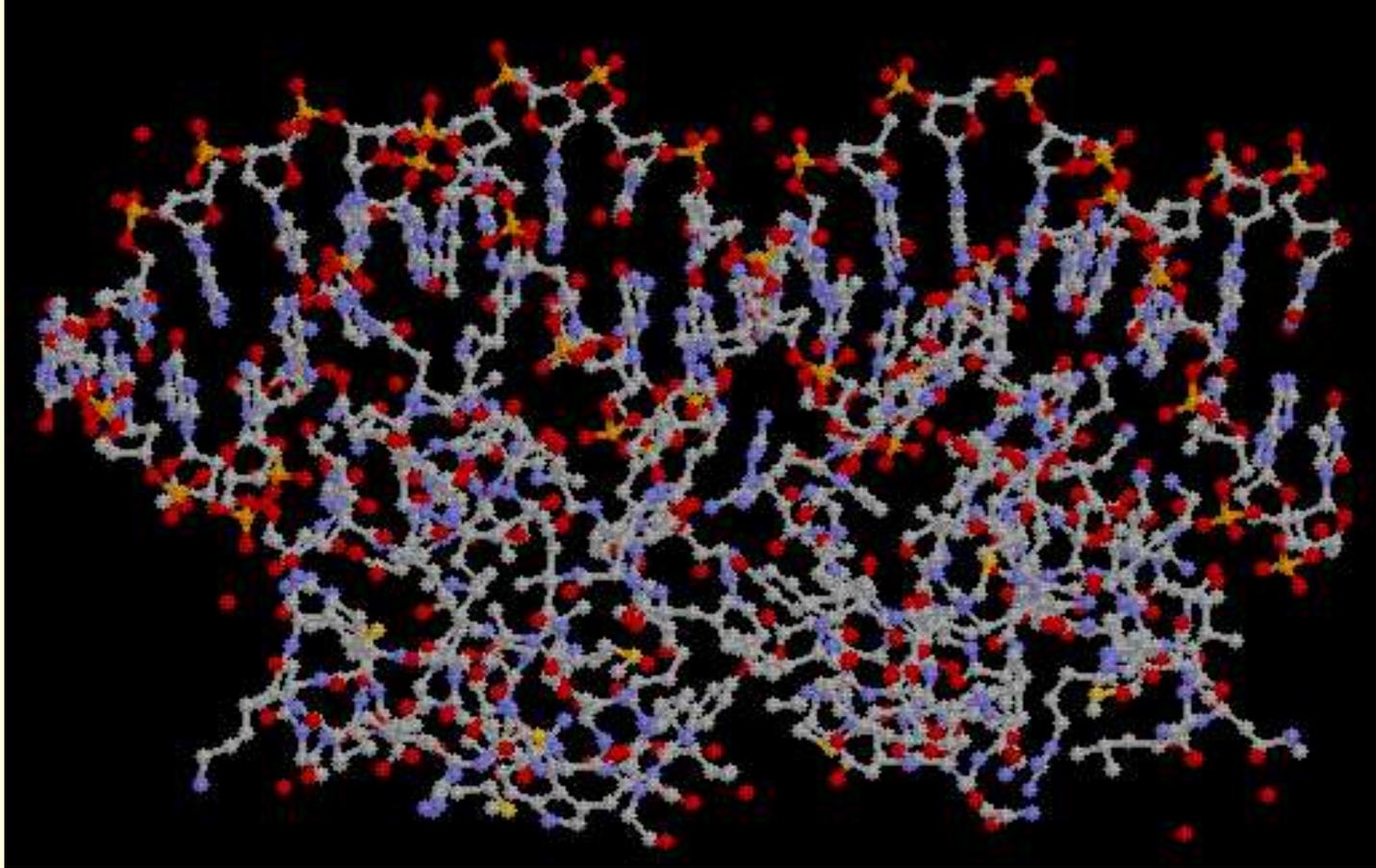
Comme il existe 20 acides aminés différents, cela donne  $20^{129}$ ,  
ou encore  $10^{168}$  (10 suivi par 168 zéros).

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

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

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

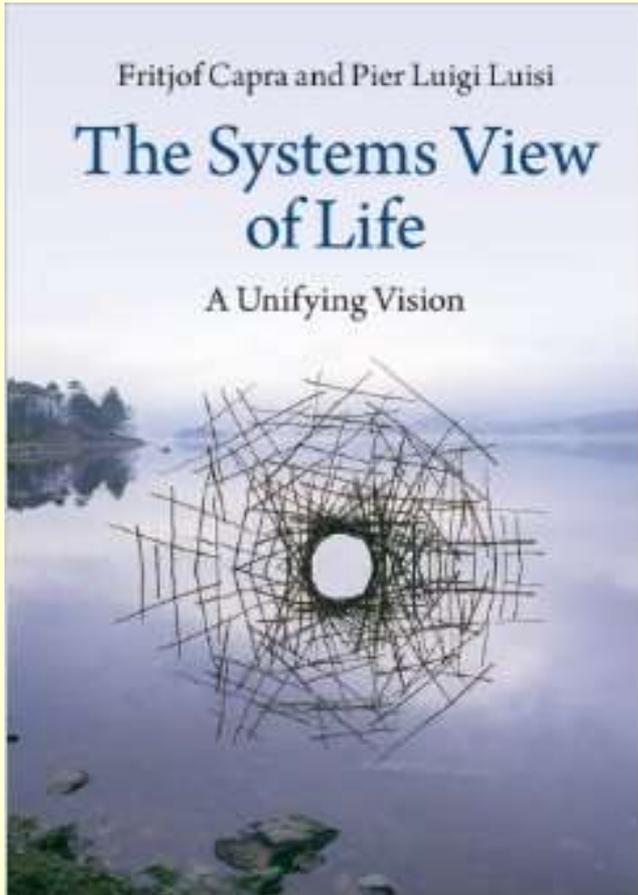
(conditions contingentes que l'on ne connaîtra jamais...)



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

Et cela amène « **l'émergence** » de nouvelles propriétés fonctionnelles au niveau de la structure 3D de la protéine

(site de liaison d'un enzyme, le pore d'un canal membranaire, etc...)



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**.

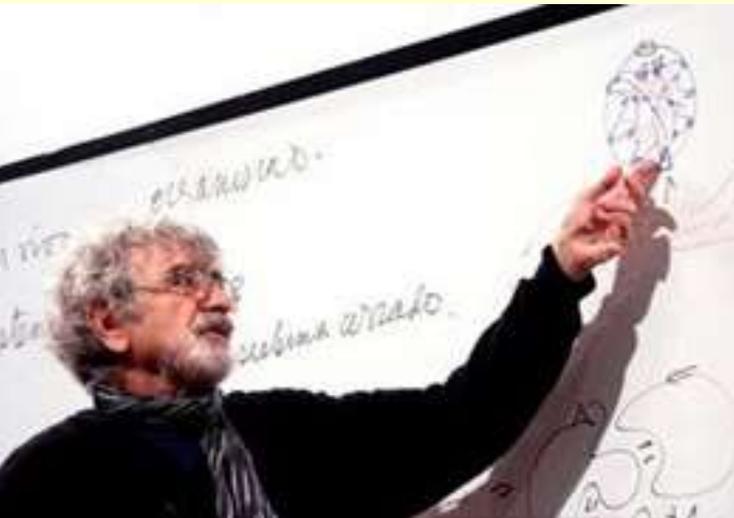
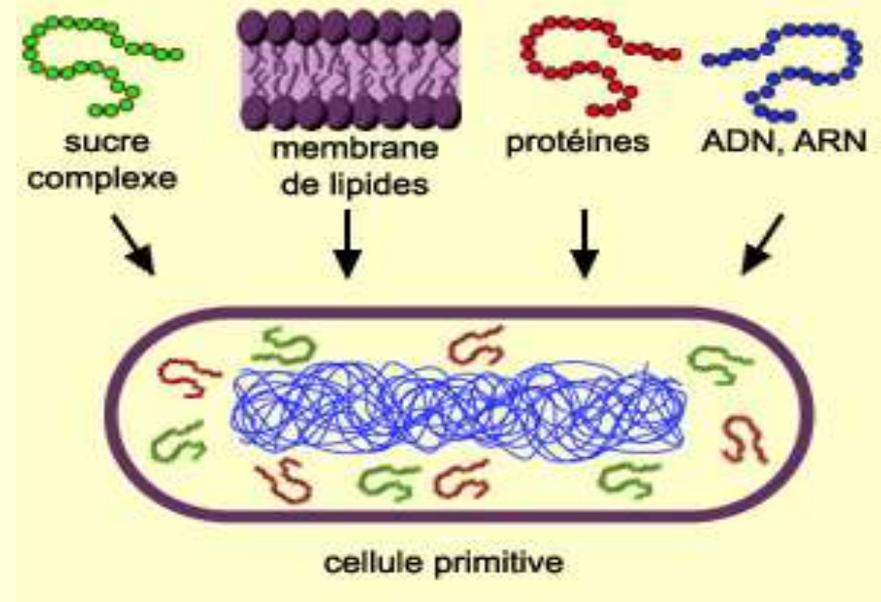
Et ça va devenir fondamental avec les premières **cellules vivantes**...

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.

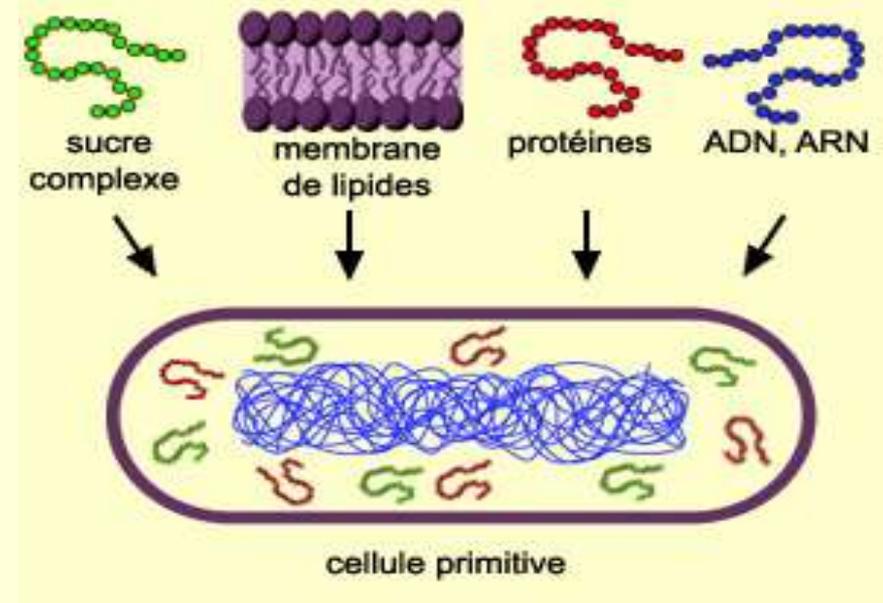


Pour comprendre ce qu'est une **cellule vivante**,

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

élaborée par Humberto Maturana et Francisco Varela

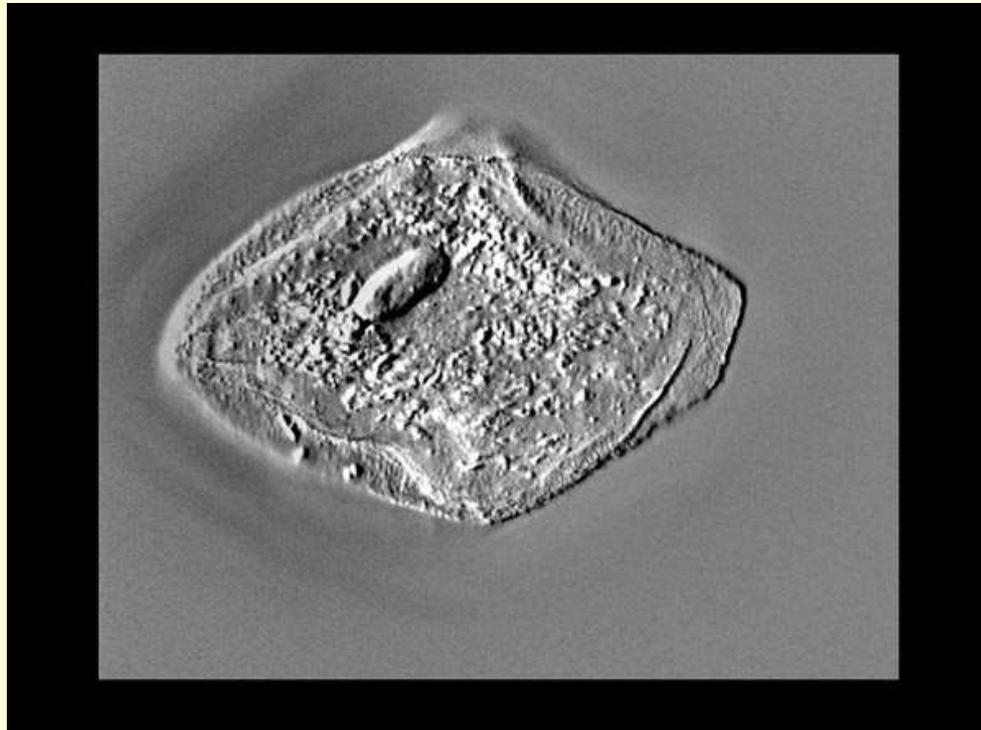
dans les années 1970.



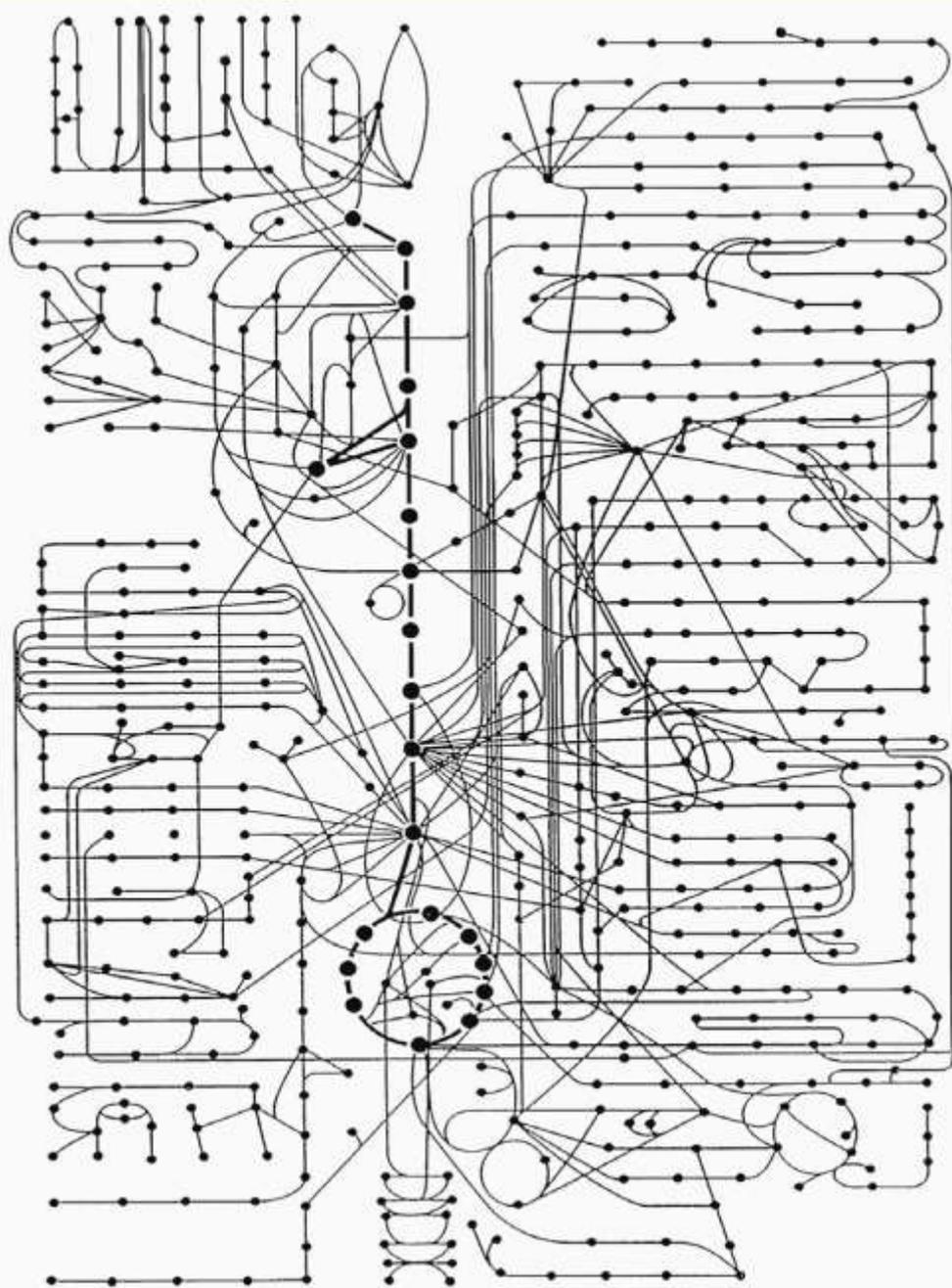
« Notre proposition est que les êtres vivants sont caractérisés par le fait que, littéralement, ils sont continuellement en train de **s'auto-produire**. »

- 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. »



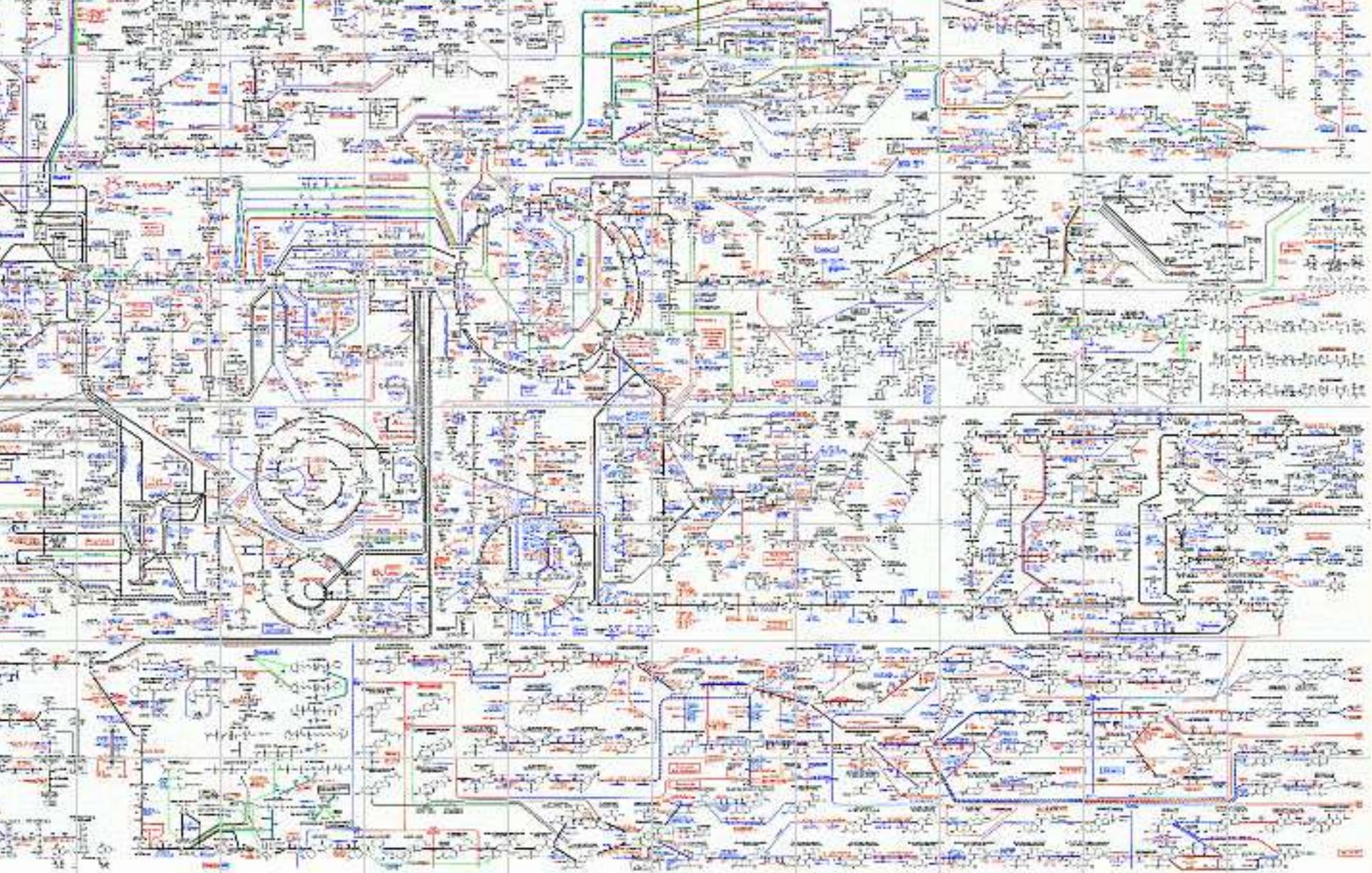
An image of a human buccal epithelial cell obtained using Differential Interference Contrast (DIC) microscopy  
([www.canisius.edu/biology/cell\\_imaging/gallery.asp](http://www.canisius.edu/biology/cell_imaging/gallery.asp))



« un réseau »...

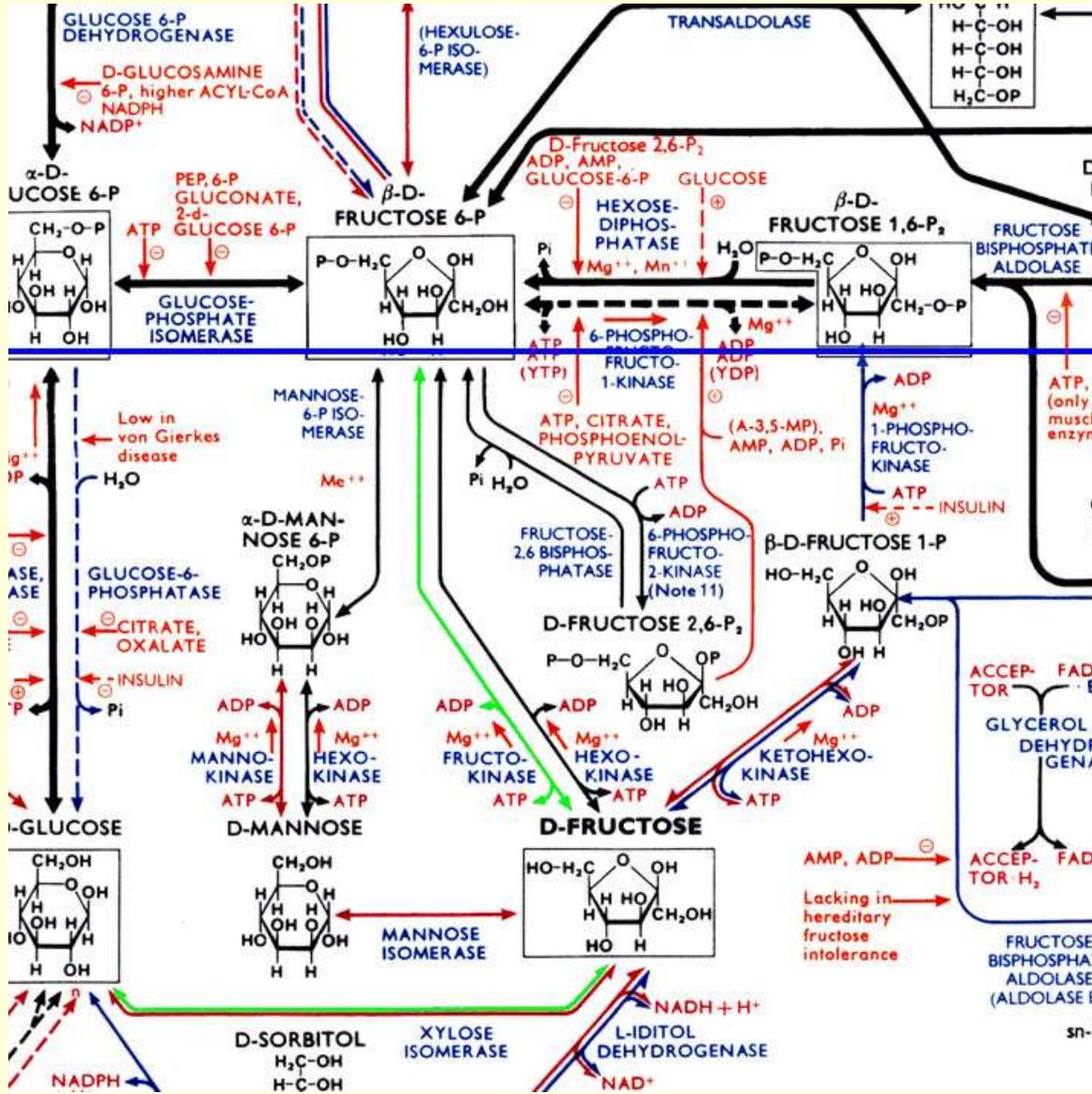
= des éléments qui entretiennent des relations

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

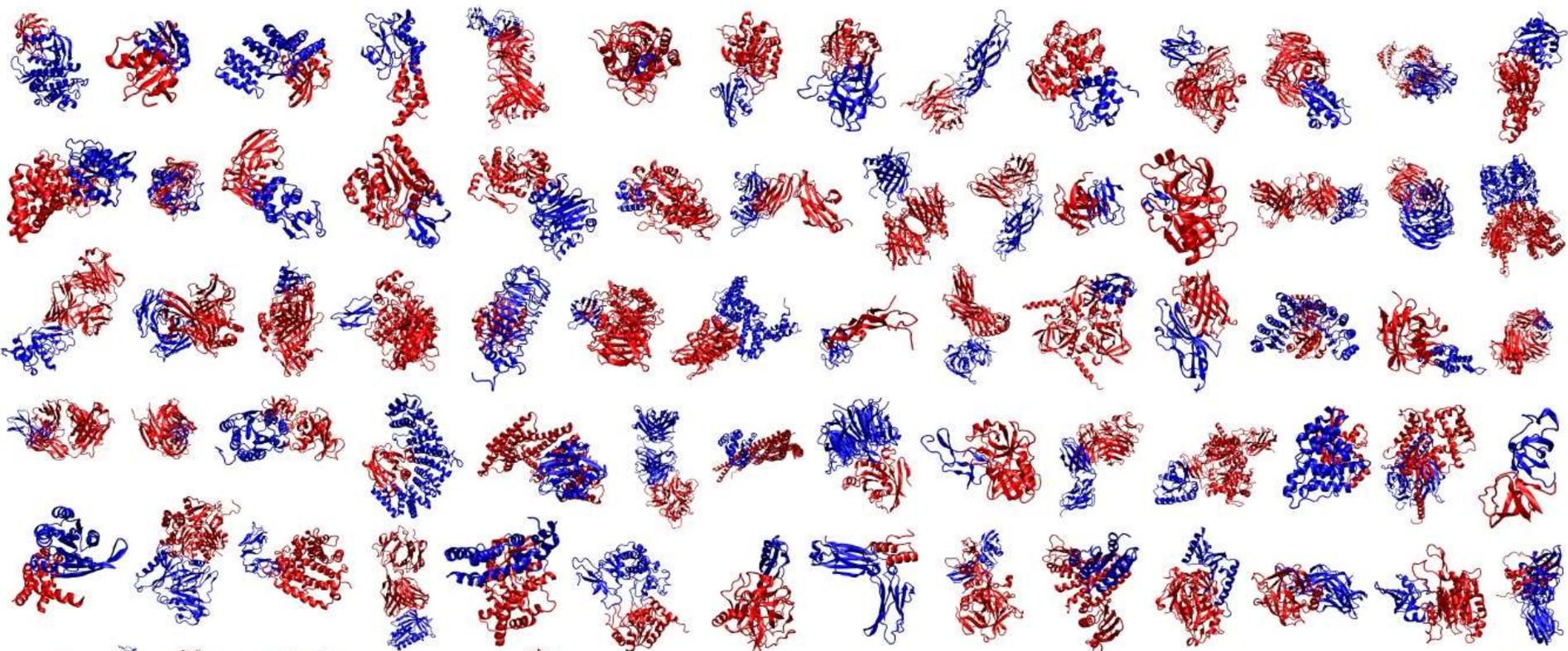
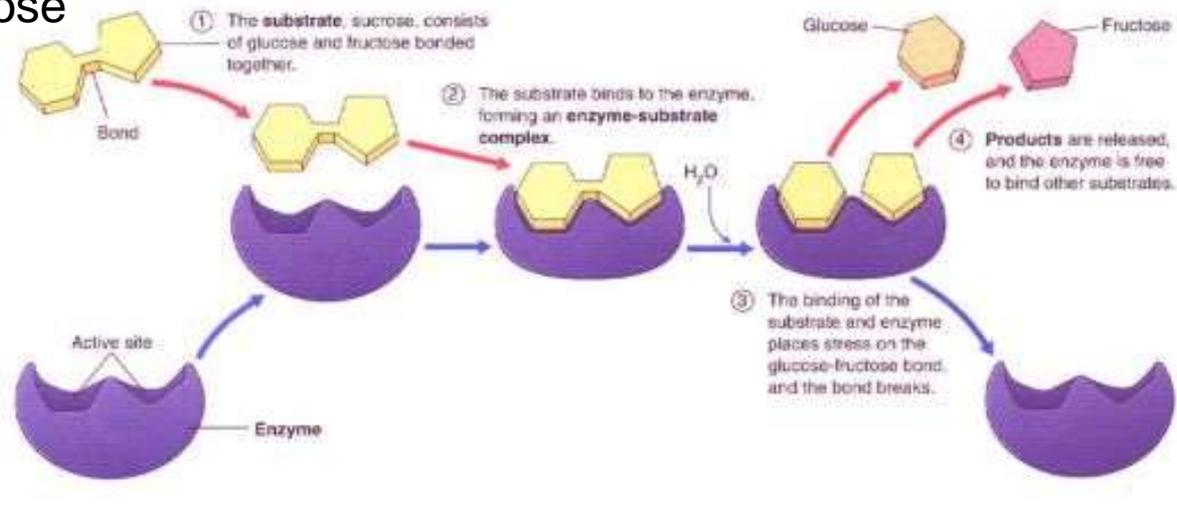


« un réseau complexe »... = cascades de réactions biochimiques dans une cellule

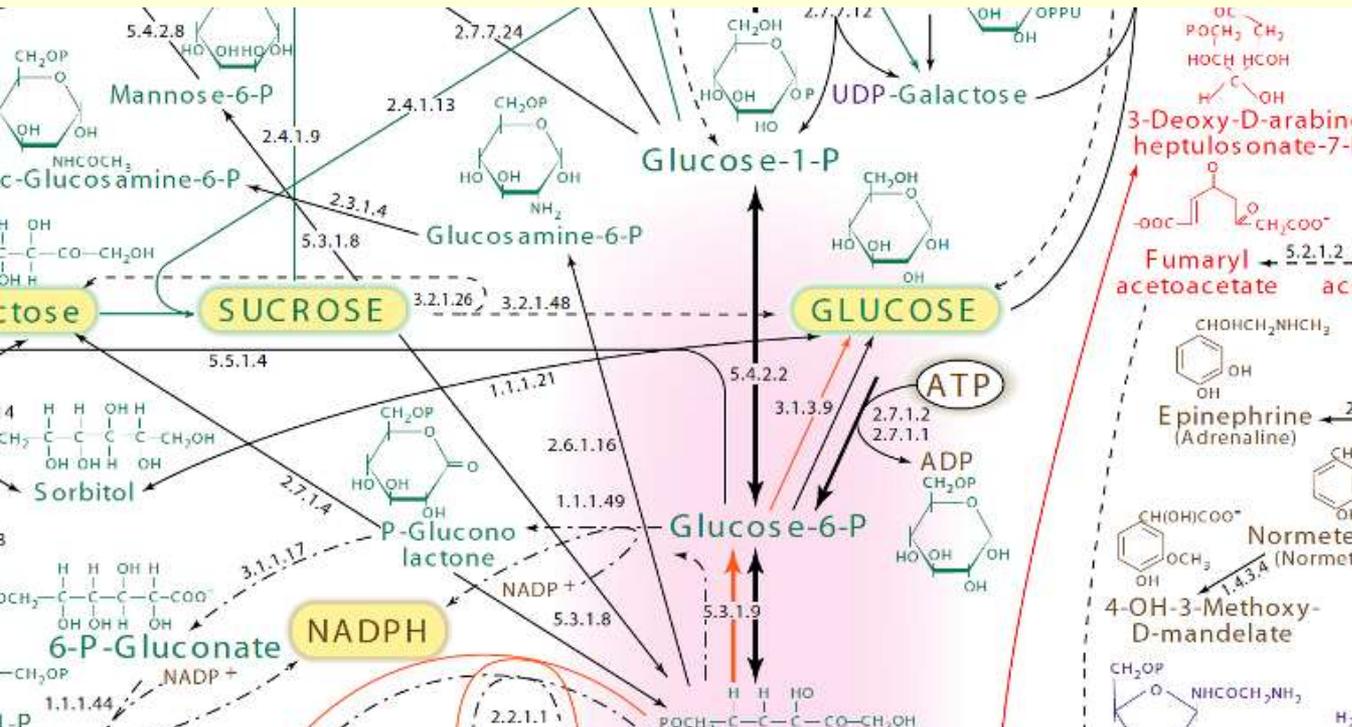
« un réseau complexe d'éléments »... : enzymes (protéines), ADN, etc.



# sucrose



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



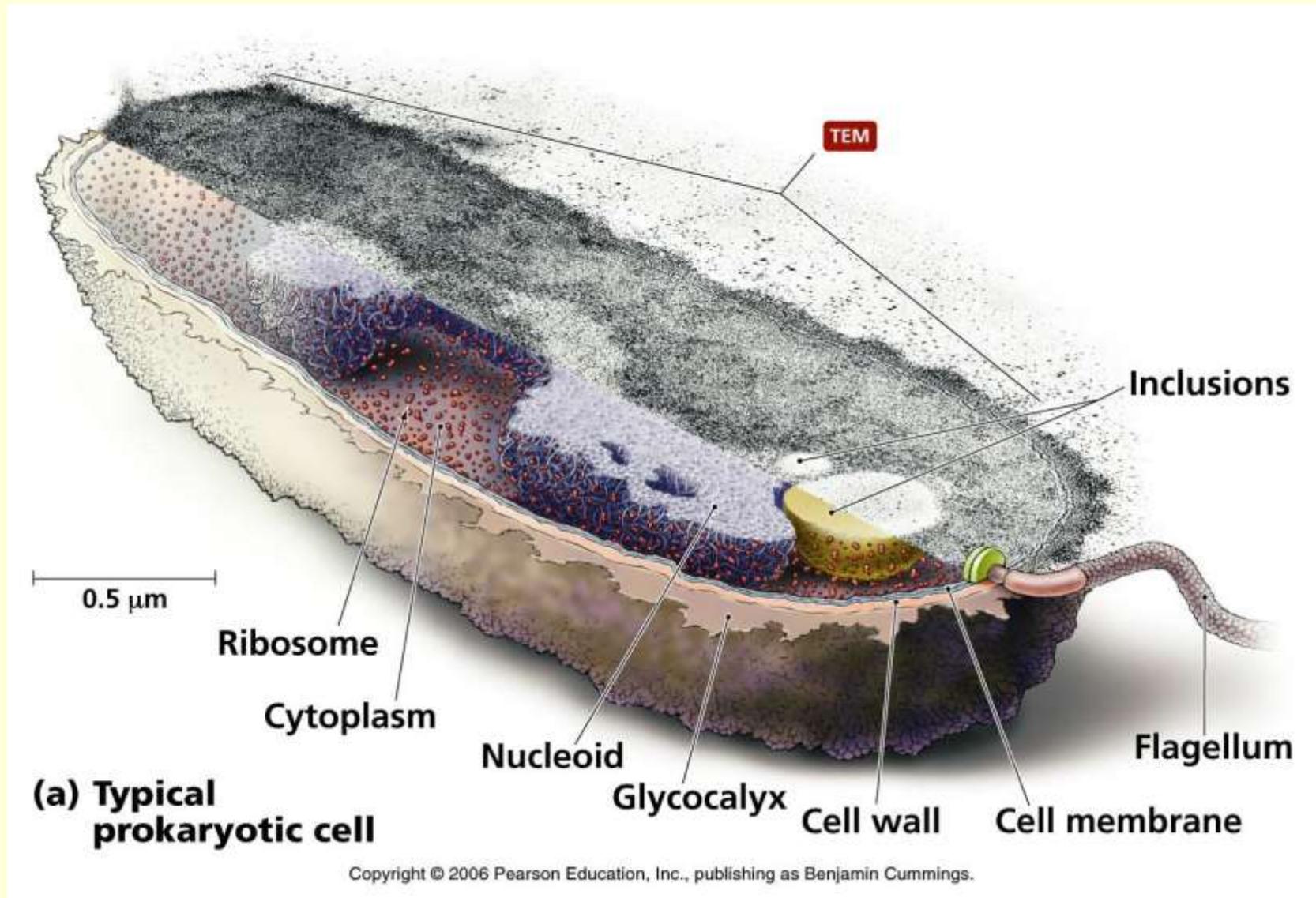
..qui régénèrent constamment, par leurs interactions et transformations, le réseau qui les a produits.



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

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

Les premières cellules vivante sont déjà infiniment complexes !



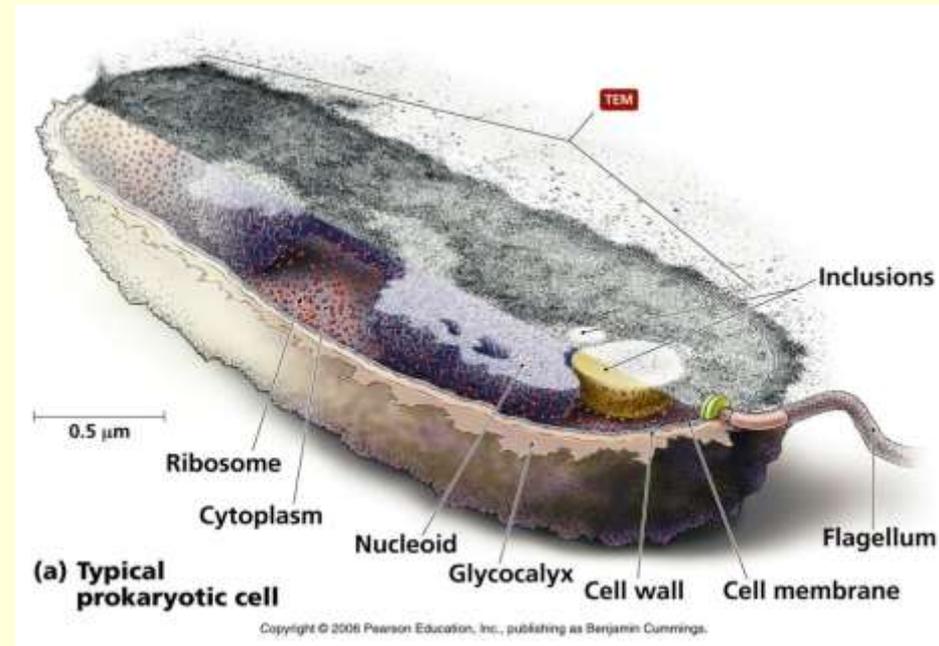
À un certain niveau d'organisation,

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**.



## **Biological self-organisation and Markov blankets**

Enzor Rafael Palacios, Adeel Razi, Thomas Parr, Michael Kirchhoff and Karl Friston (2017)

[https://www.academia.edu/35604713/Biological\\_self-organisation\\_and\\_Markov\\_blankets?email\\_work\\_card=title](https://www.academia.edu/35604713/Biological_self-organisation_and_Markov_blankets?email_work_card=title)

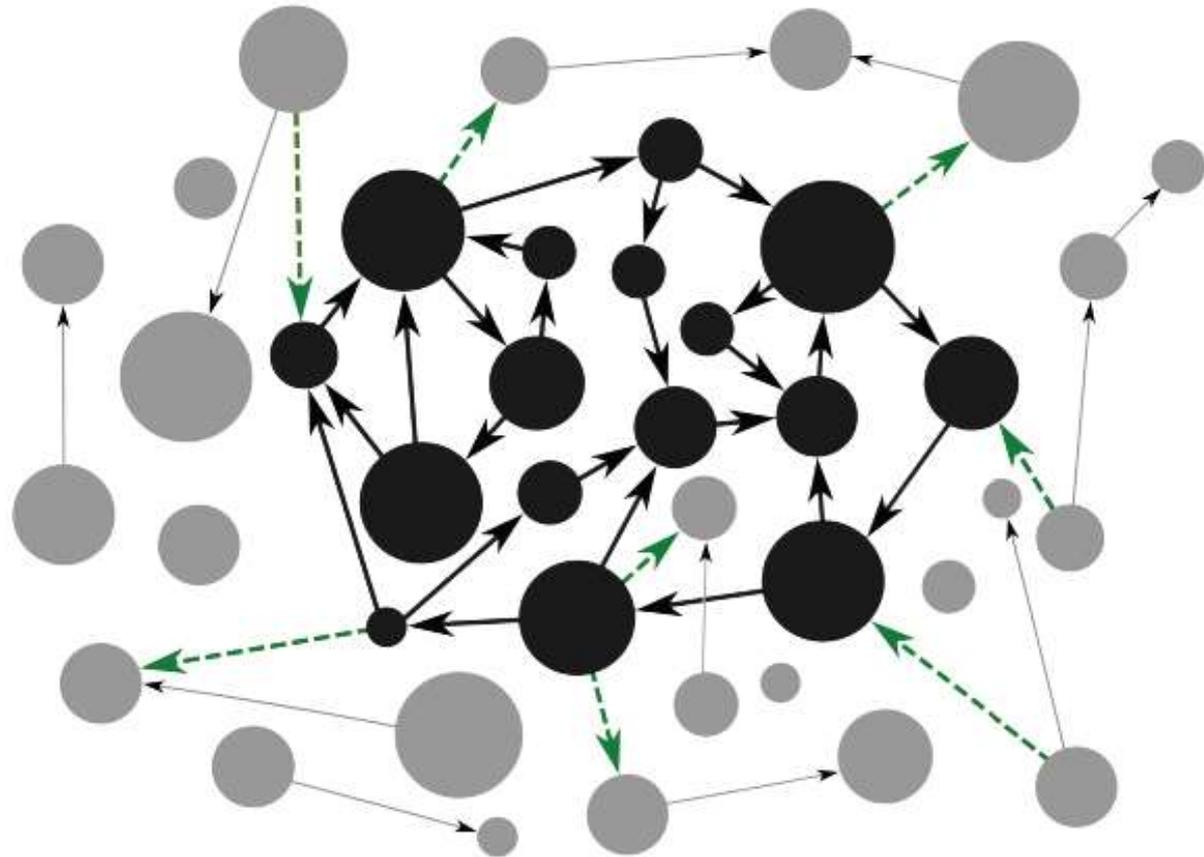
...Therefore, living organisms are operationally closed, while presenting as thermodynamically open [4].

**...This requires us to acknowledge the existence of top-down influences on the low level dynamics [8] and vice versa.**

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

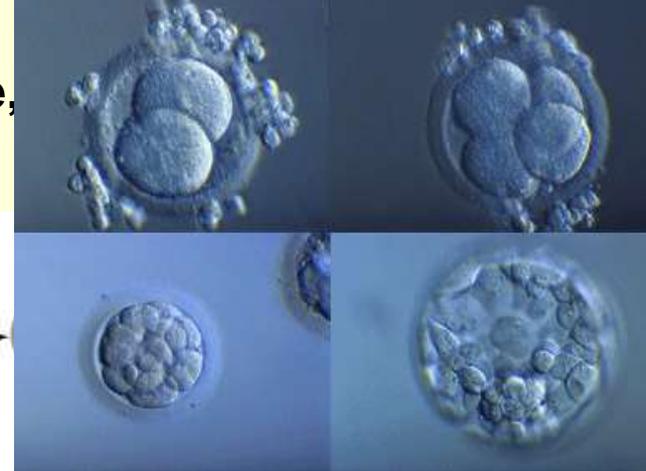
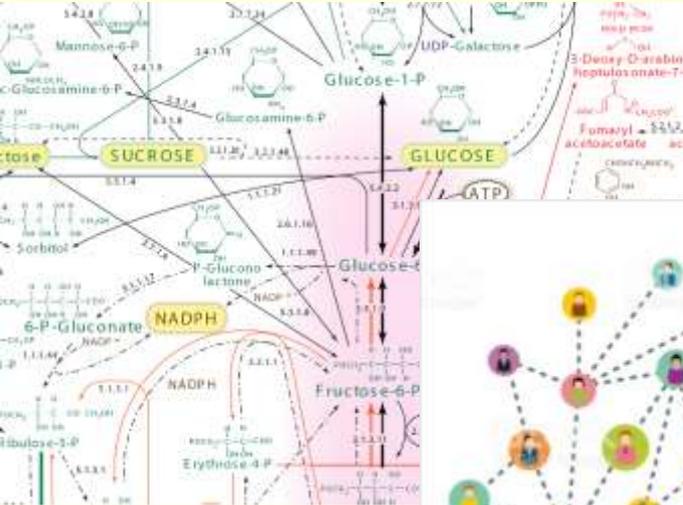
La vie est un **processus émergent** qui n'est pas présent dans les parties mais dans

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

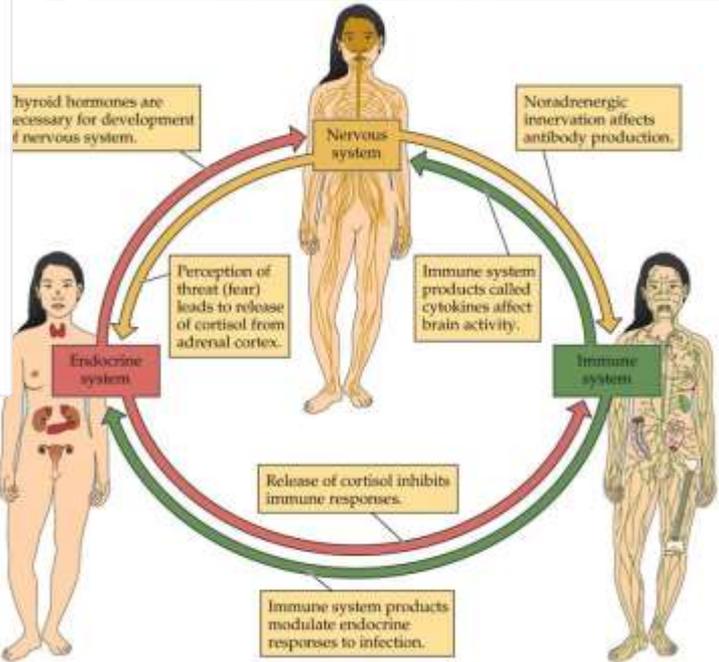


Copyright Ezequiel Di Paolo, 2013. This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 3.0 Unported License.  
[http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/deed.en\\_US](http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/deed.en_US)

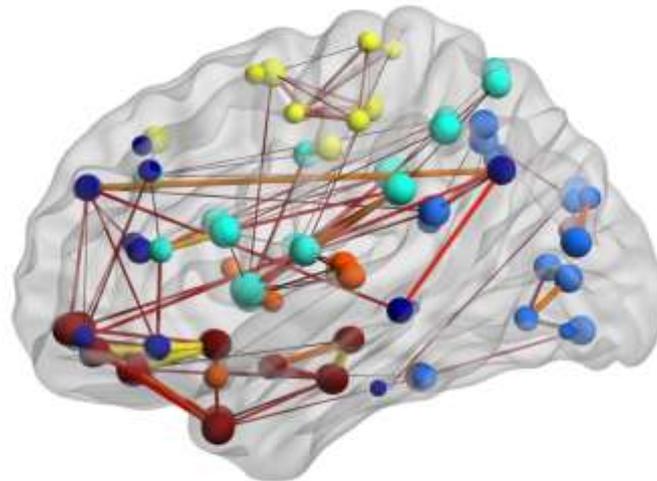
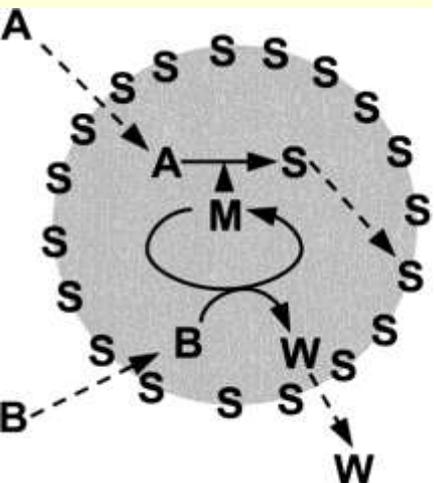
« Whenever we look at life, we look at networks. »



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

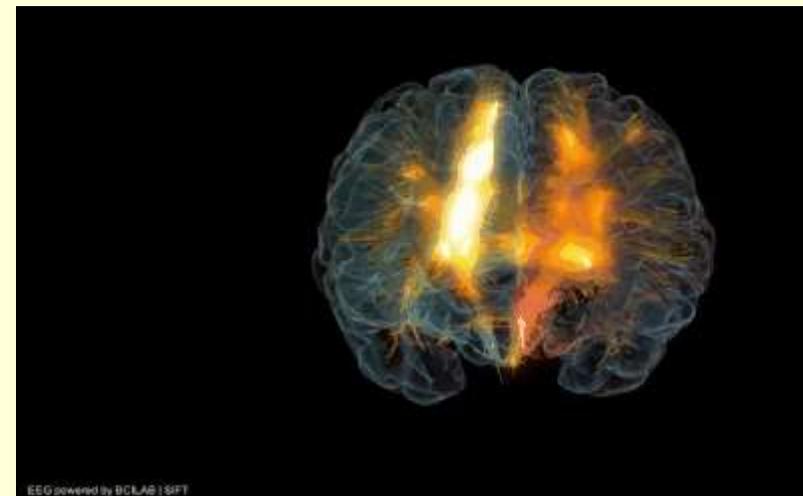
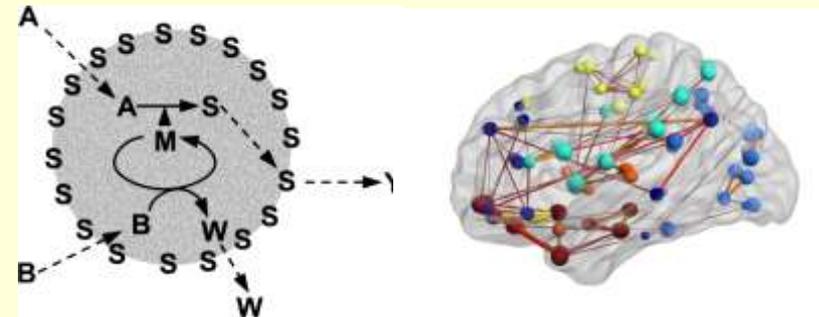


is Attribution-NonCommercial-ShareAlike 3.0 Unported License.



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** ?



Un avant-goût de vers où on s'en va...



Et des gens comme Maturana ou Varela ont commencé à tisser ces liens...

...avec des concepts qui sont intégrés et bonifiés aujourd'hui.



AUTONOMY

ENACTION

Physics/  
Chemistry



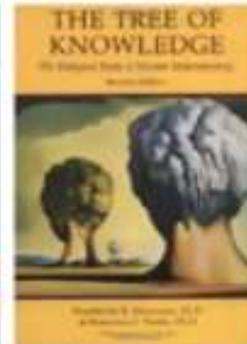
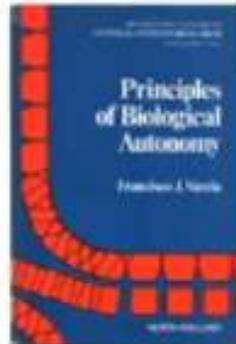
Biology



Cognition

AUTOPOIESIS

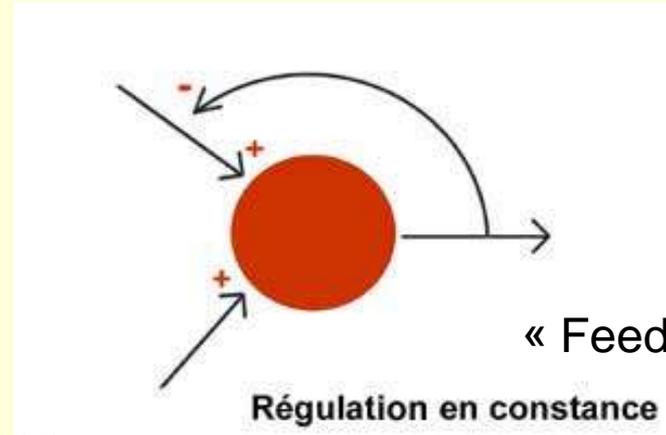
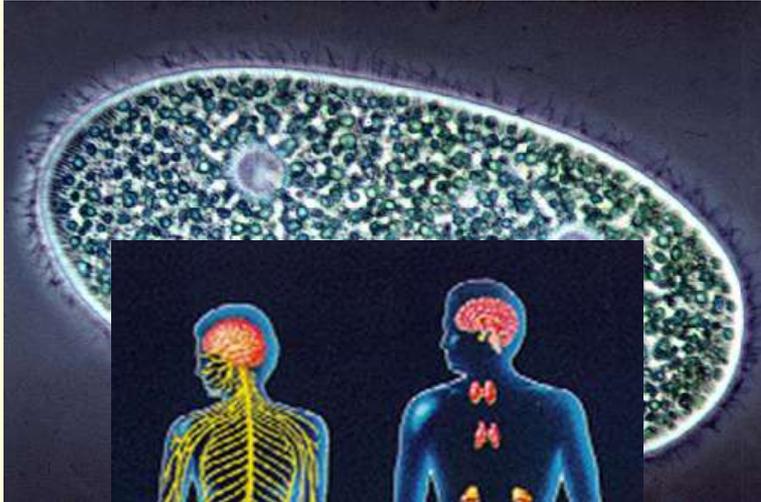
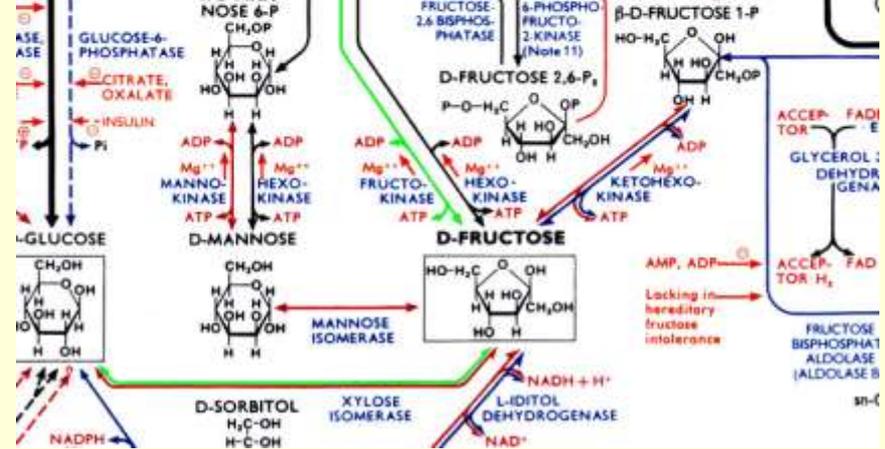
BIOLOGY OF  
COGNITION



ENSO2018/Beer

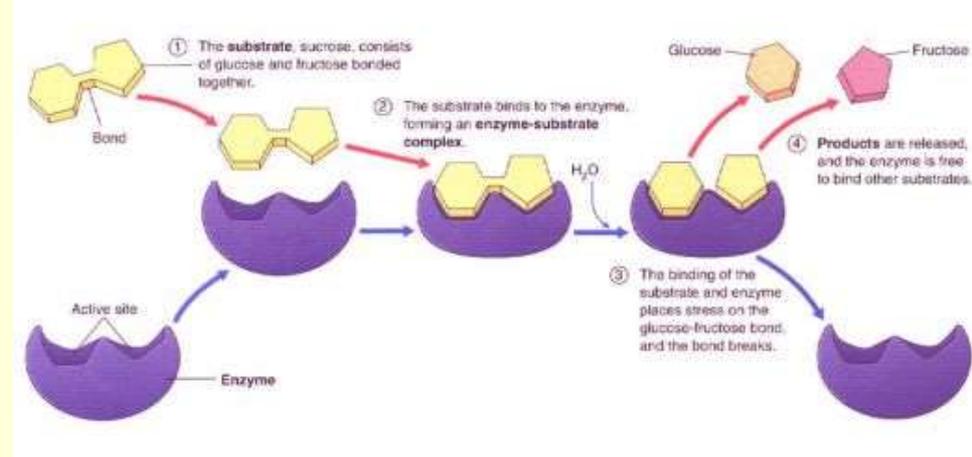
Et des gens comme Maturana ou Varela ont commencé à tisser ces liens...

# « Physiologie »



« Feedback »

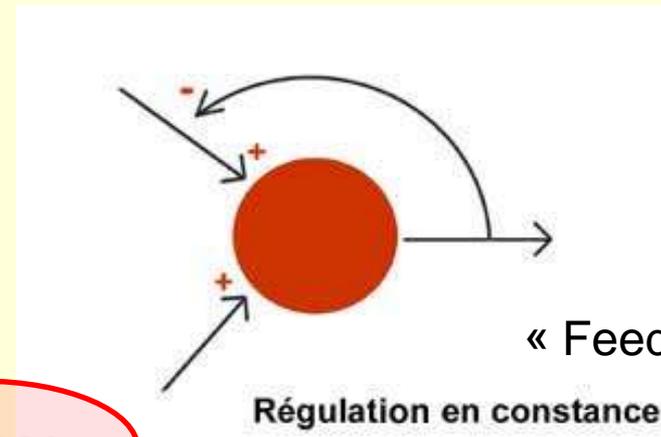
sucrose



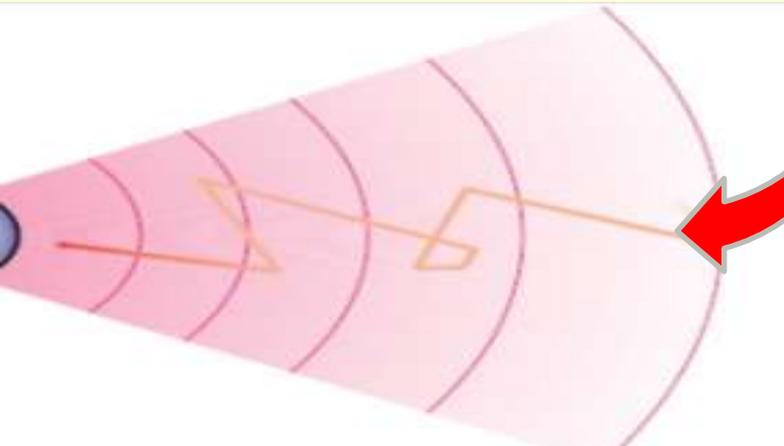
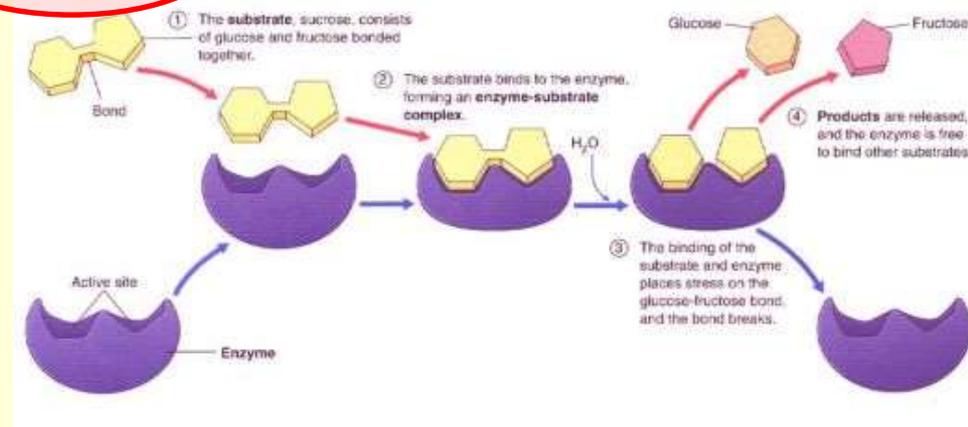
# « Comportement » :

peut être pensé comme une autre **boucle de contrôle**,  
mais à **l'extérieur** de l'organisme cette fois !

(plutôt que comme un « input-output process »)



sucrose

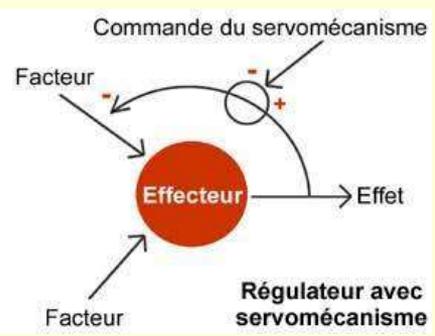
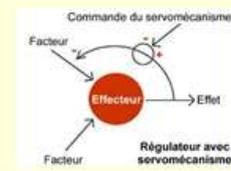
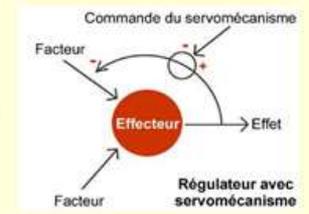
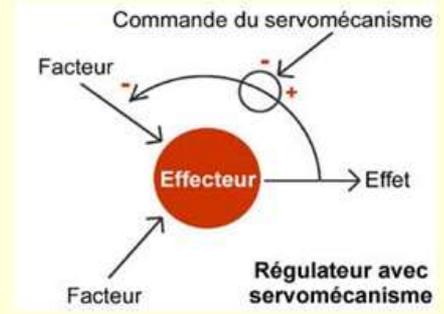
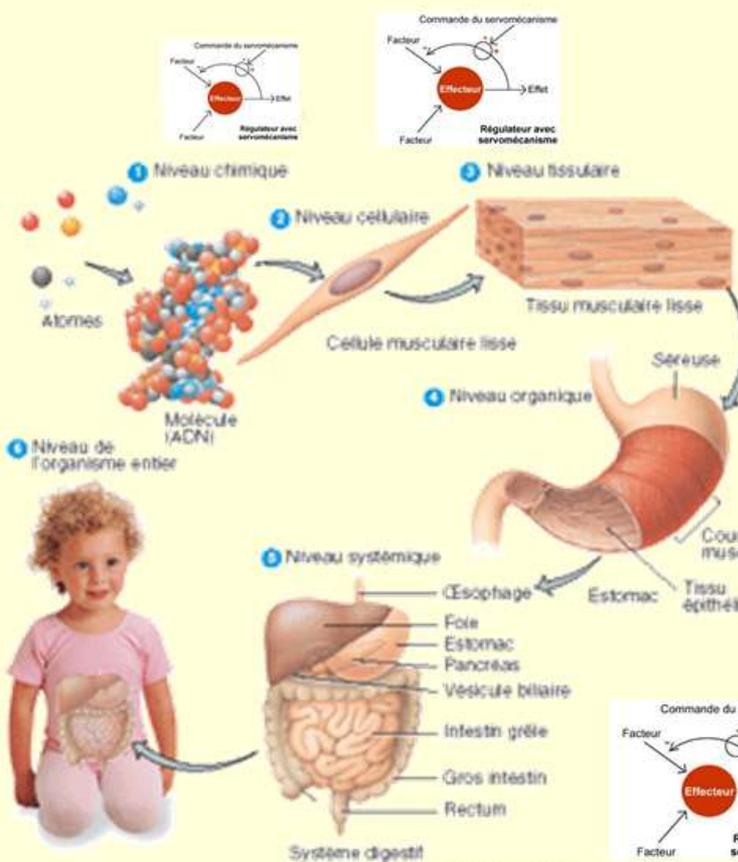


Donc des boucles de rétroaction **internes** dans le corps

et **externes** à l'extérieur du corps !

« rester à 30 cm de la roue d'en avant... »

Applique frein, accélère, applique frein, accélère, etc.



Et ce sont ces boucles de rétroaction,

à la fois à l'**intérieur** du corps  
et à l'**extérieur** de celui-ci

(on va alors parler de  
« couplage » avec l'environnement),

qu'on va explorer maintenant.



Parce que voir les choses ainsi a un pouvoir explicatif plus grand  
que la vision du **cognitivism**

(où les organismes vivants sont vus comme de simples agents  
**traitant des inputs d'un monde extérieur indépendant d'eux-mêmes**).

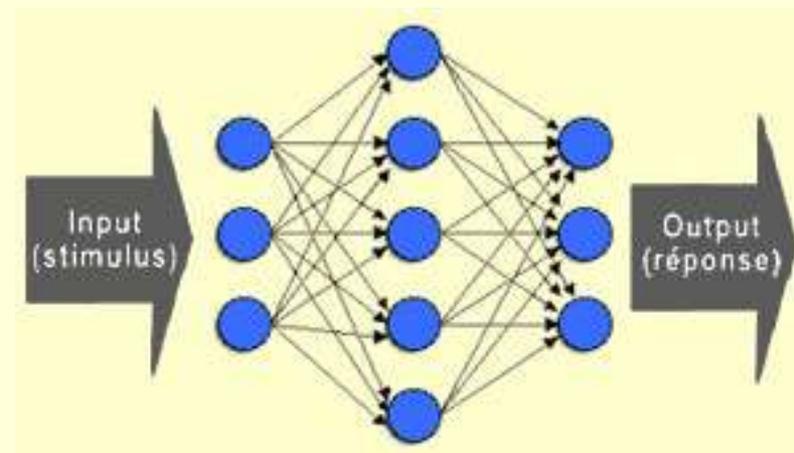
Car les théories de la cognition **incarnée et située** sont apparues en réaction à certains aspects du **cognitivism**



Non seulement parce que les deux étaient totalement **désincarnés**,

mais aussi parce qu'ils s'en remettent tous deux à la **notion de représentation**.

et du **connexionnisme**



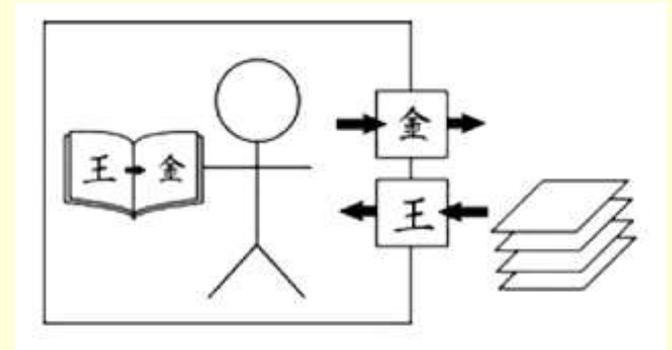
Cette vision suppose que **toute la cognition** (raisonner, planifier, se souvenir, etc) **se fait exclusivement dans le cerveau** en manipulant des représentations.

**Le corps** n'est ici utilisé que pour exécuter les commandes envoyées sous forme de potentiels d'action à nos muscles.

Cette séparation entre le corps, cerveau et environnement amène des **problèmes** :

Un premier problème concerne la **provenance** (ou **l'ancrage**) de la **signification**

(voir la fameuse expérience de pensée de la **chambre chinoise**)



Le fait de considérer que la cognition incarnée dans un « cerveau-corps » qui doit être **maintenu en vie** va résoudre ce problème naturellement...

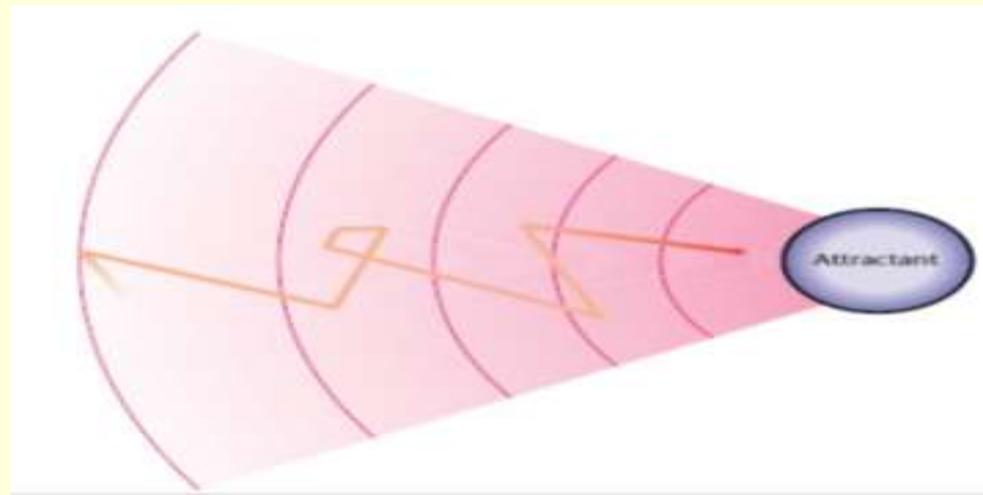
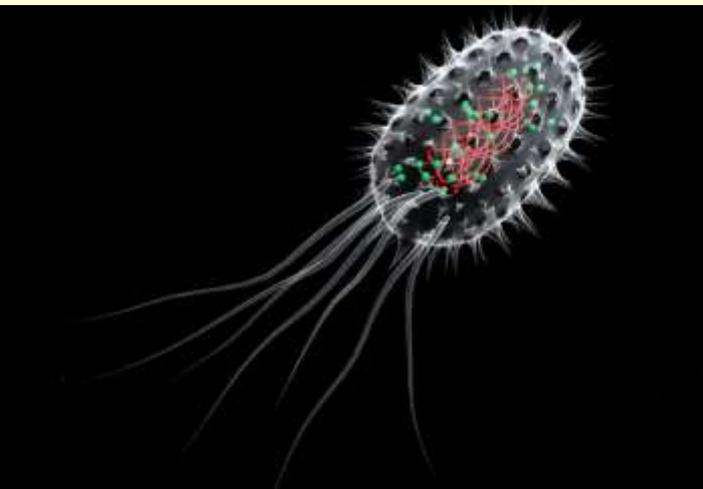
On peut prendre l'exemple d'une bactérie mobile qui nage dans un milieu aqueux en remontant un **gradient de sucrose**.

La bactérie nage au hasard jusqu'à ce qu'elle sente le gradient de molécules de sucre, grâce à des récepteurs sur sa membrane.

Puis elle va se mettre naturellement à nager pour remonter ce gradient, donc aller vers la source du sucre, pour en avoir plus.

Il se crée donc une **boucle sensorimotrice dynamique** :

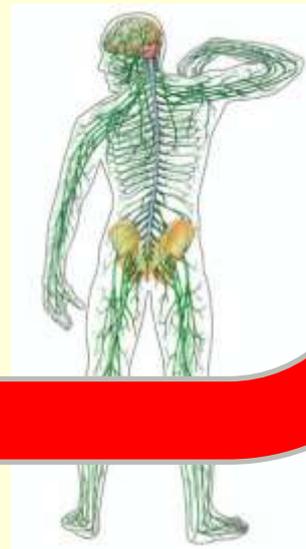
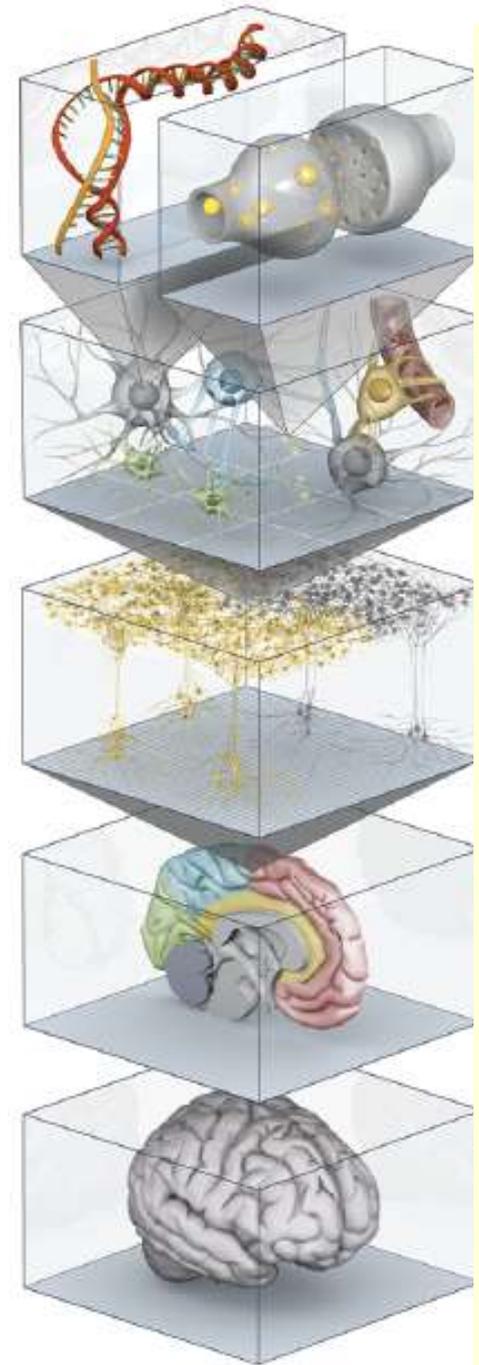
la façon dont la bactérie bouge (d'abord au hasard, puis en nageant vers la source) dépend de ce qu'elle perçoit, et ce qu'elle perçoit influence comment elle bouge.



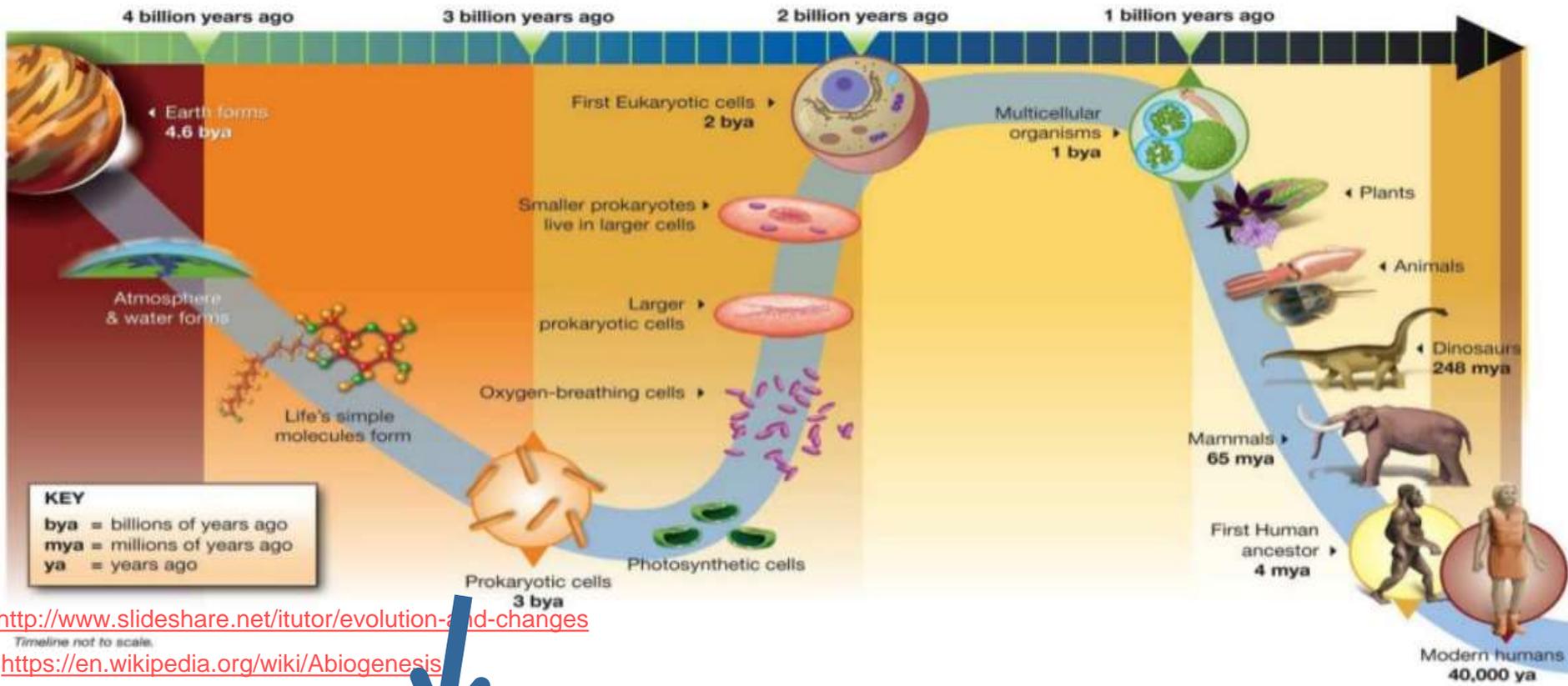
Atomes et  
molécules

Cellules  
vivantes  
(neurones)

Circuits de  
neurones

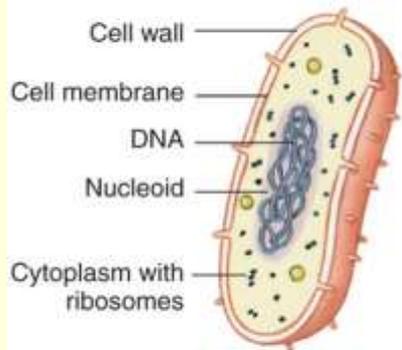


Le passage des **unicellulaires**  
aux **multicellulaires**



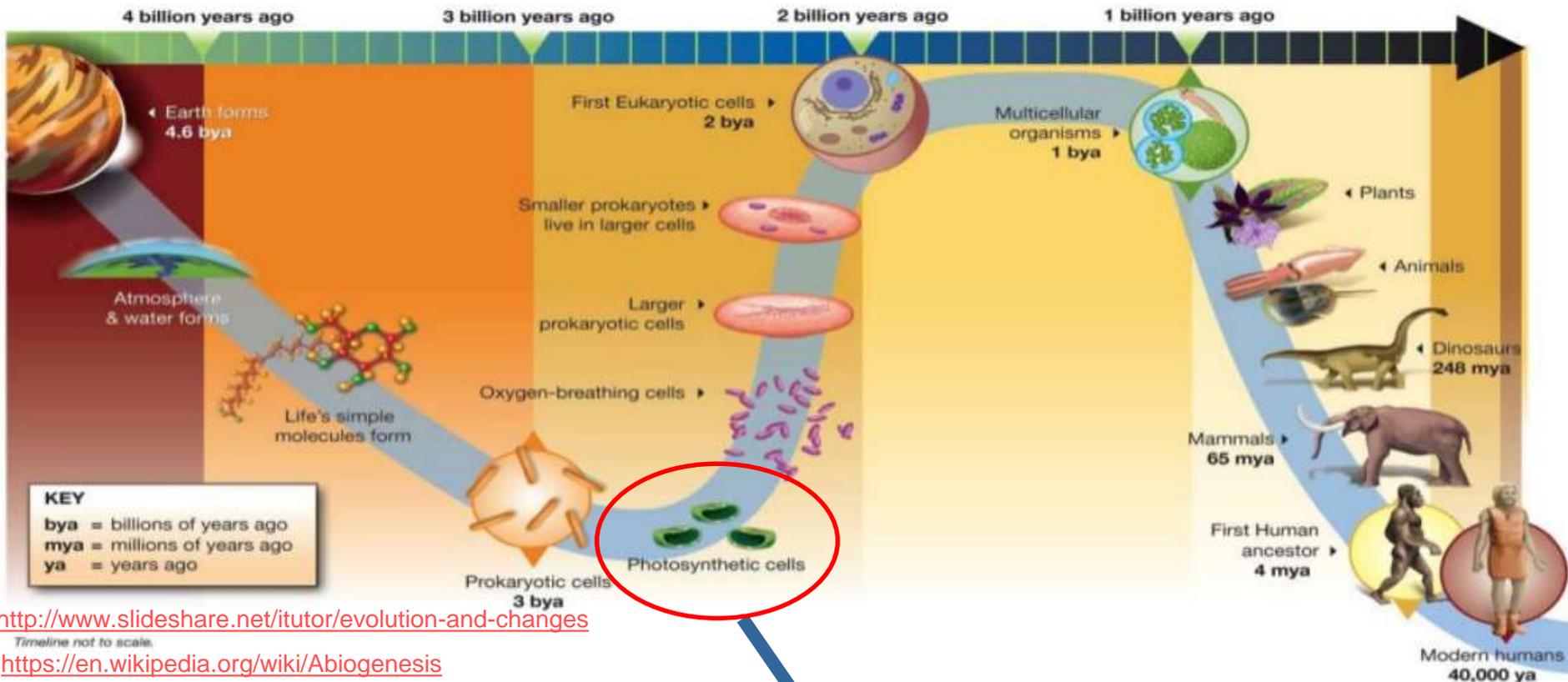
<http://www.slideshare.net/itutor/evolution-and-changes>

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



Prokaryote

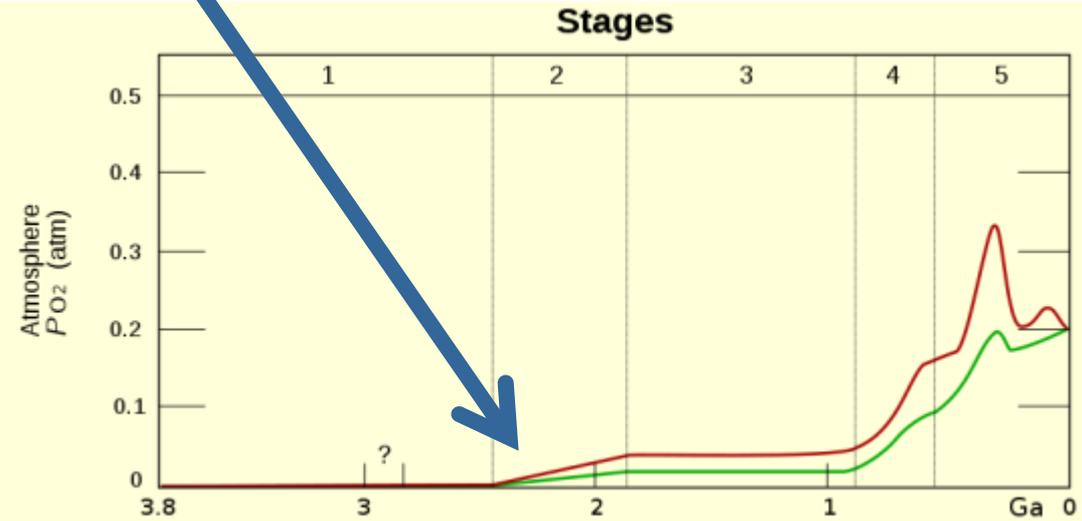
3,5 bya

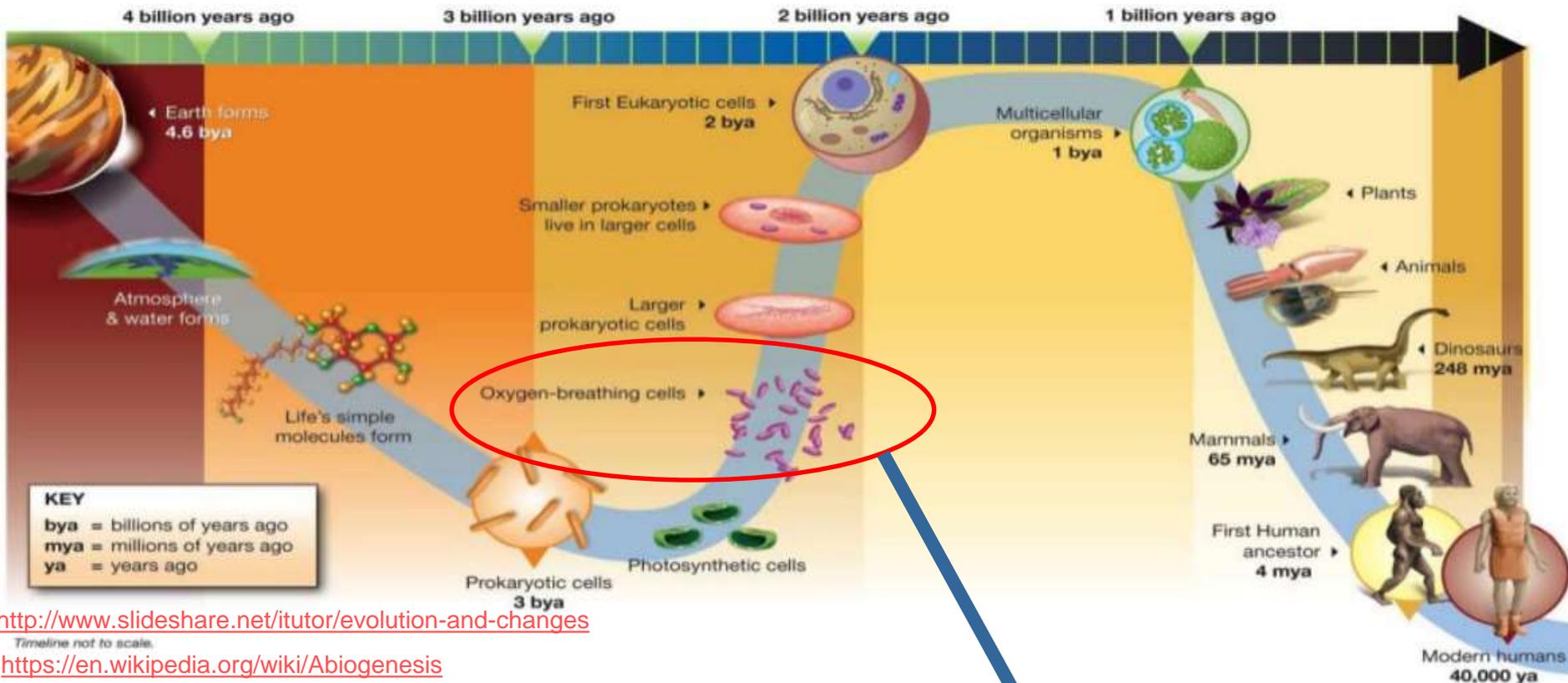


<http://www.slideshare.net/itutor/evolution-and-changes>  
<https://en.wikipedia.org/wiki/Abiogenesis>

**2,4 Ga :**

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

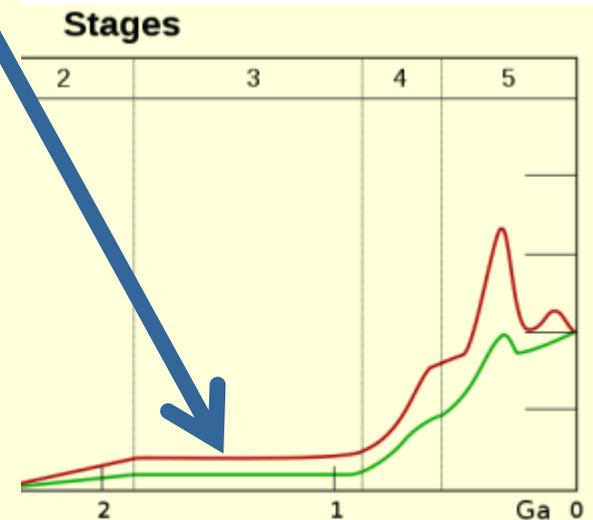


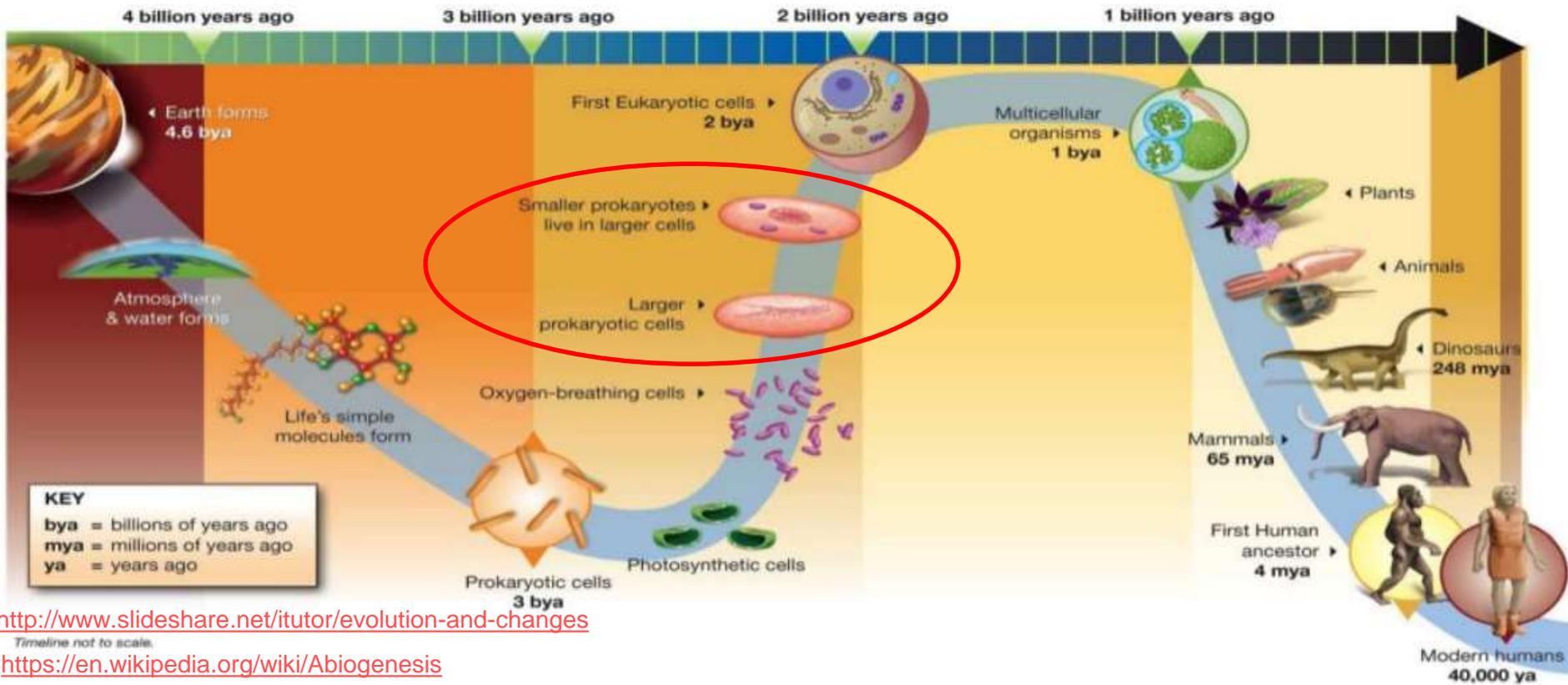


<http://www.slideshare.net/itutor/evolution-and-changes>

<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.

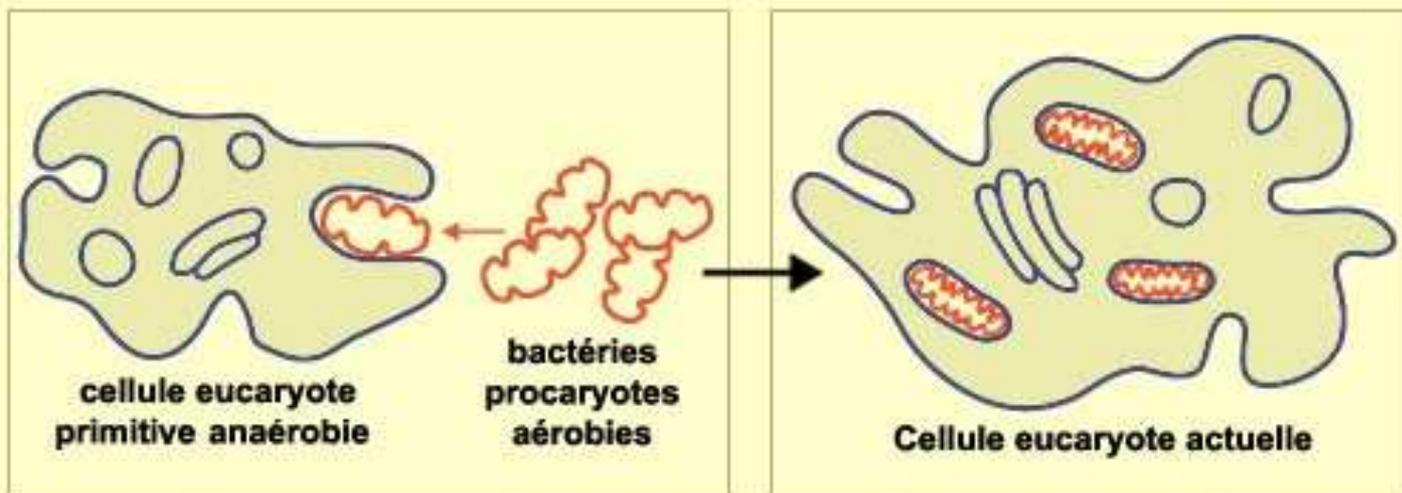




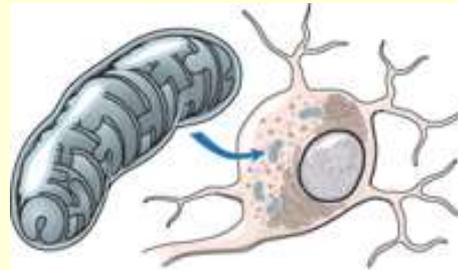
<http://www.slideshare.net/itutor/evolution-and-changes>

*Timeline not to scale.*

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



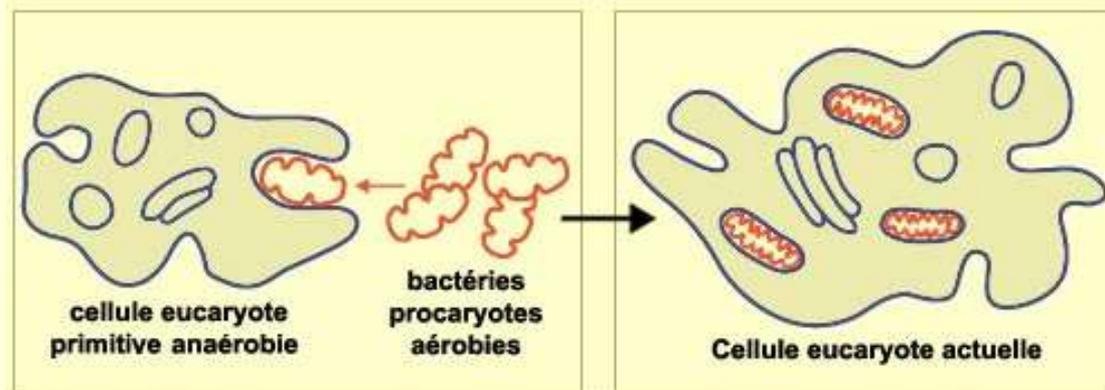
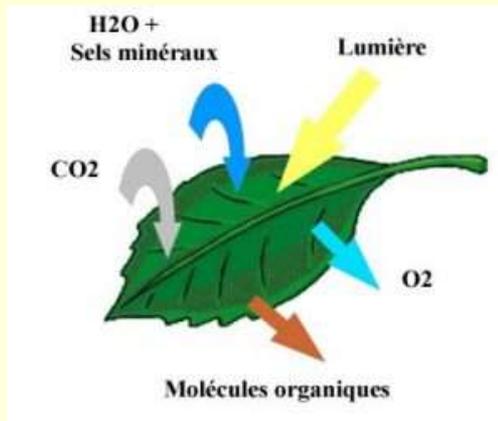
« Pas de mutation à l'origine de la **photosynthèse**  
ou pas relation **symbiotique** cellules eucaryotes - bactéries aérobies  
(qui sont des événements **contingents ou accidentels**),  
pas de neurones si énergivores.  
Pas de neurones, pas de cerveaux.  
Pas de cerveaux, pas d'humains ! »

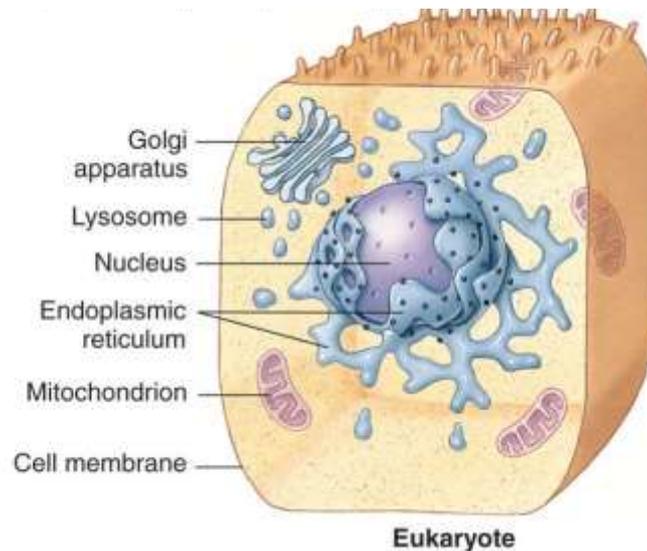
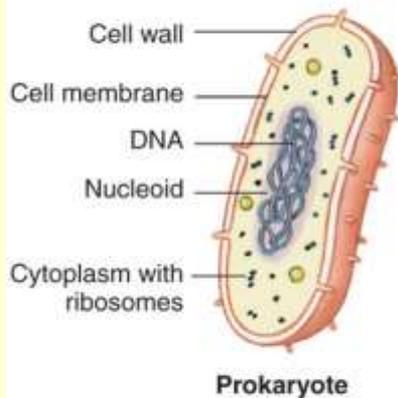
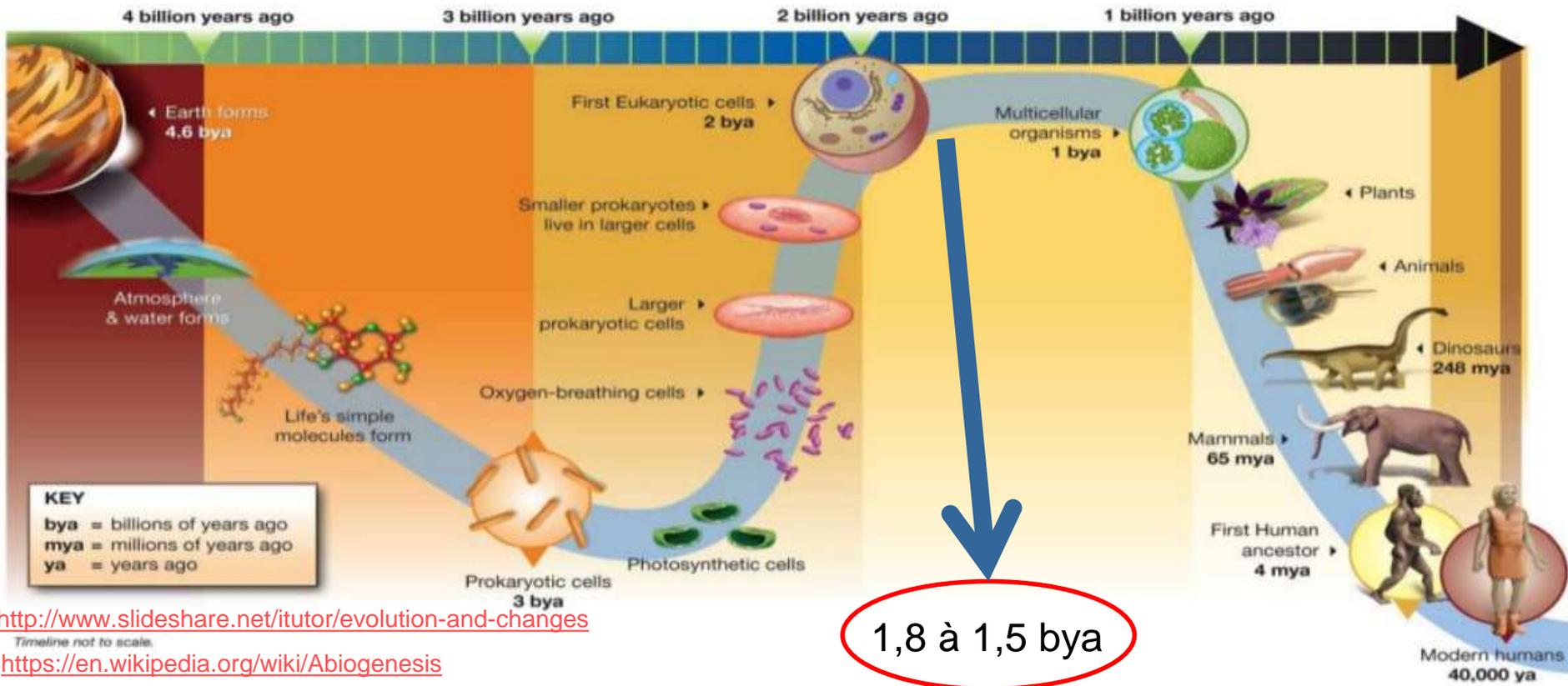


Car encore aujourd'hui,  
chaque cellule de  
votre cerveau possède  
des mitochondries.

What  
Caused  
Life's Major  
Evolutionary  
Transitions?

<http://statedclearly.com/videos/what-caused-lifes-major-evolutionary-transitions/>

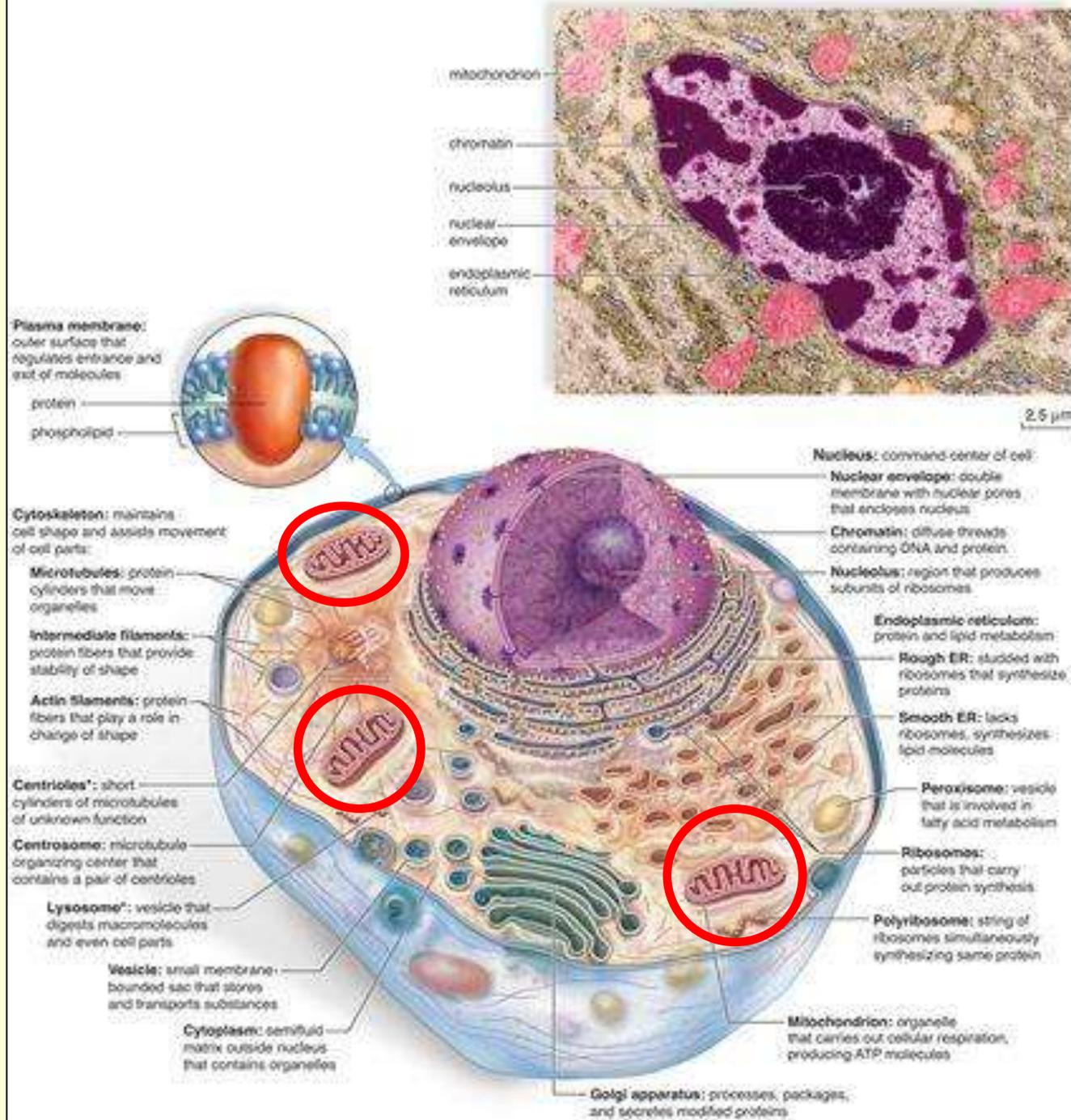


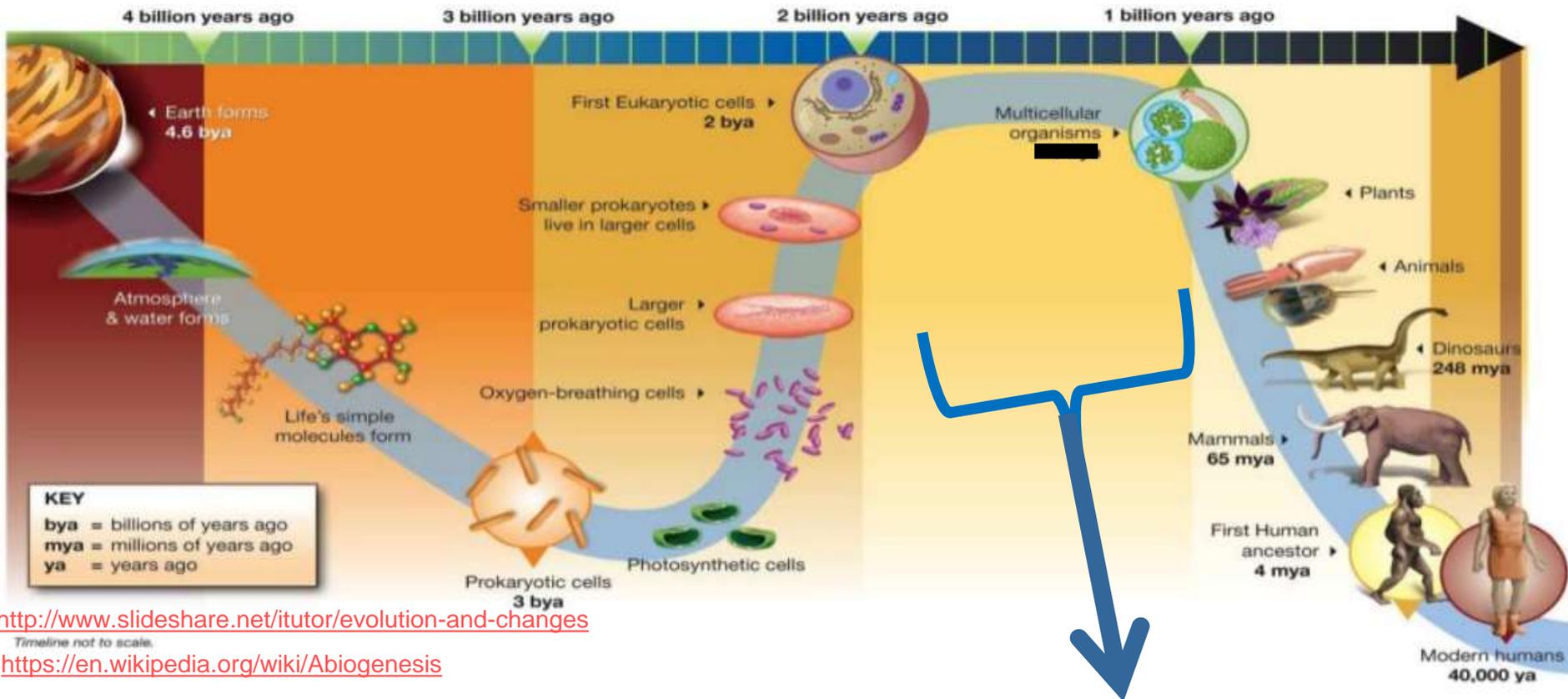


Les réseaux complexes se « compartimentalisent »

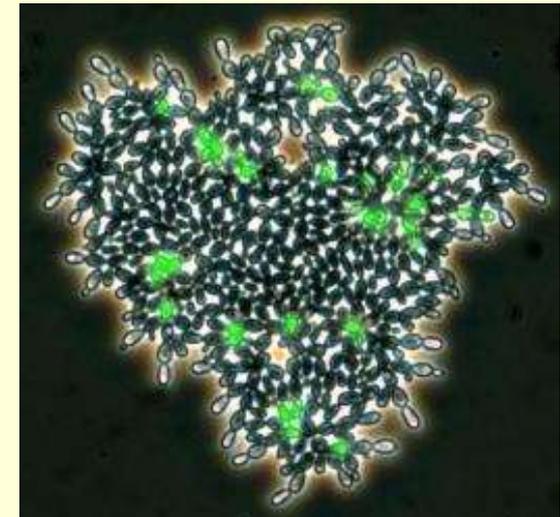
Dans le **noyau**, où se retrouve l'ADN.

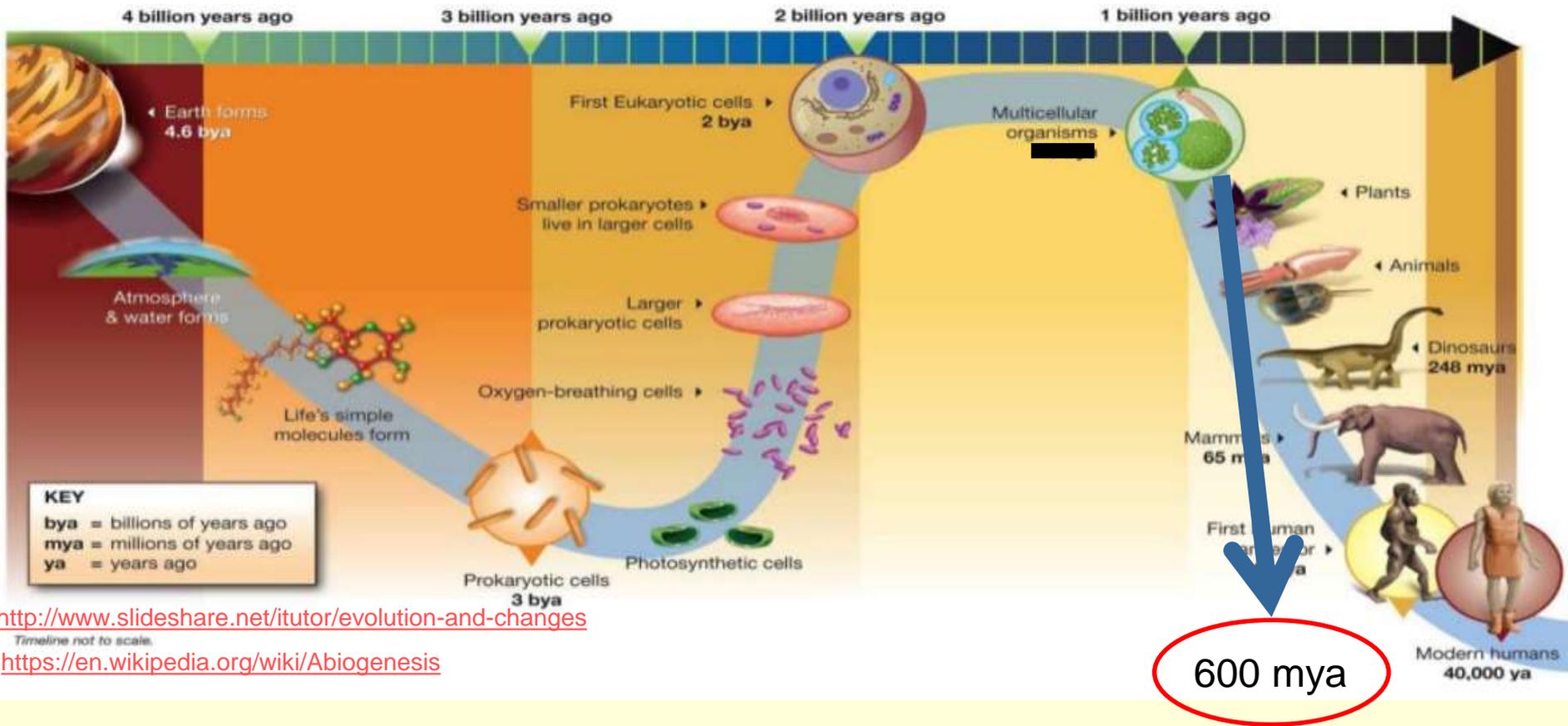
Mais aussi dans différents compartiments, dont un très important, les **mitochondries**.





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.

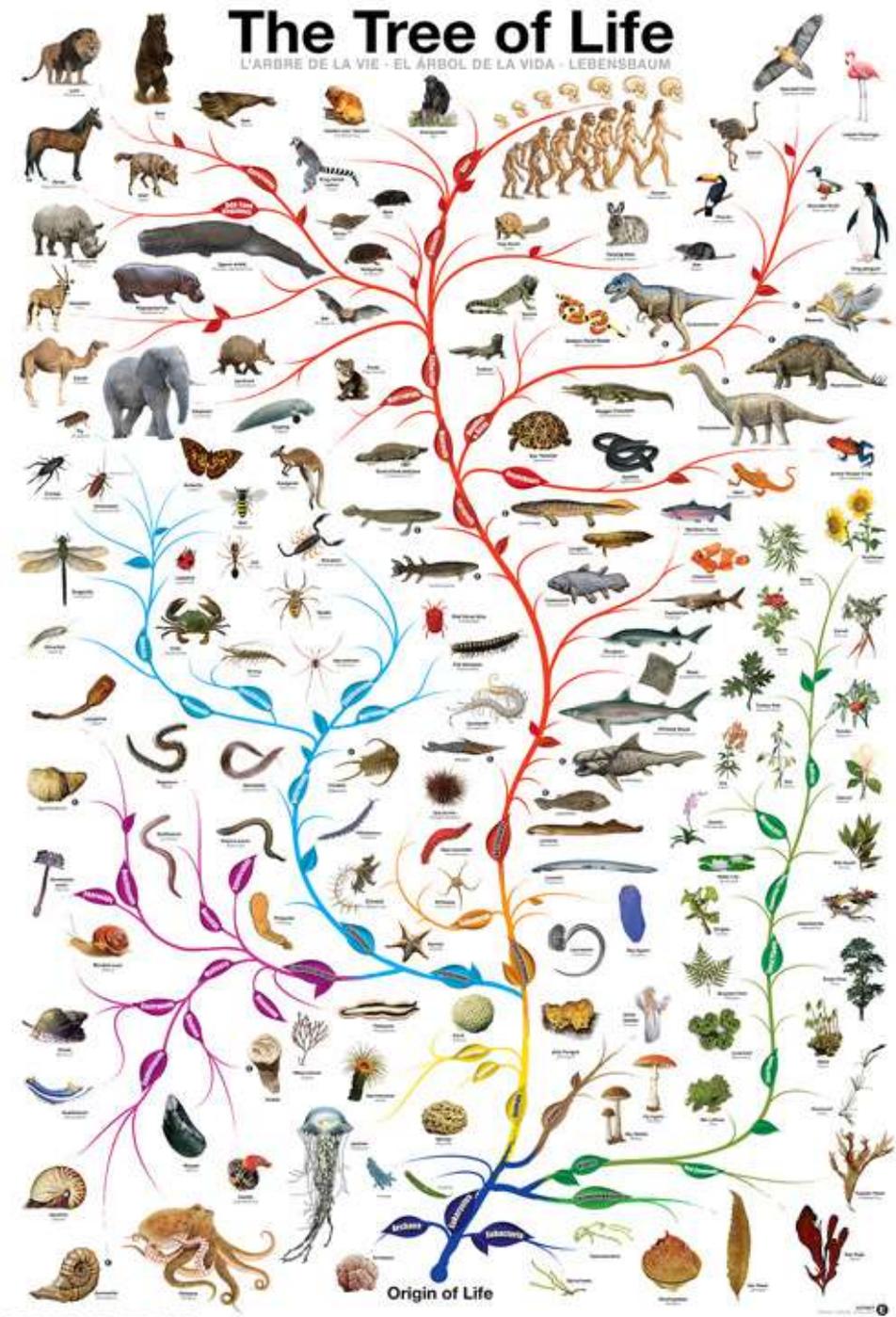
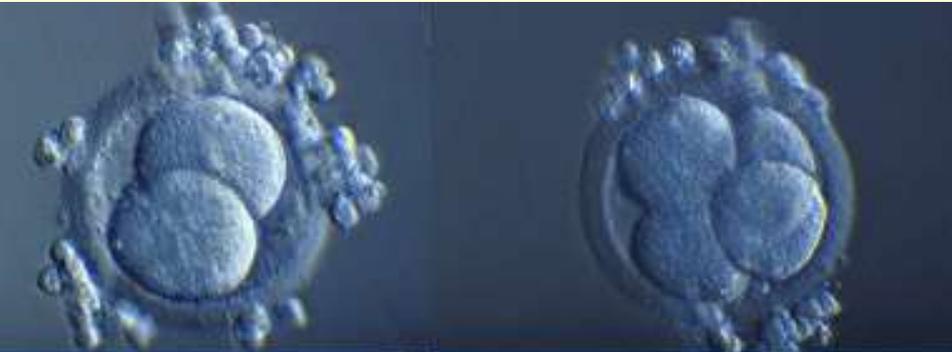
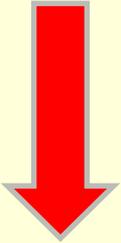
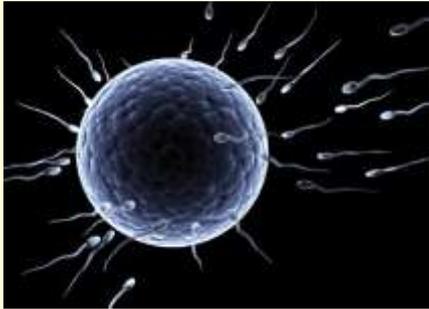




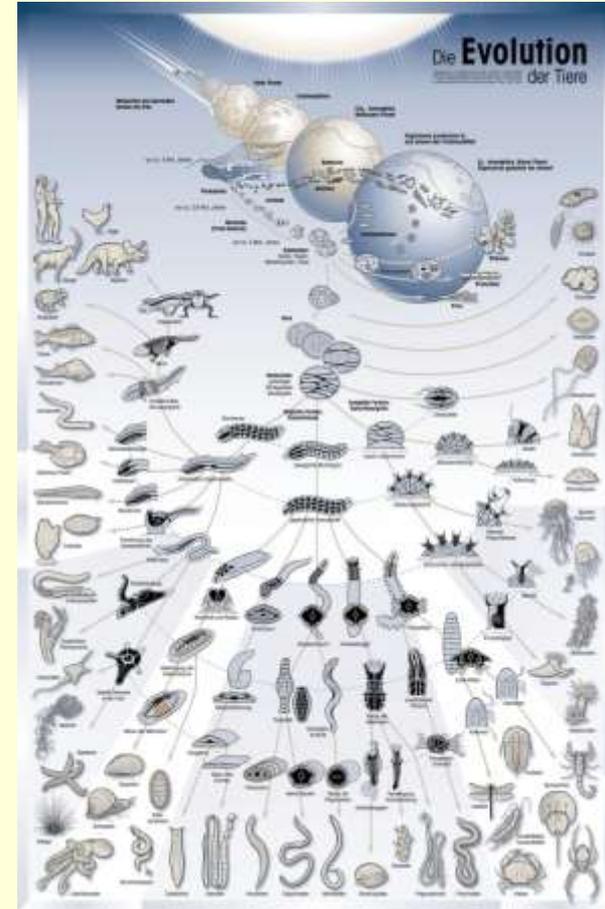
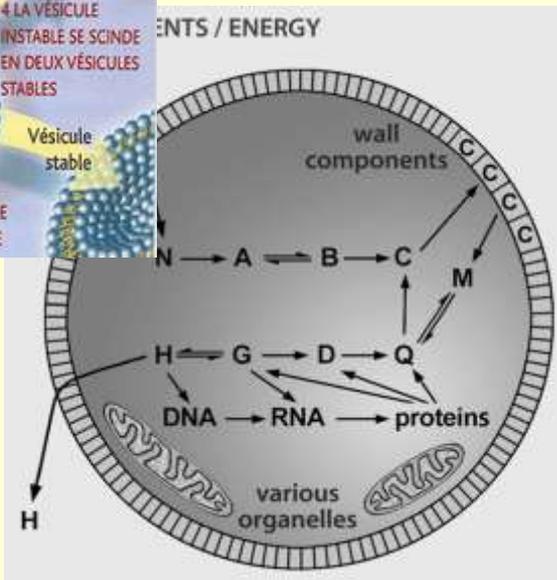
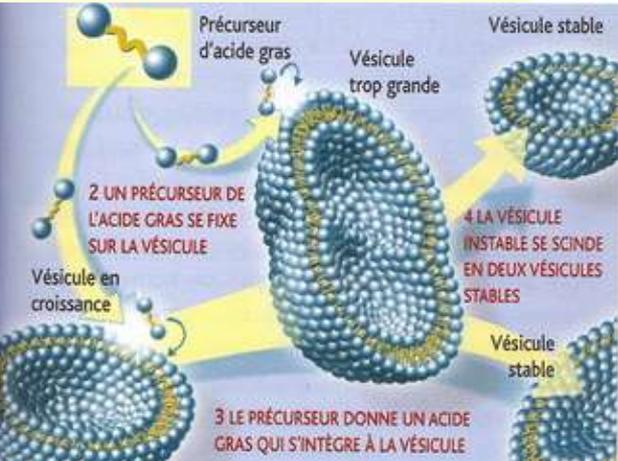
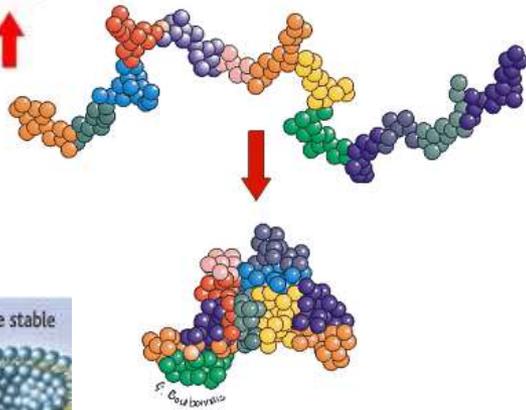
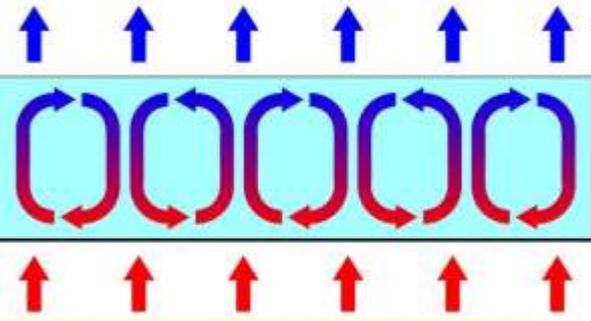
L'émergence de la vie **multicellulaire** apparaît véritablement il y a un peu plus de **600 millions d'années**

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





# Auto-organisation + Diversité & Sélection



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



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

l'entropie (désordre) croît constamment



## **Biological self-organisation and Markov blankets**

Enzor Rafael Palacios, Adeel Razi, Thomas Parr, Michael Kirchhoff and Karl Friston (2017) [https://www.academia.edu/35604713/Biological\\_self-organisation\\_and\\_Markov\\_blankets?email\\_work\\_card=title](https://www.academia.edu/35604713/Biological_self-organisation_and_Markov_blankets?email_work_card=title)

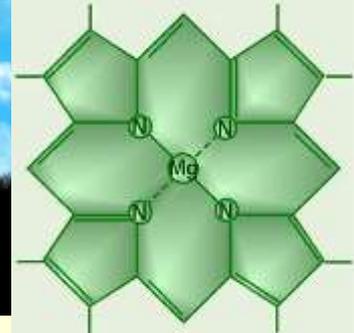
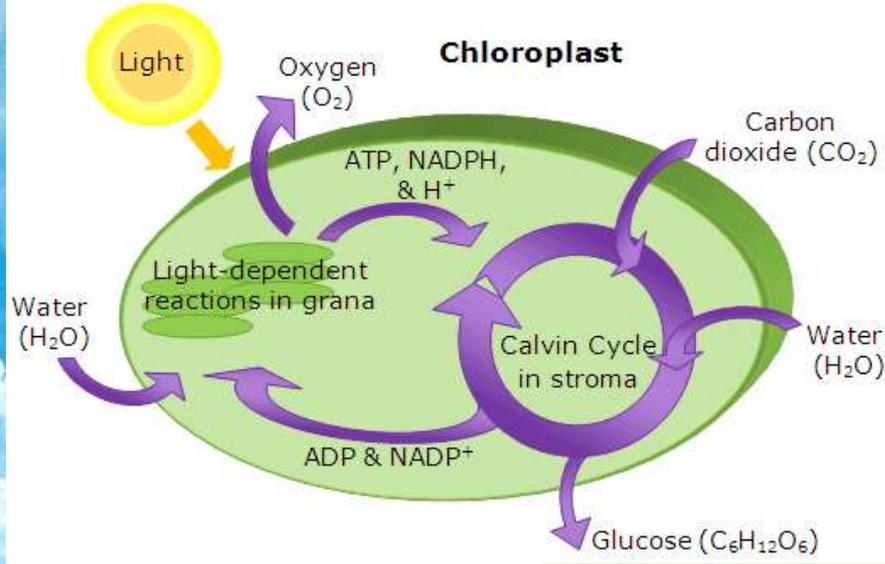
**...This imperative is motivated by the fact that biological systems have to maintain sensory states within physiological bounds.**

...It is this peculiar and special behaviour that underlies self-organisation; namely, the existence of an attracting set of states that endow living systems with characteristic behaviours that occur repeatedly.



« 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

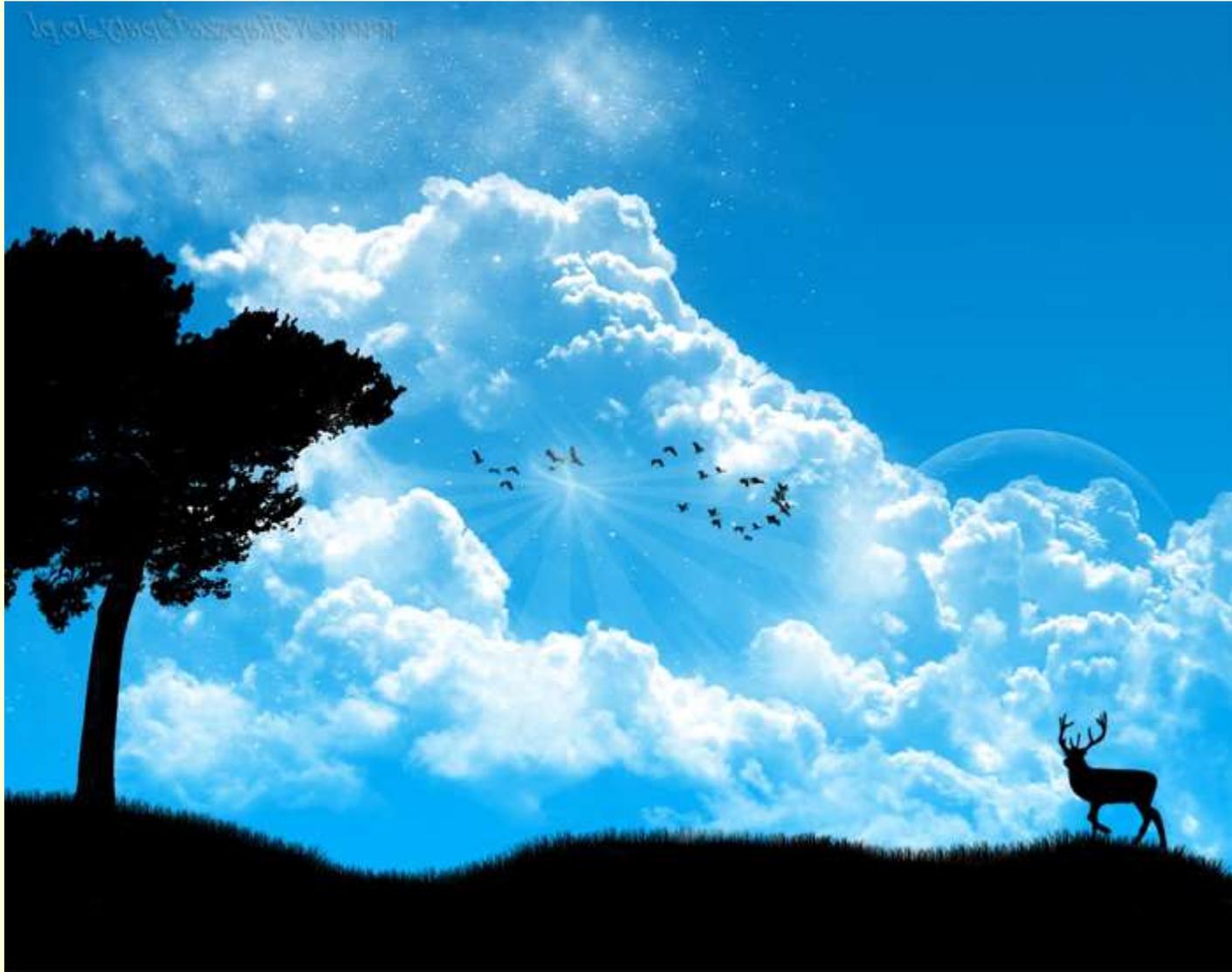




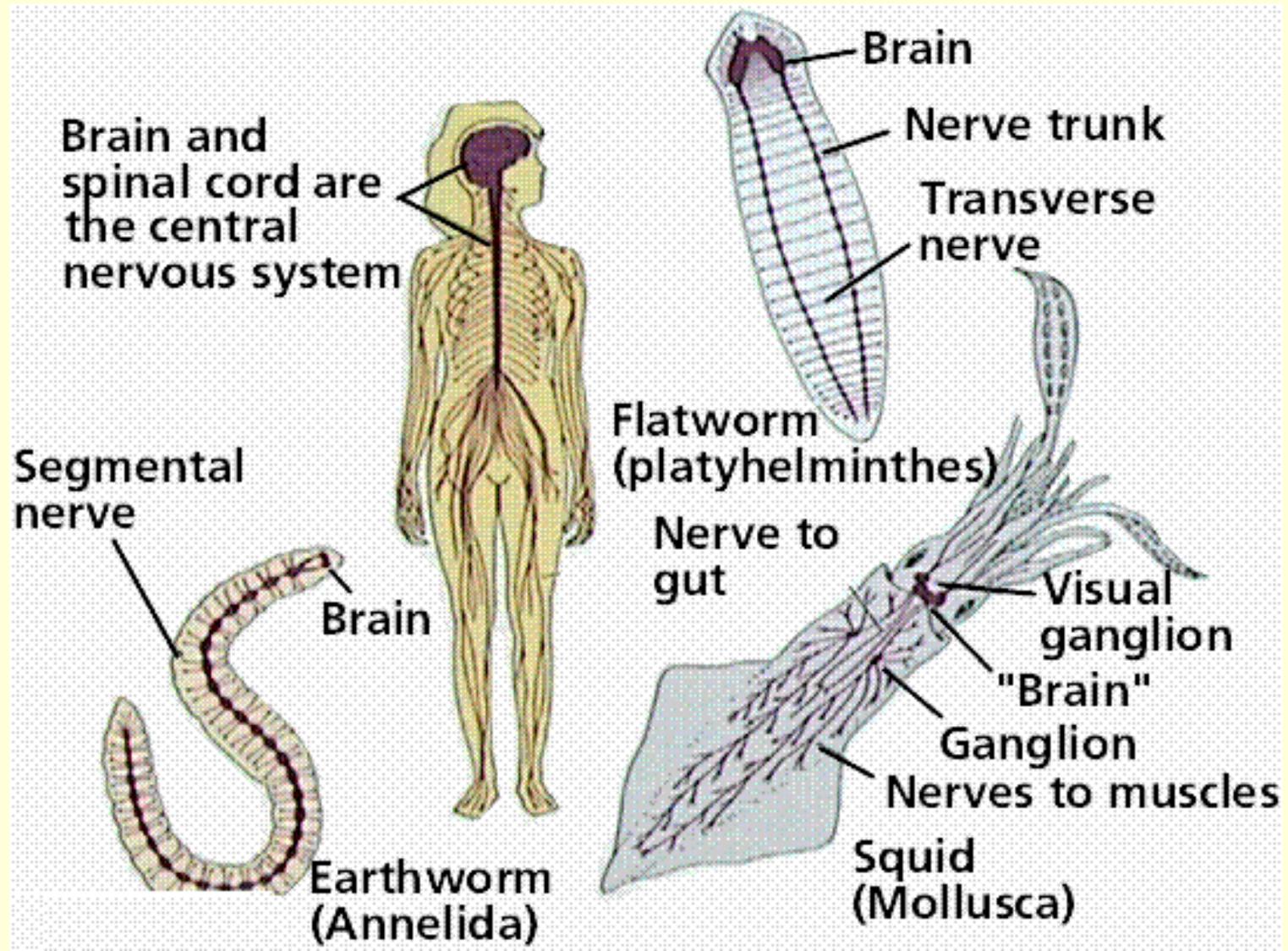
## Animaux :

**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 !

Différent du **système hormonal** : le moment des premières règles d'une femme varie, l'important c'est qu'elle finisse par les avoirs...

Différent du **système immunitaire** : commencez à fabriquer des anticorps ce soir au lieu de maintenant et ce sera rarement fatal...

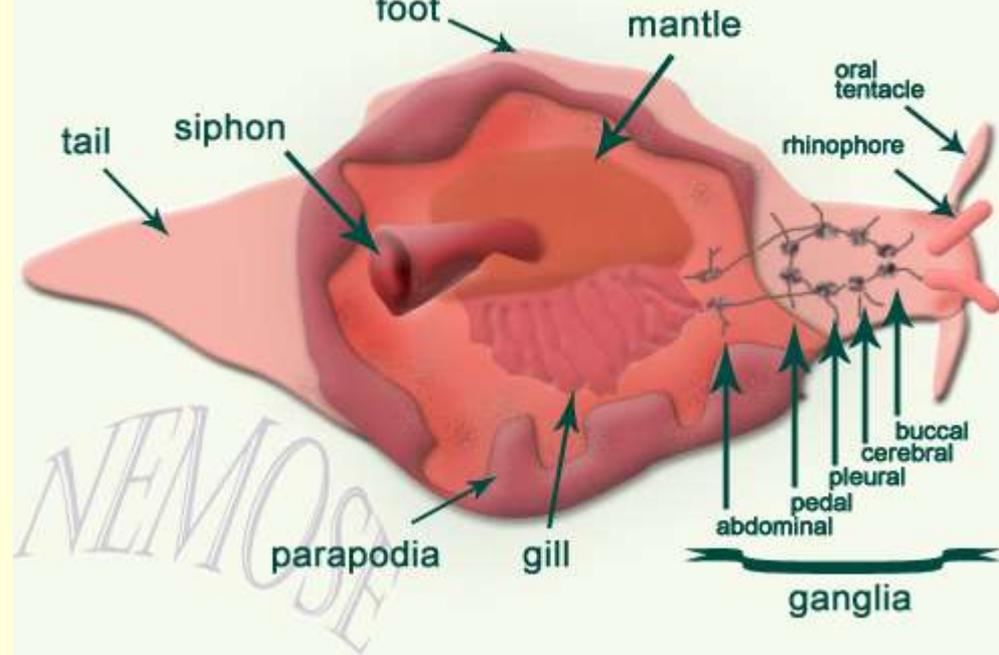
Mais ne bondissez pas en une fraction de seconde après avoir aperçu un guépard surgir des hautes herbes, votre existence peut se terminer là.

Faire ressortir du **sens** du chaos du monde, **prévoir** ce qui va s'y passer, et y **réagir** promptement, voilà le rôle du **système nerveux**.





**Aplysie**  
(mollusque marin)

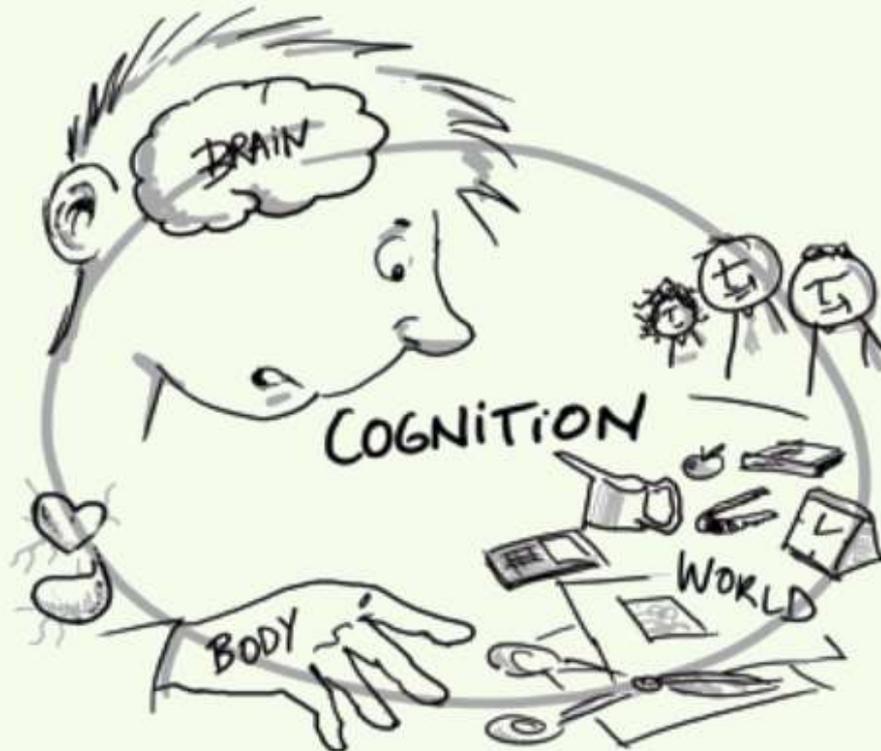




Et progressivement,

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

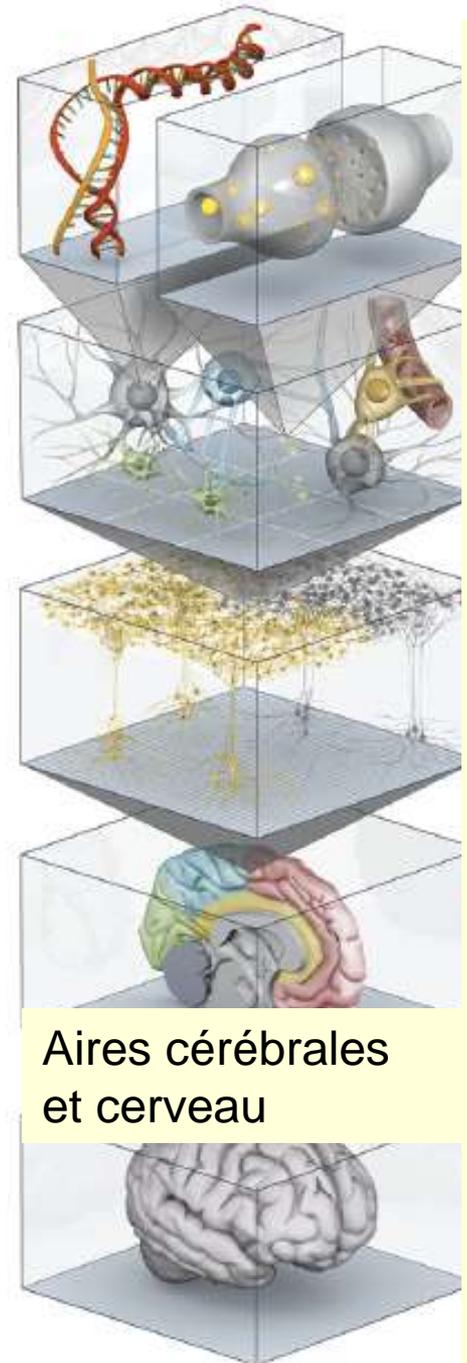
- Francisco Varela, Le cercle créateur, p.126



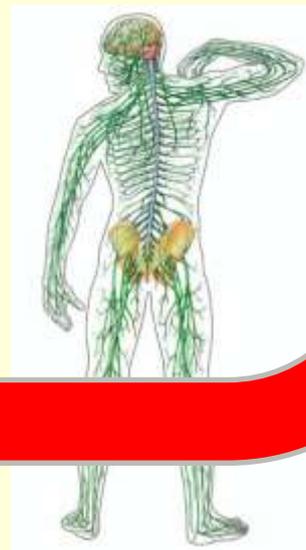
Atomes et  
molécules

Cellules  
vivantes  
(neurones)

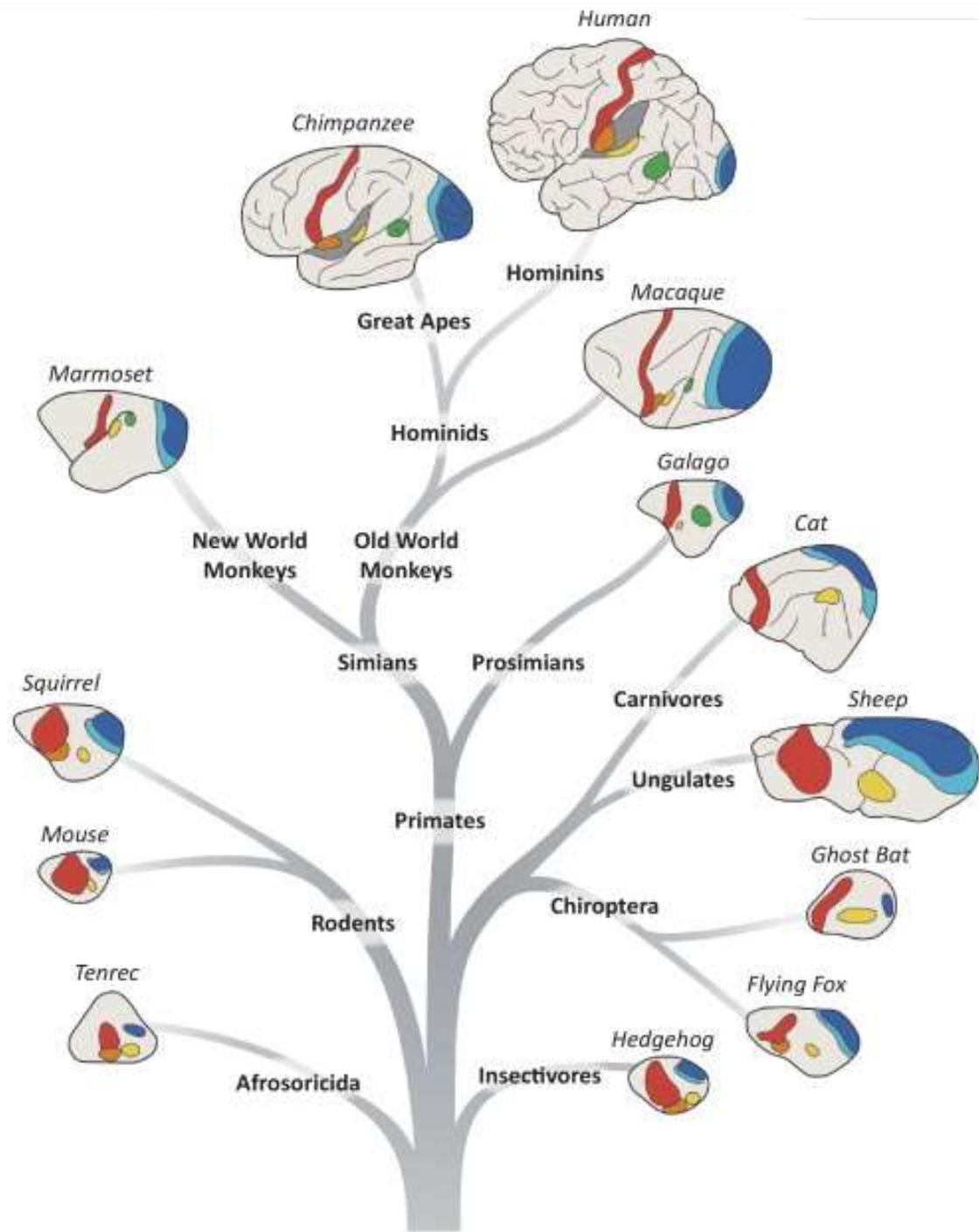
Circuits de  
neurones

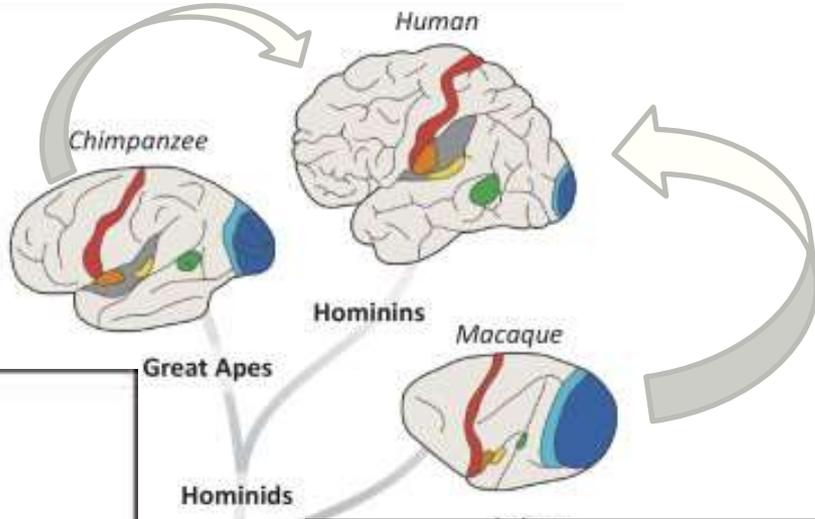


Aires cérébrales  
et cerveau

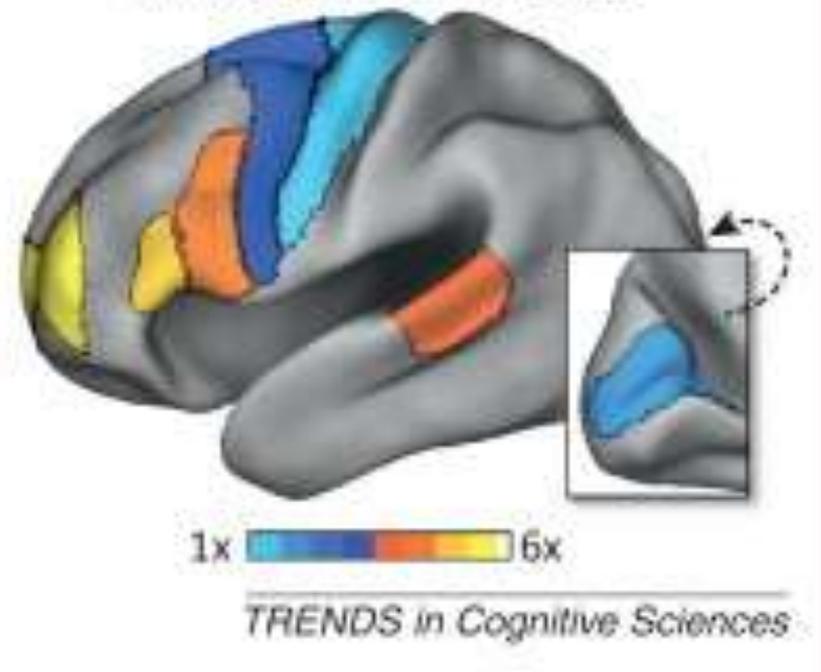






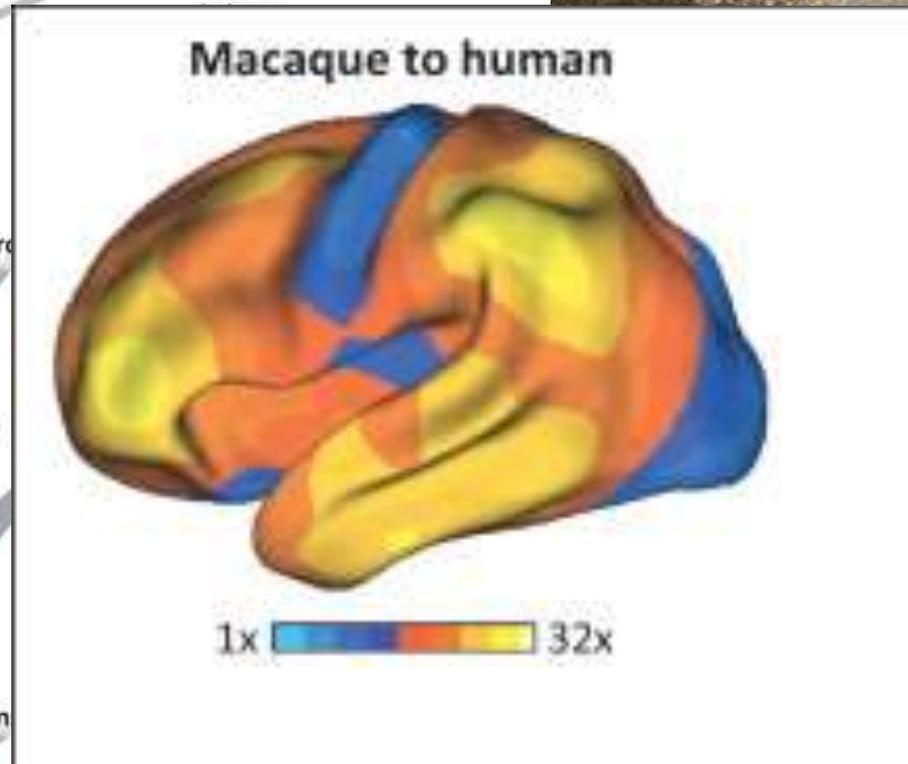


### Chimpanzee to human

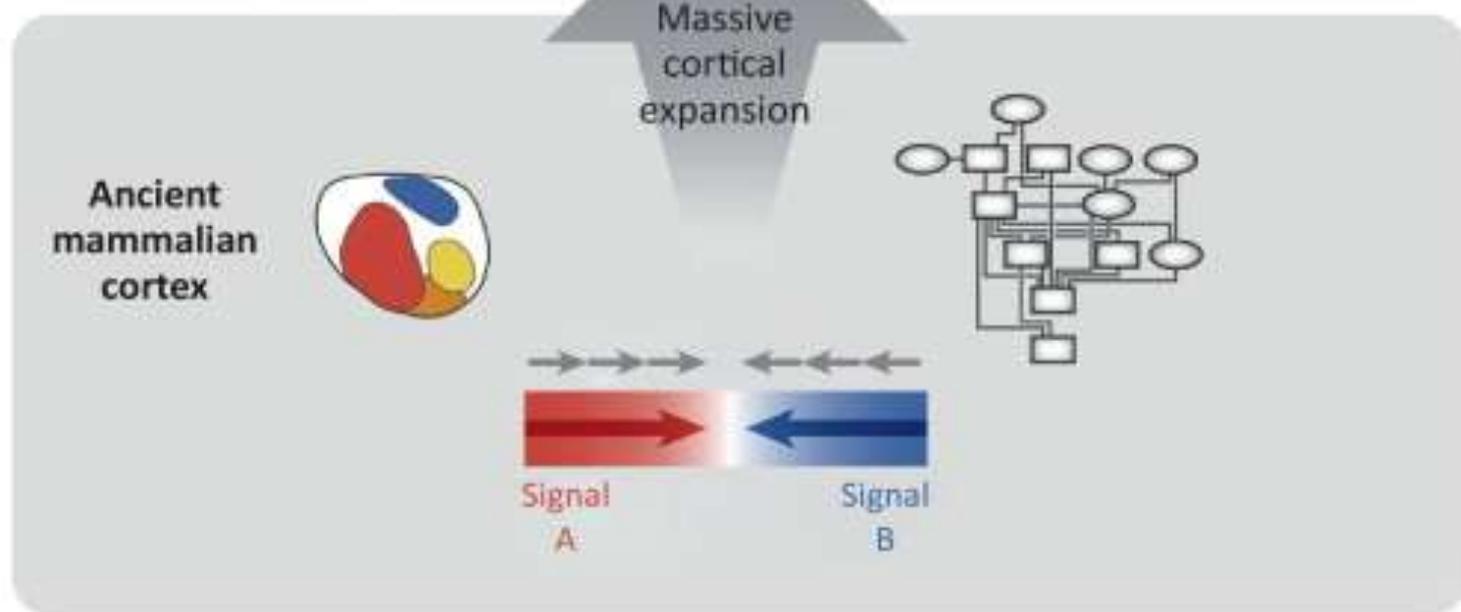
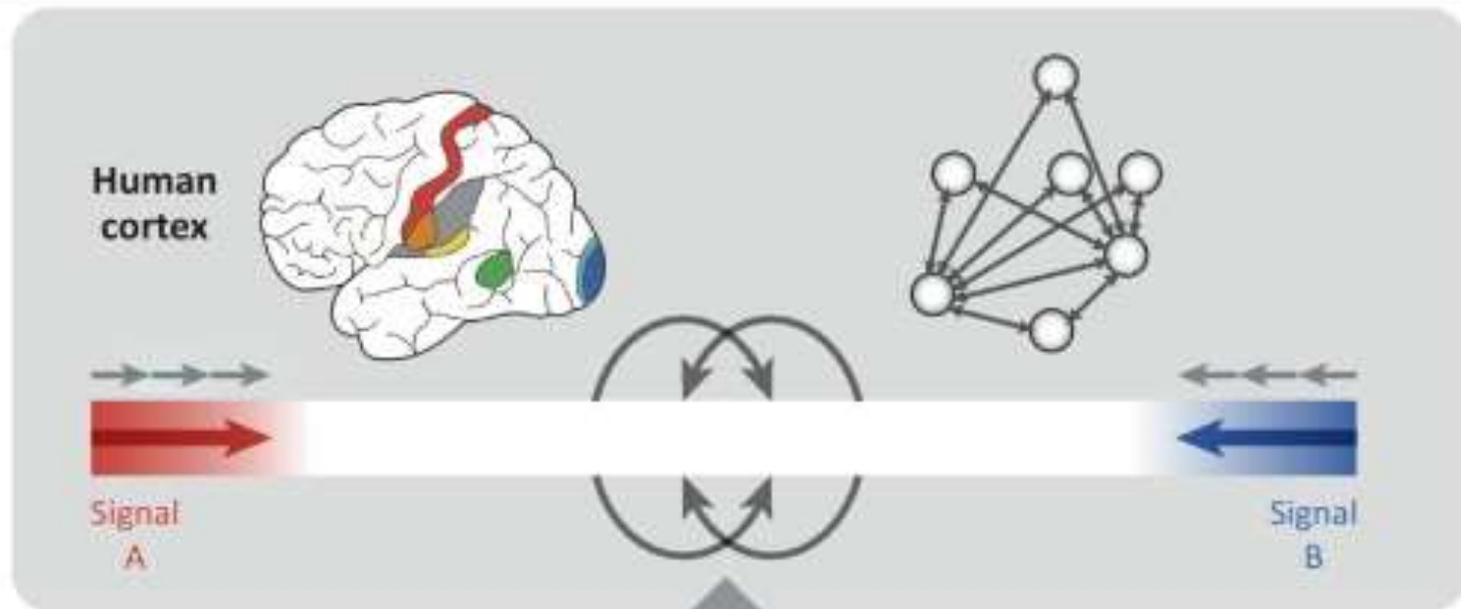


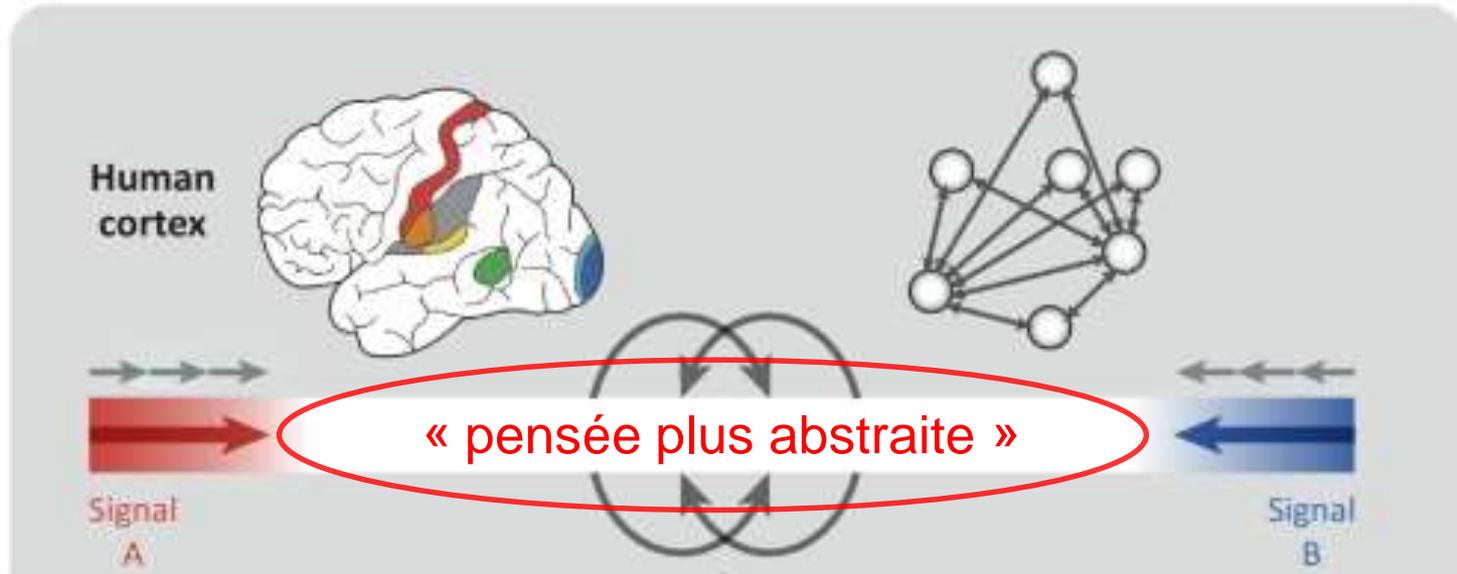
Ancêtre commun :  
environ 6-7 millions d'années

### Macaque to human

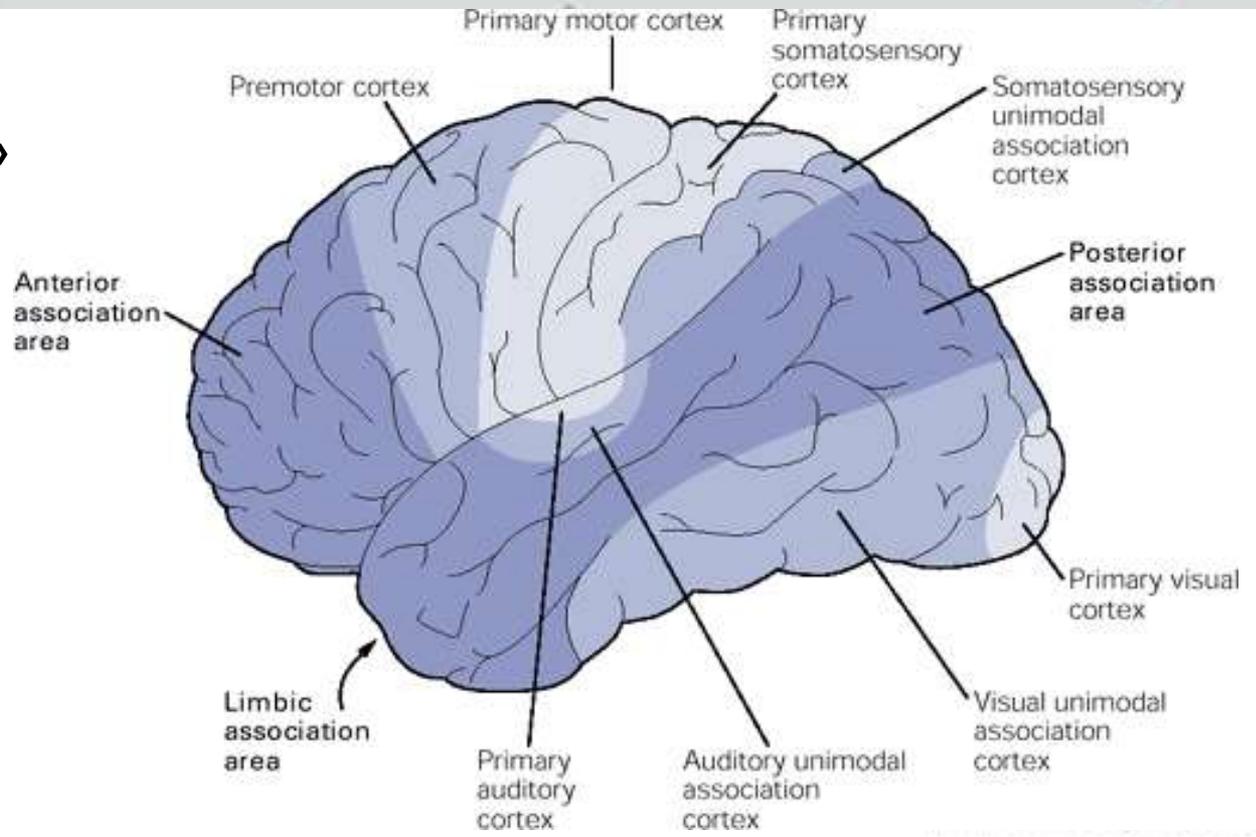


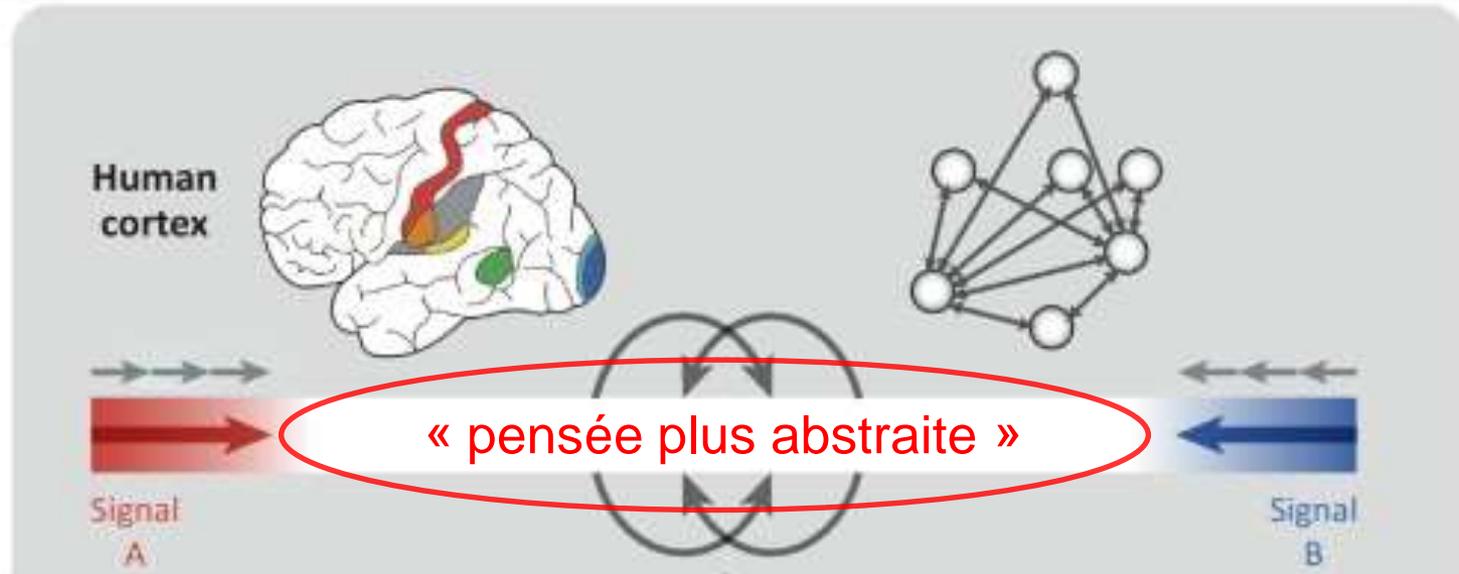
Ancêtre commun :  
environ 25 millions d'années





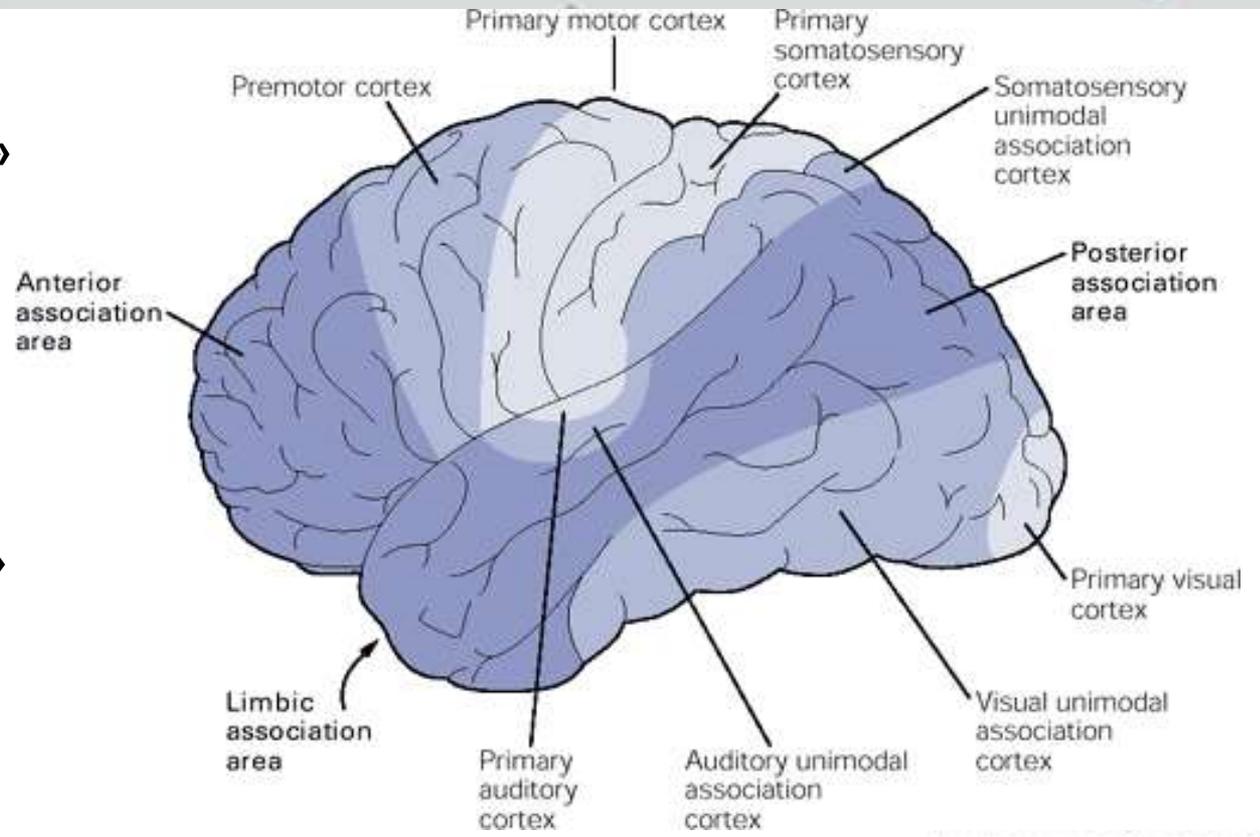
## Cortex « associatif »





## Cortex « associatif »

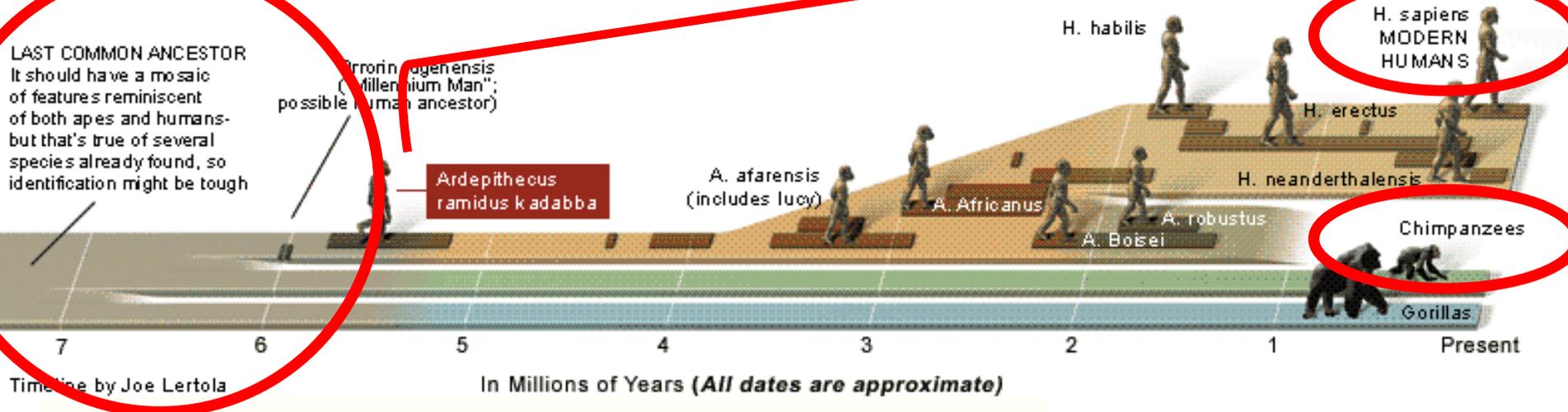
crée de l'espace pour le « offline »



# A WALK THROUGH HUMAN EVOLUTION

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

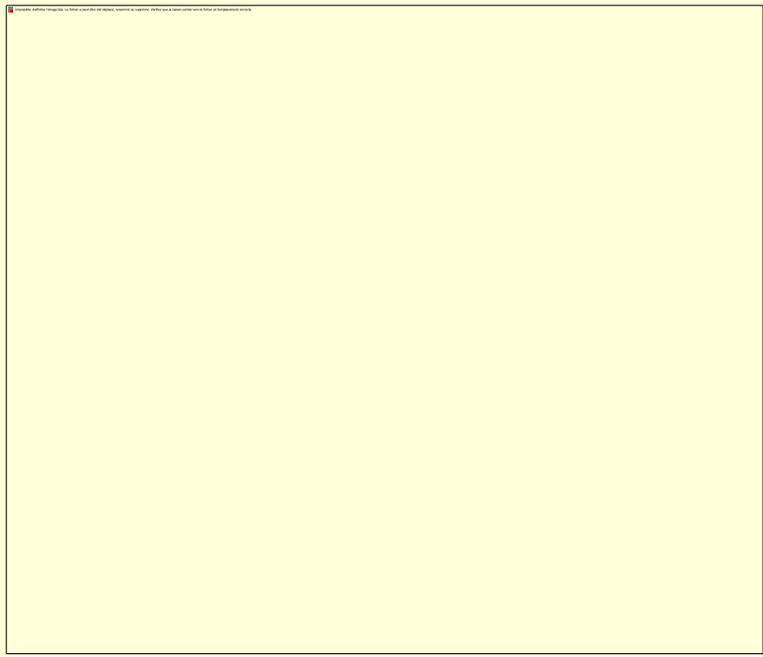
**LAST COMMON ANCESTOR**  
It should have a mosaic of features reminiscent of both apes and humans—but that's true of several species already found, so identification might be tough



## L'hominisation,

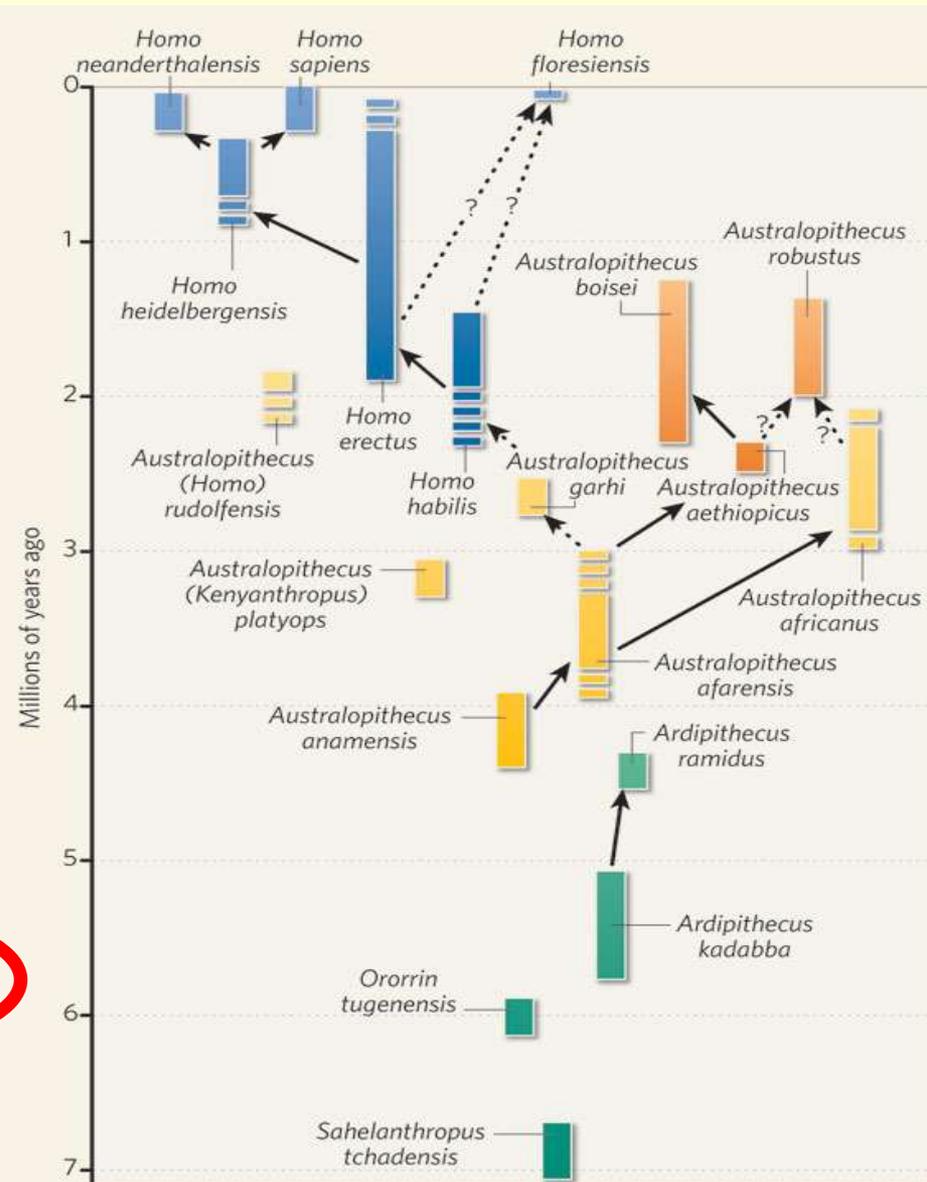
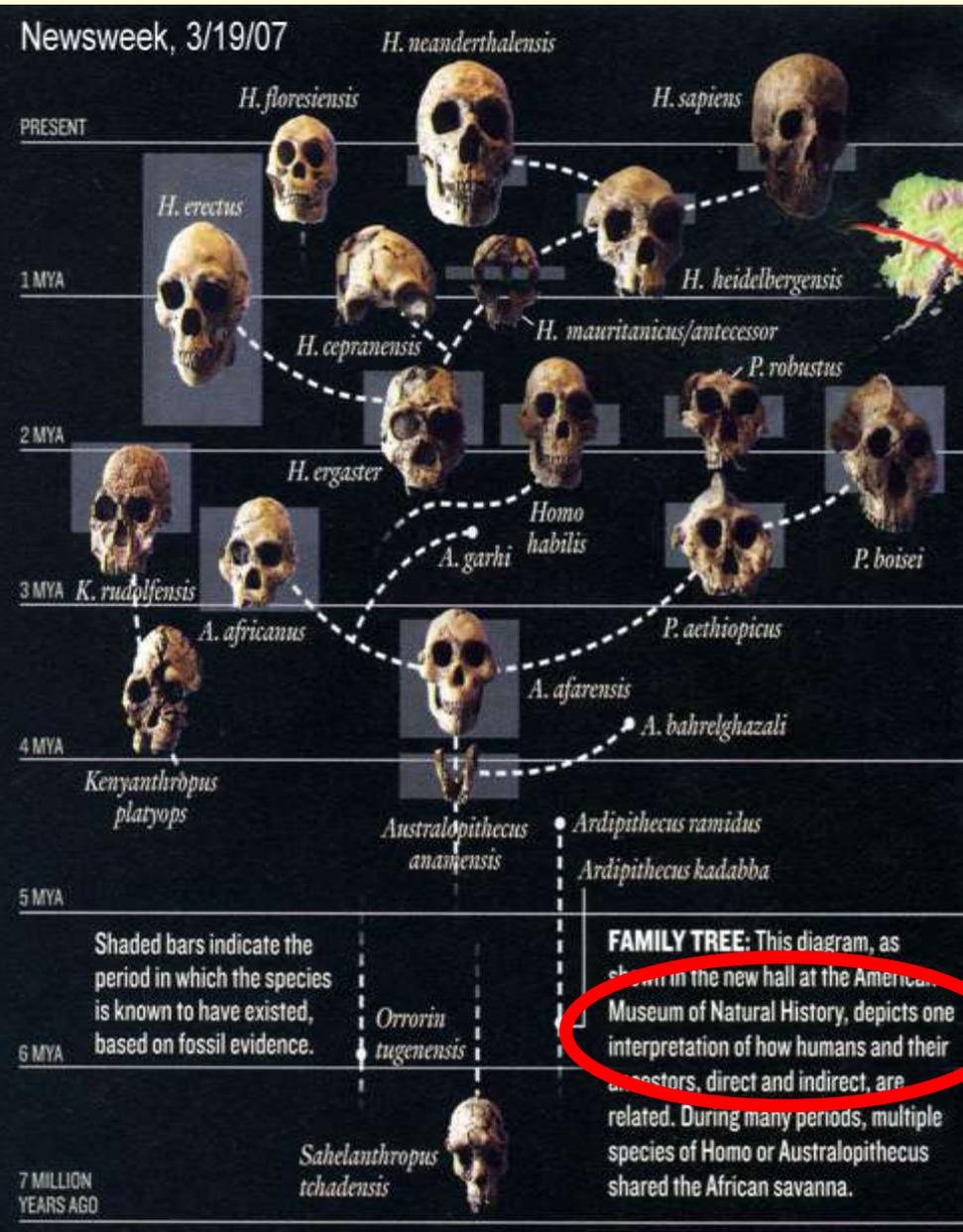
ou l'histoire de la lignée humaine.

[http://lecerveau.mcgill.ca/flash/capsules/histoire\\_bleu03.html](http://lecerveau.mcgill.ca/flash/capsules/histoire_bleu03.html)

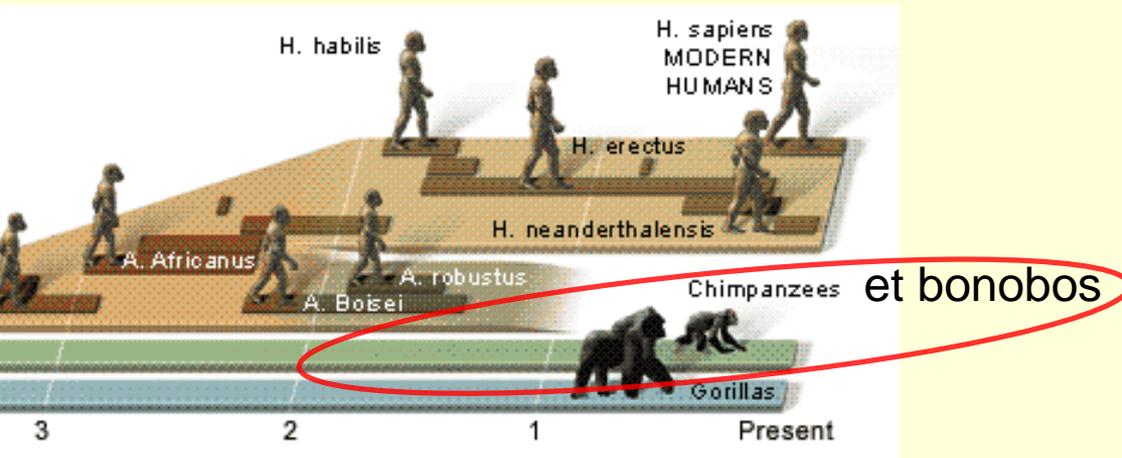


# L'hominisation :

reconstruire l'histoire de la lignée humaine à partir de « quelques bouts d'os »...



# L'hominisation : par où commencer ?



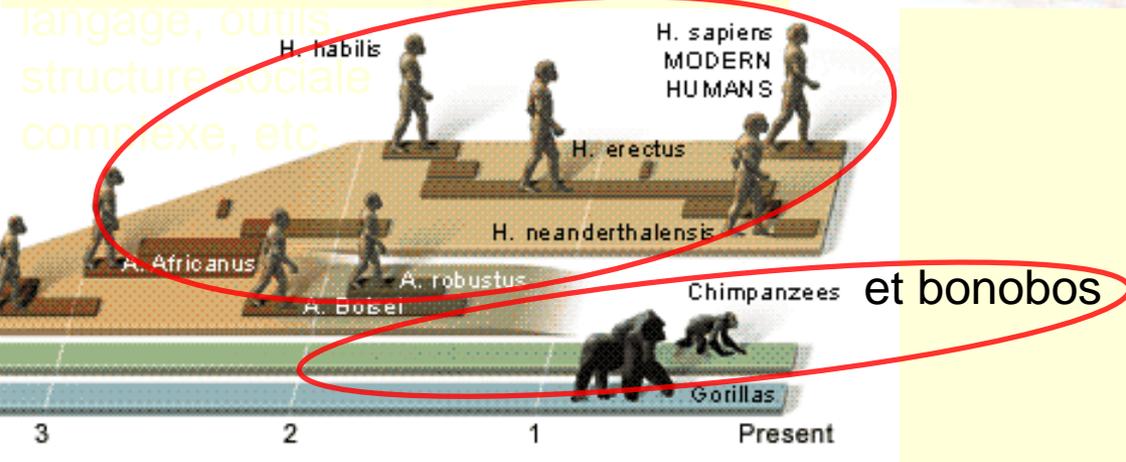
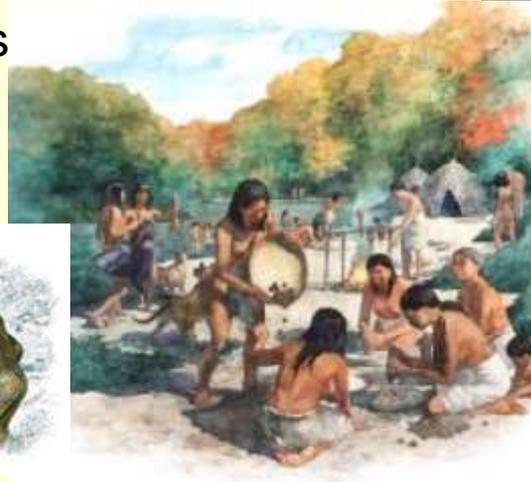
Évolution divergente chimpanzés / bonobos  
il y a **1-2 millions d'année** a donné :

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



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

- langage, outils, structure sociale complexe, etc.



**CHIMPANZEE VS BONOBO**

**WHICH TEAM ARE YOU ON?**

War, violence & MEN rule  
Peace, love & WOMEN rule



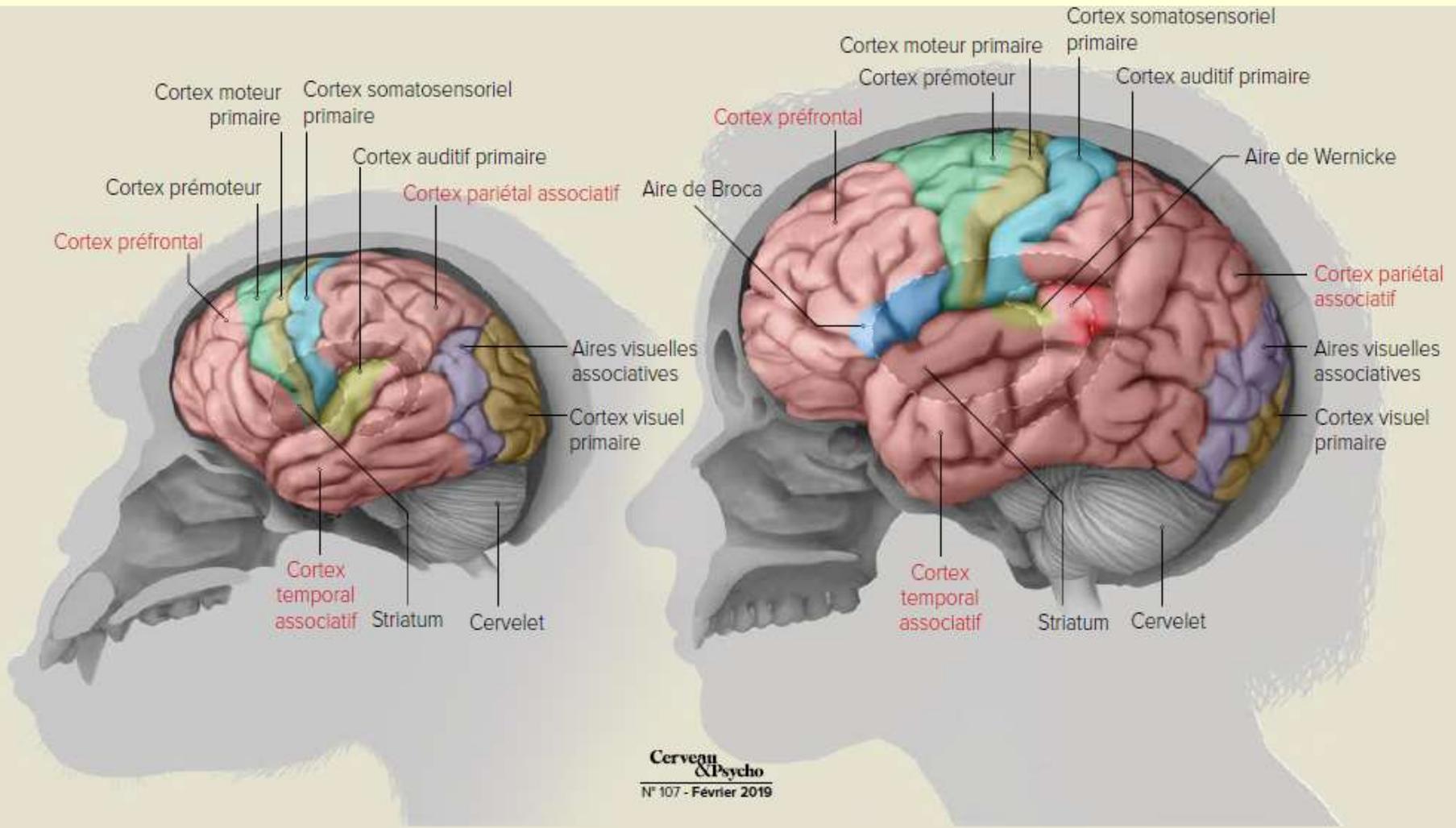
Évolution divergente chimpanzés / bonobos  
il y a **1-2 millions d'année** a donné :

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



**L'expansion cérébrale** est sans doute une part importante de l'explication derrière ces changements cognitifs spectaculaires.

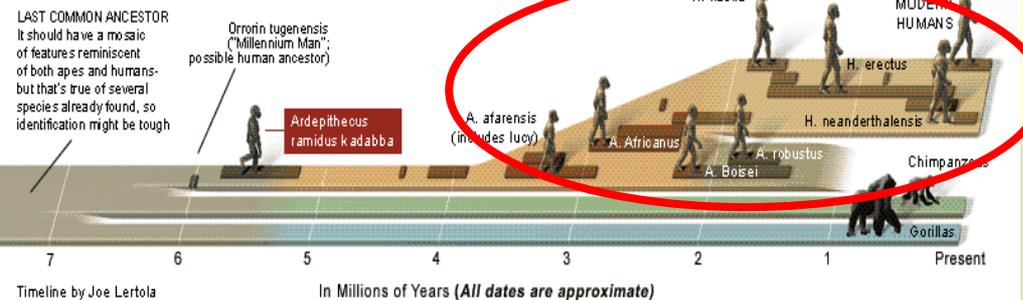




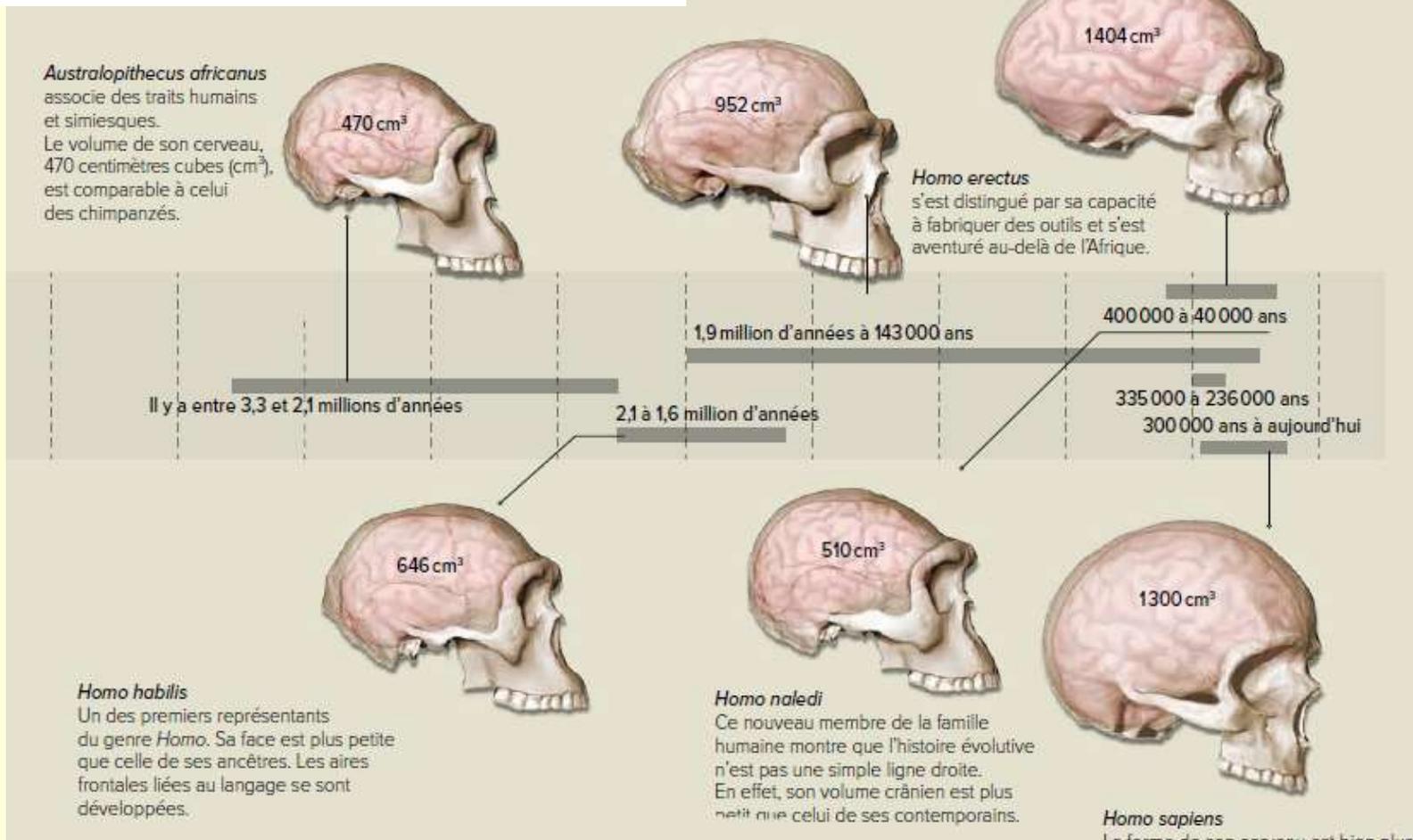
**chimpanzé**

**humain**

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



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



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

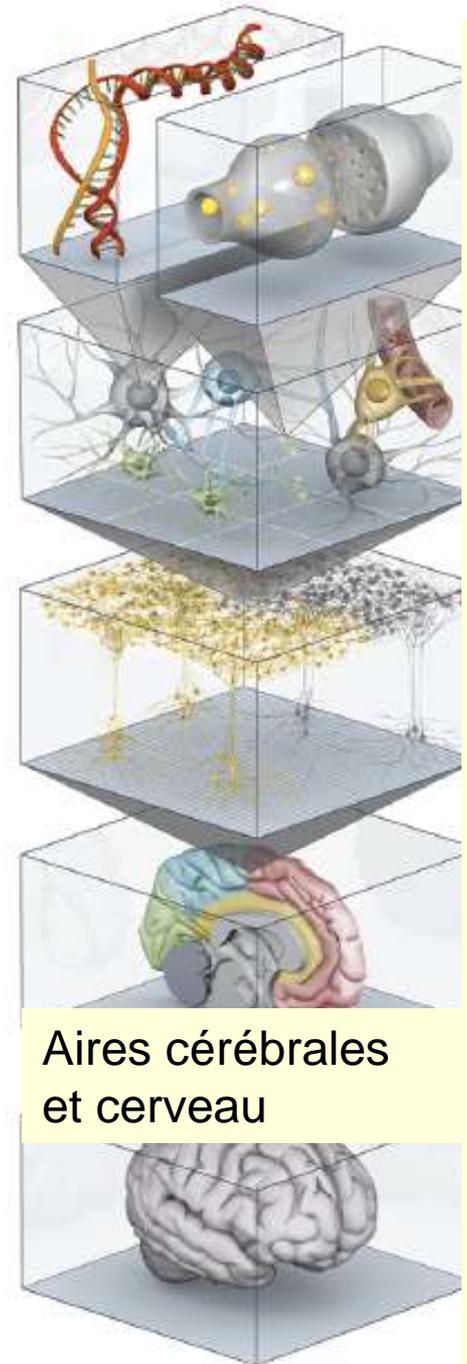
*Homo sapiens* La forme de son cerveau est bien plus sphérique que celle du cerveau de ses ancêtres. L'aire pariétale et le cervelet ont nettement augmenté en taille, avec une forme assez arrondie.

Atomes et  
molécules

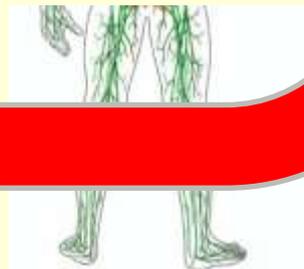
Cellules  
vivantes  
(neurones)

Circuits de  
neurones

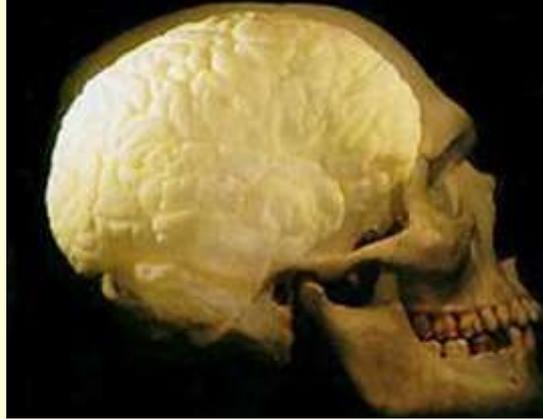
Corps



Aires cérébrales  
et cerveau



Pour comprendre cette évolution très particulière de notre espèce,

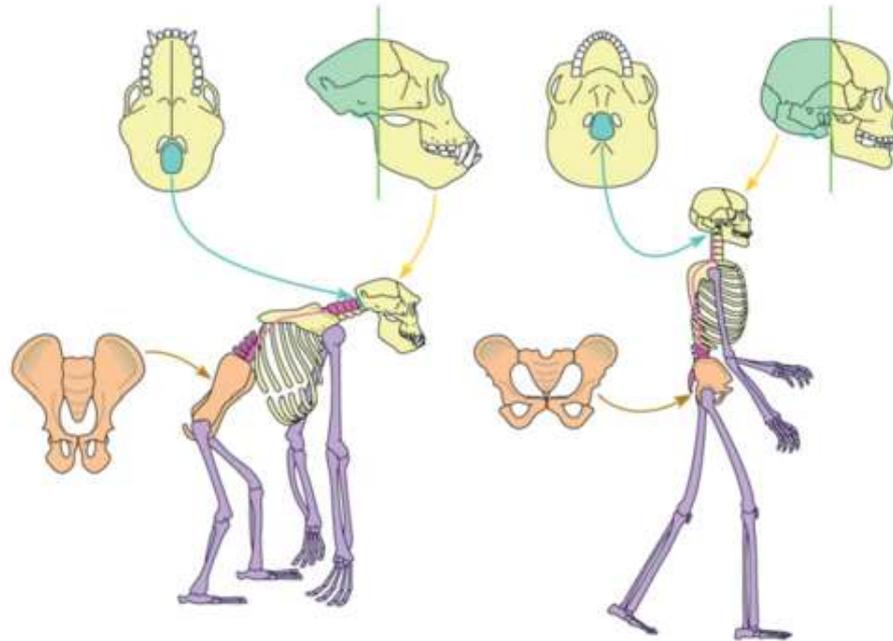


il faut considérer que le **corps** et le **cerveau** ont évolué **ensemble**.

On doit prendre en compte **les deux en même temps** pour comprendre le fait humain.

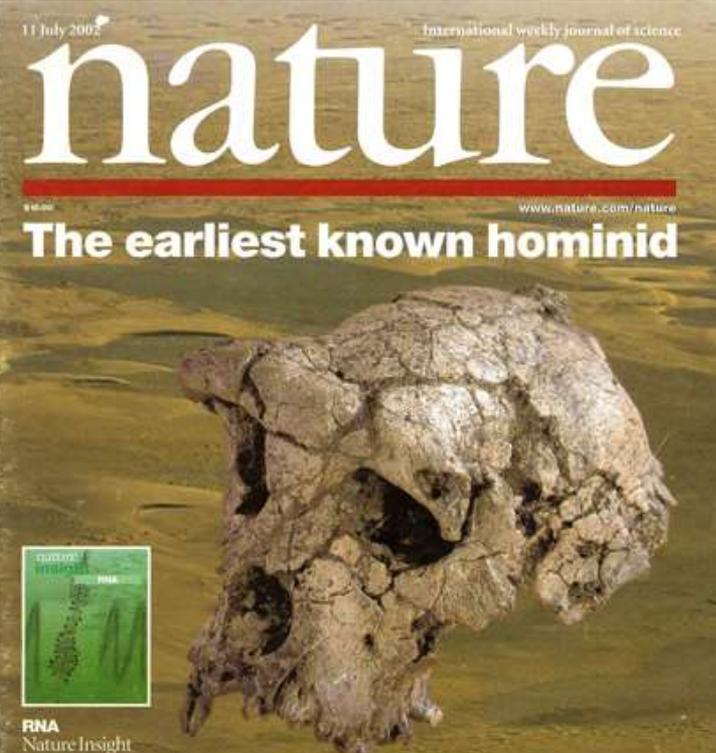
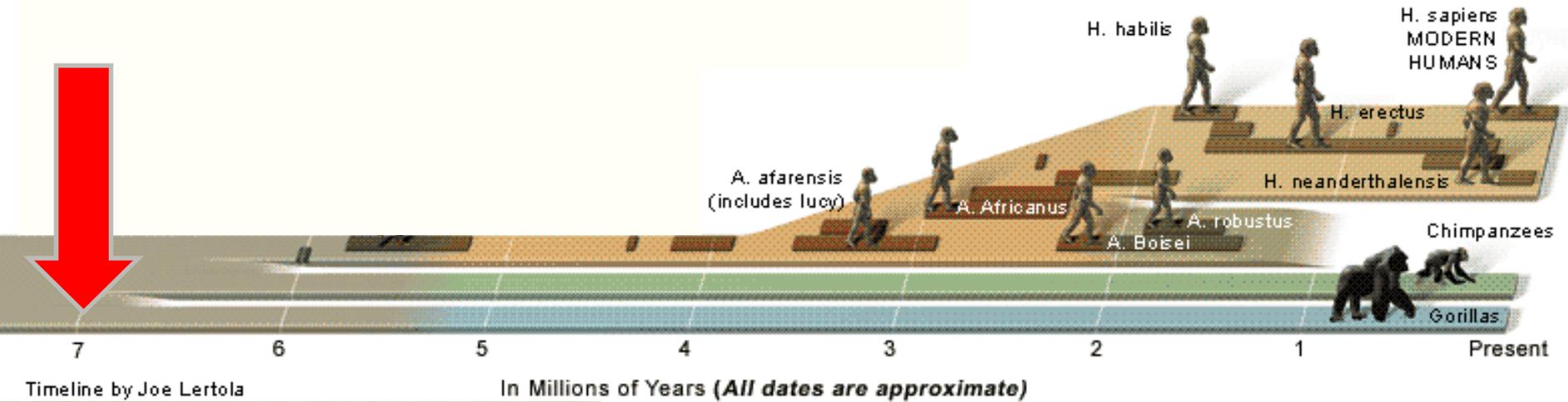
Un point tournant incontournable : **la bipédie ?**

### Les caractères qui distinguent l'Homme et le chimpanzé



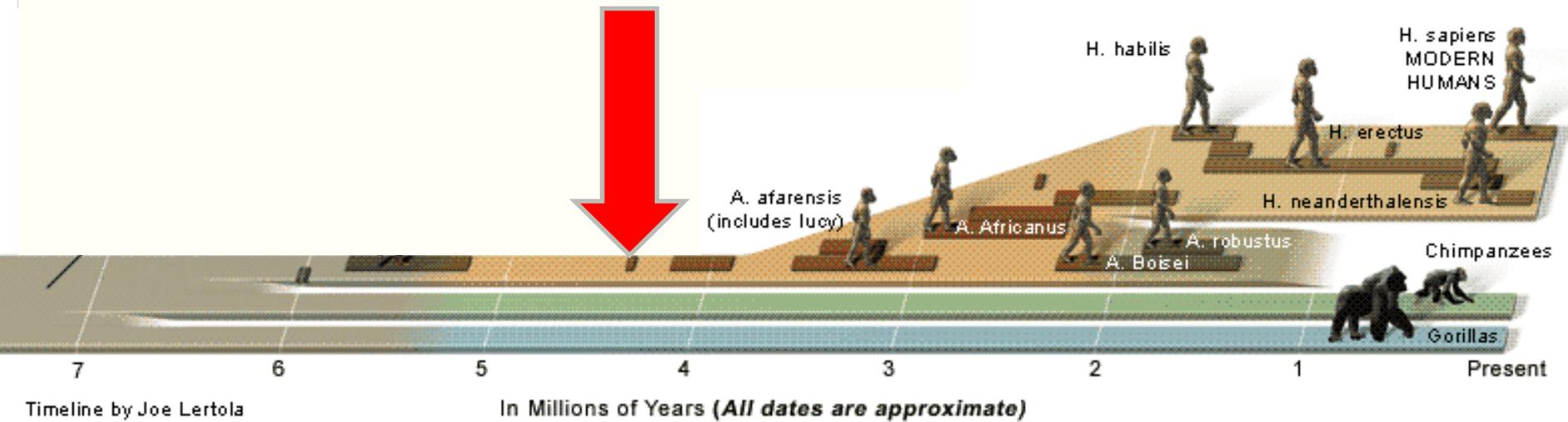
■ colonne vertébrale  
■ position du trou occipital  
■ rapport volume crânien / face

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



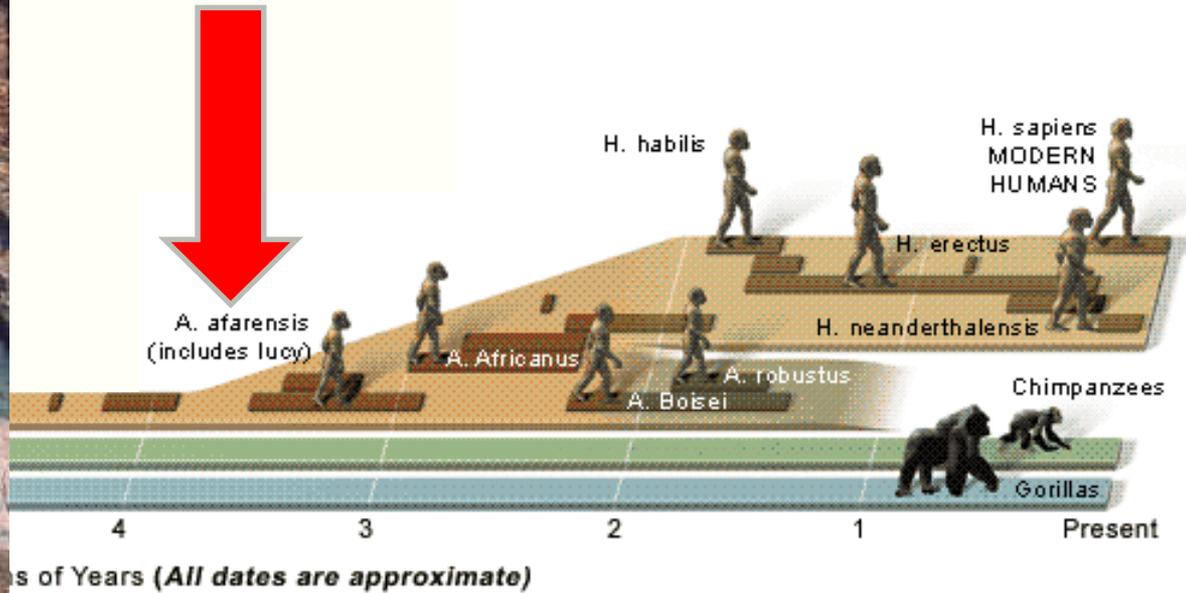
Le premier spécimen fossile de *Sahelanthropus tchadensis* a été surnommé « Toumaï » et son âge est estimé à environ **7 millions d'années**, a été découvert au Tchad par l'équipe de Michel Brunet en juillet 2001.

La bipédie de *Sahelanthropus tchadensis* est **très probable** pour ses découvreurs parce que le trou occipital correspond à celui d'une colonne vertébrale redressée...

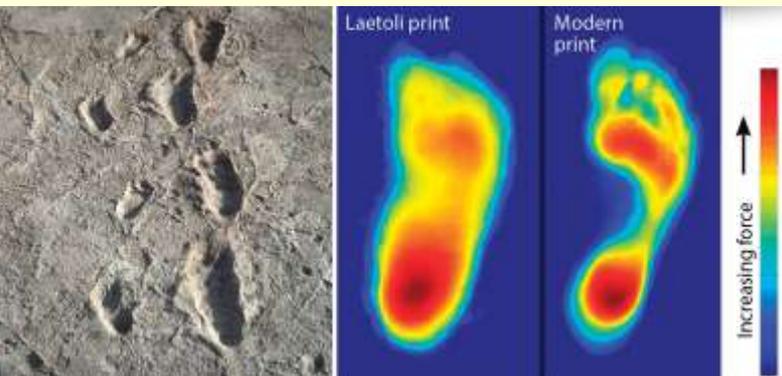


*Ardipithecus ramidus*, qui vivait en Afrique de l'Est au Pliocène inférieur, il y a **4,4 millions d'années**, possède de nombreux traits intermédiaires entre les chimpanzés et *Australopithecus afarensis*.

Il pouvait probablement **marcher debout mais seulement sur de courtes distances.**



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



## Laetoli footprints reveal bipedal gait biomechanics different from those of modern humans and chimpanzees

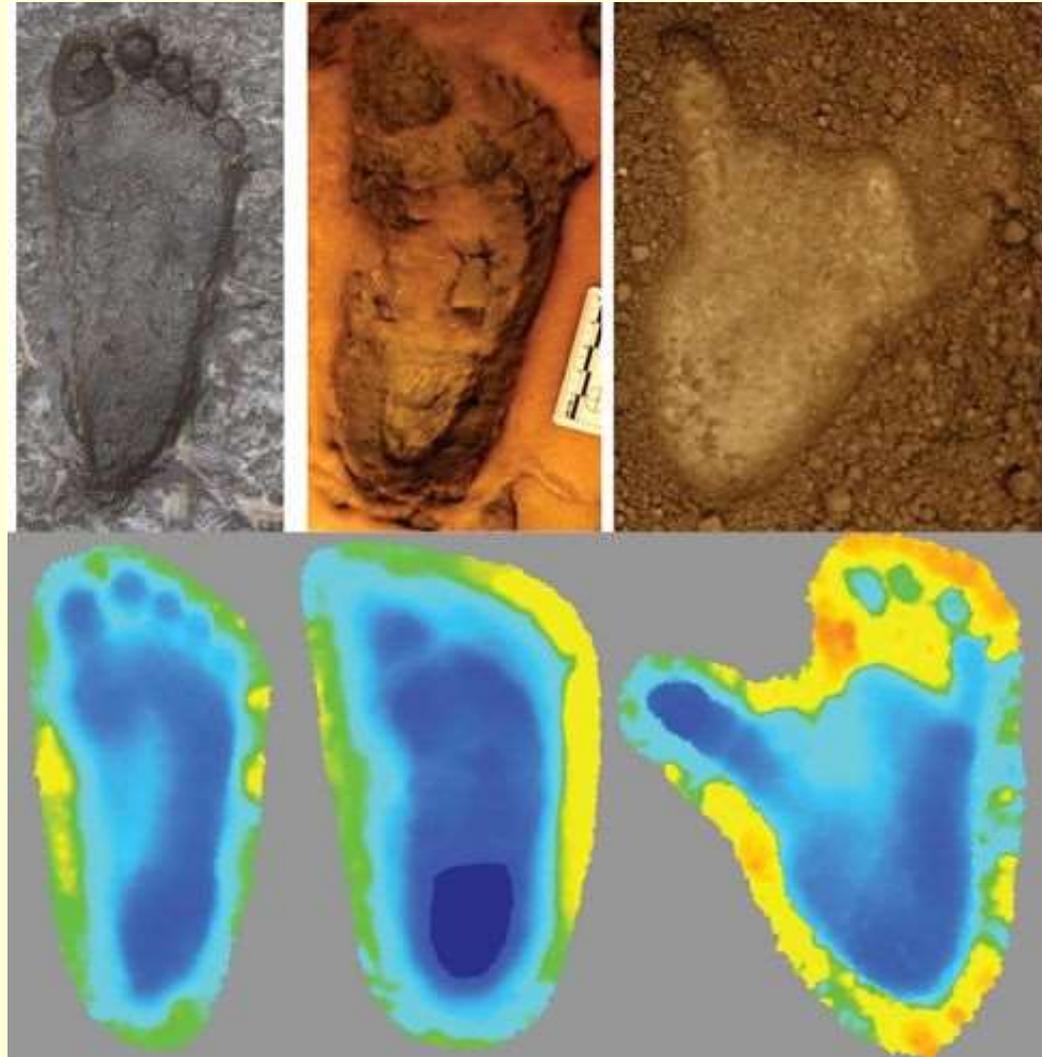
[Kevin G. Hatala](#), [Brigitte Demes](#) and [Brian G. Richmond](#)

17 August 2016

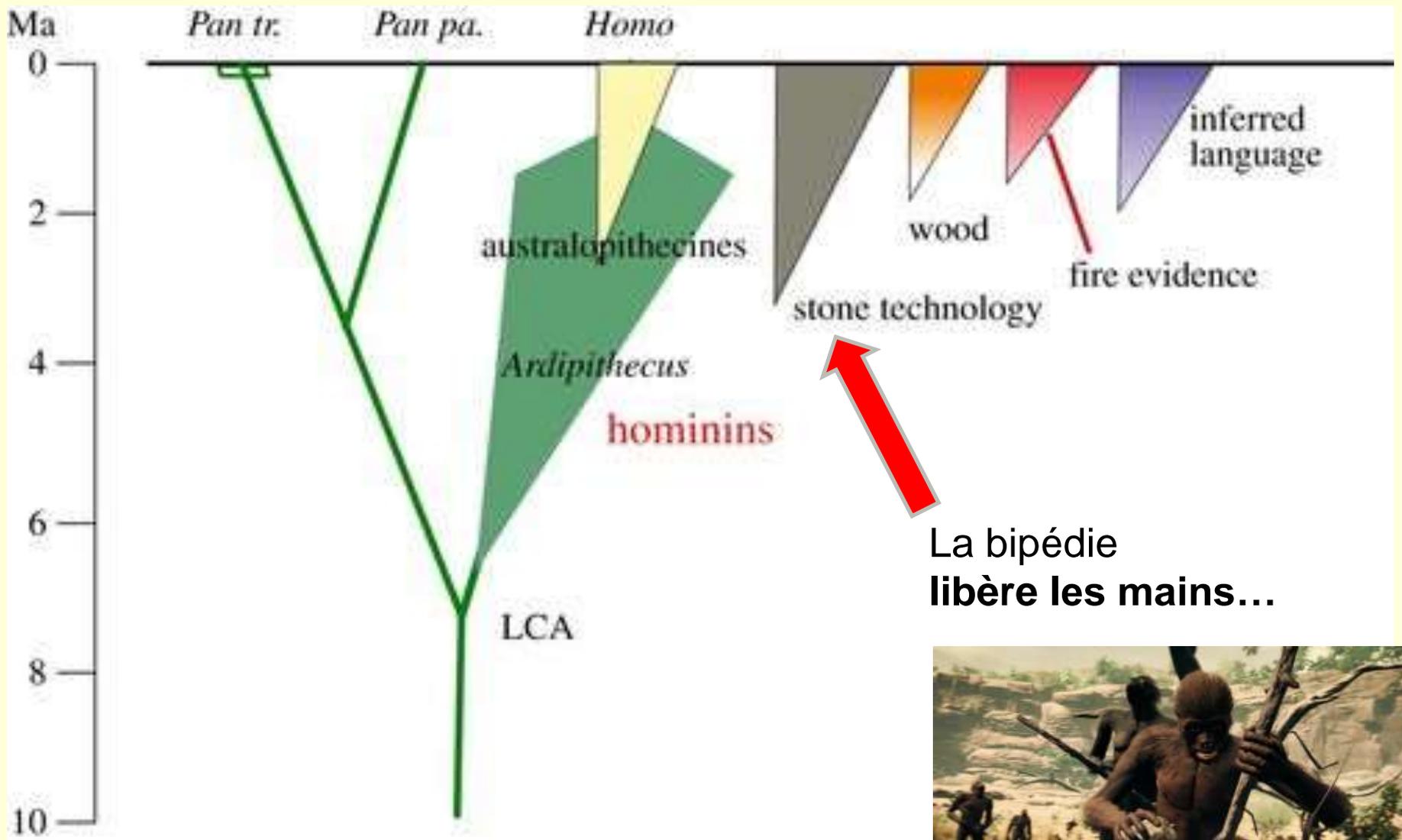
<https://royalsocietypublishing.org/doi/full/10.1098/rspb.2016.0235>

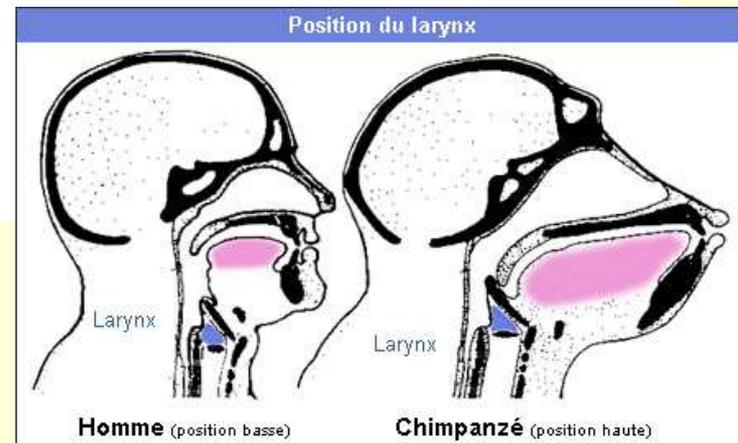
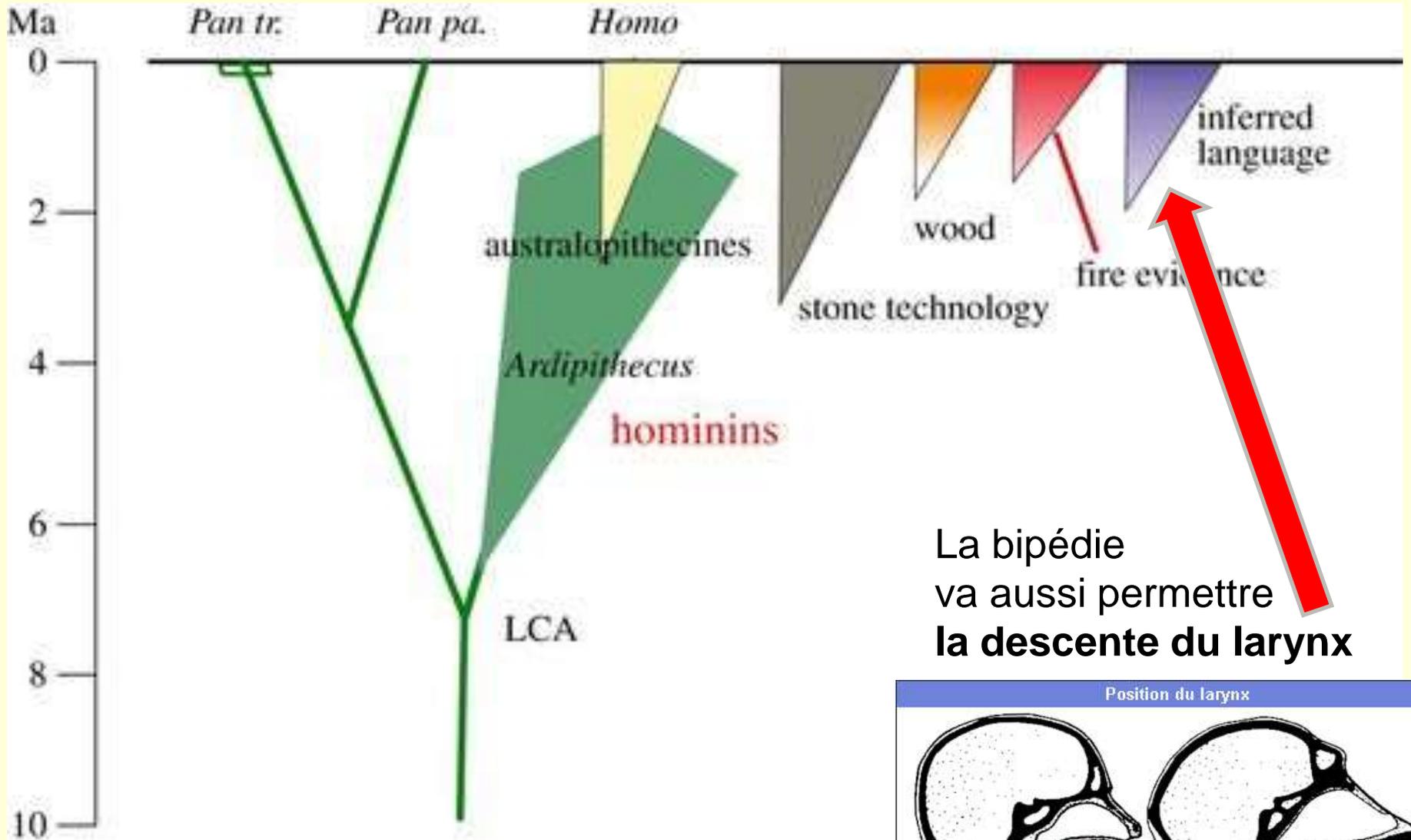
...the ca **3.66 Ma** hominin footprints at Laetoli, Tanzania, provided what is still today **the earliest indisputable evidence of bipedalism** in the human fossil record.

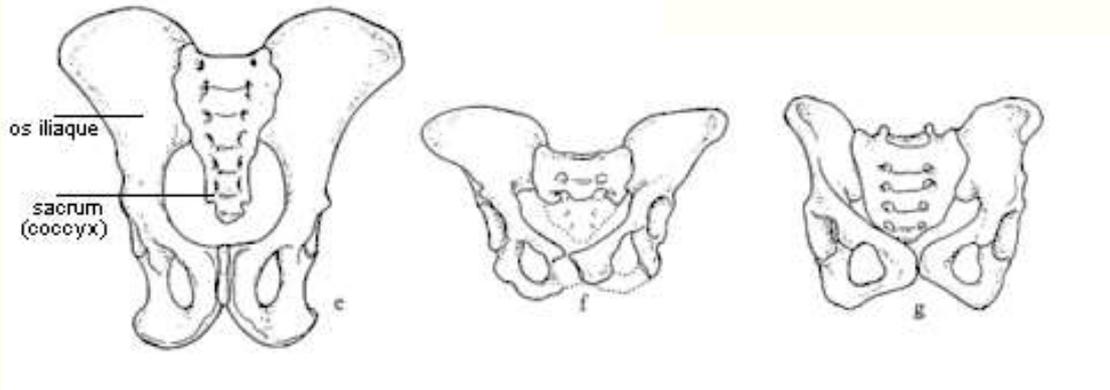
These trackways are widely considered to have been made by ***Australopithecus afarensis***...



Examples of human, Laetoli hominin and chimpanzee footprints.







Chimpanzé

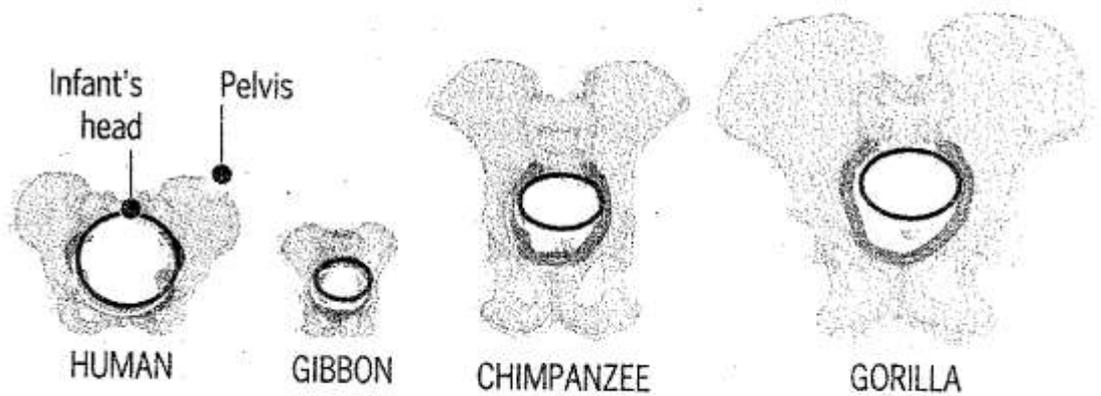
Australopithèque

Humain

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

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

**INFANT'S HEAD DIMENSION AND MOTHER'S PELVIS**



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

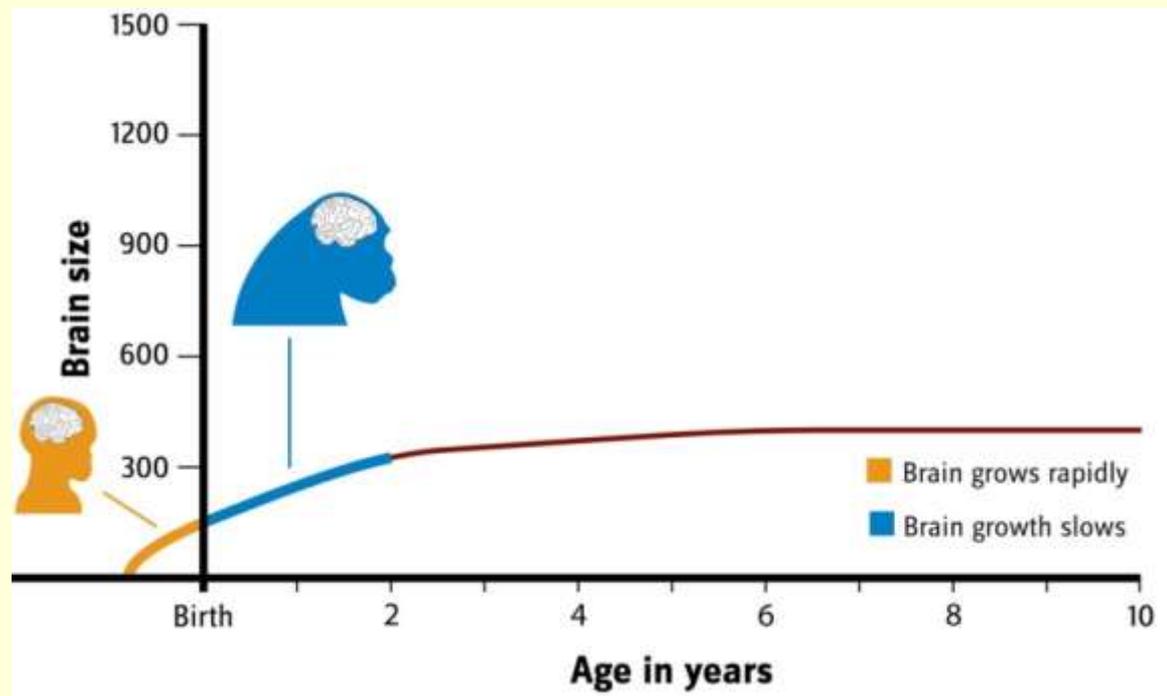
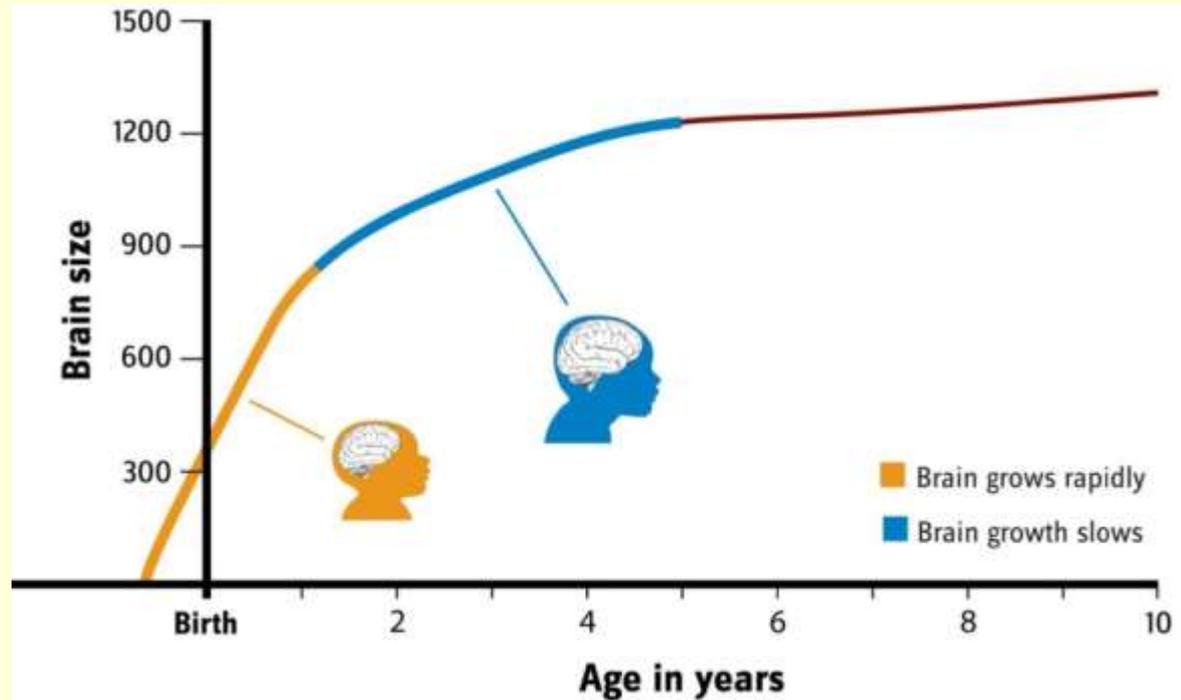
GLOBE STAFF GRAPHIC/JOAN McLAUGHLIN

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

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

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

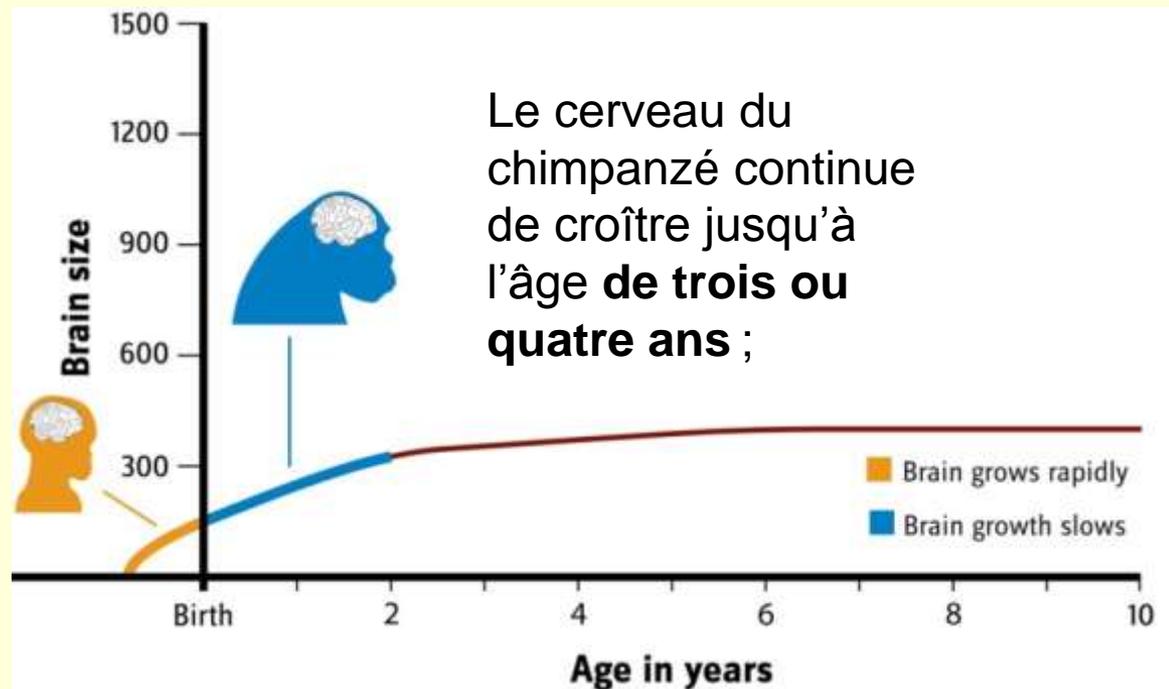
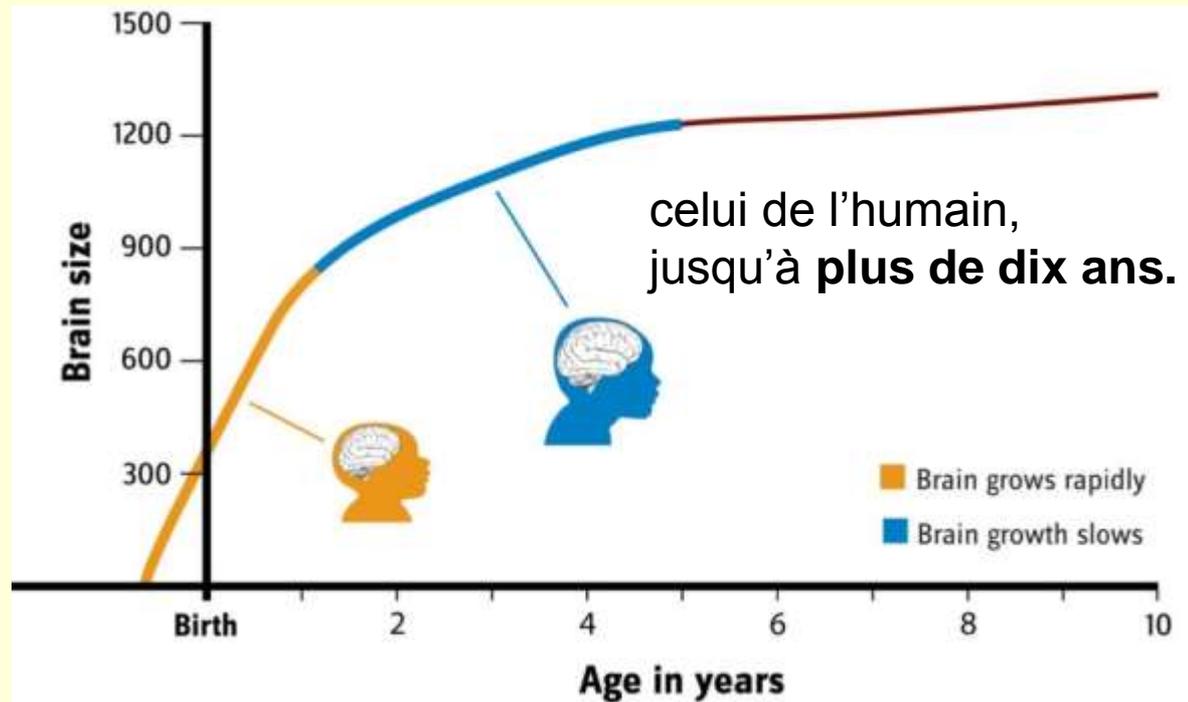
Pour atteindre ce même niveau, la grossesse humaine devrait durer **16 mois !**



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

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

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



Atomes et  
molécules

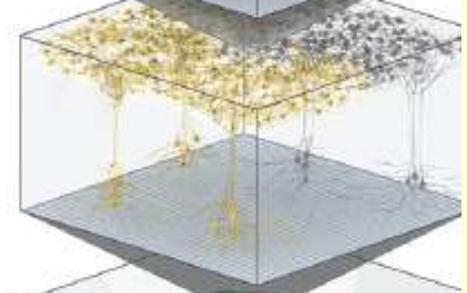
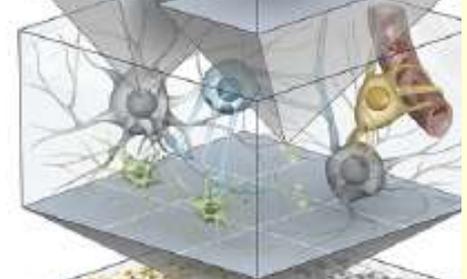
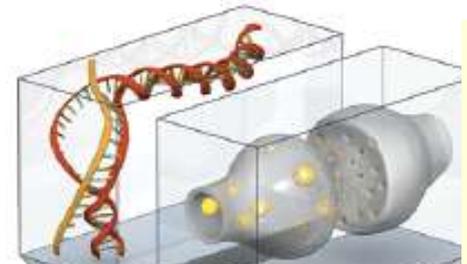
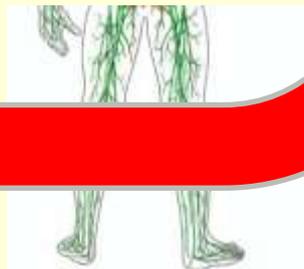
Cellules  
vivantes  
(neurones)

Circuits de  
neurones

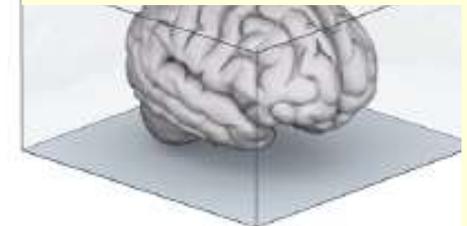
Social  
(cerveau-corps-environnement)



Corps



Aires cérébrales  
et cerveau



À cause de cette période prolongée de dépendance juvénile chez l'humain, élever un enfant est considérablement **plus coûteux sur le plan biologique qu'élever un petit primate.**

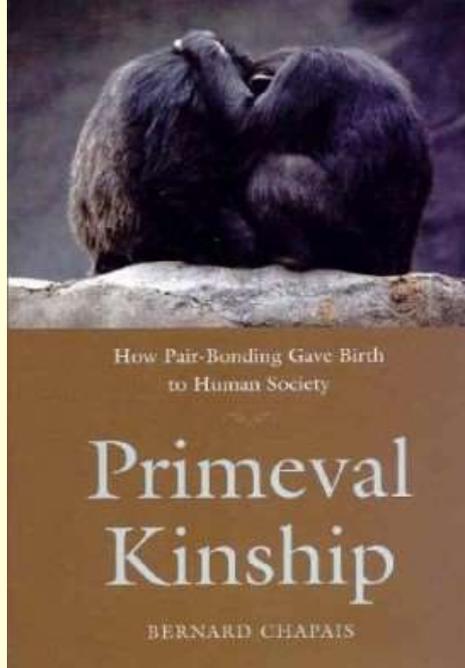
Et comme les mères humaines prennent soin de cette progéniture à développement lent jusque tard dans l'adolescence, il arrive souvent qu'elles élèvent plusieurs enfants dépendants simultanément.



L'approvisionnement des enfants, passé l'âge du sevrage, n'existe pas chez les autres primates.

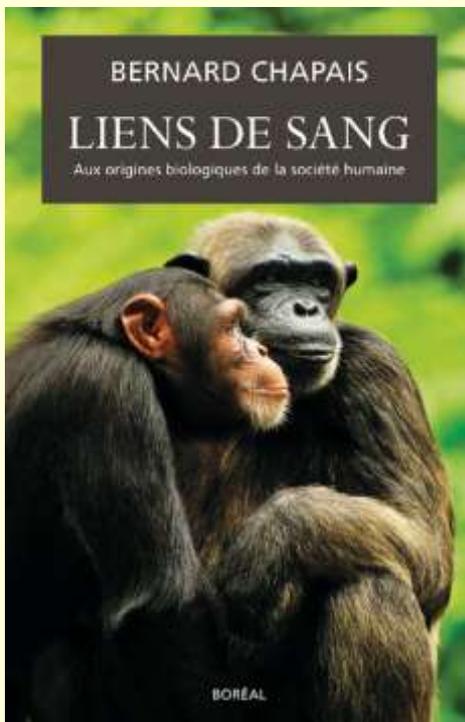
Les soins maternels constituent donc une activité essentiellement **séquentielle** dans la vie des mères primates.

**La contribution du père aux soins parentaux** chez l'humain va ainsi devenir déterminante.



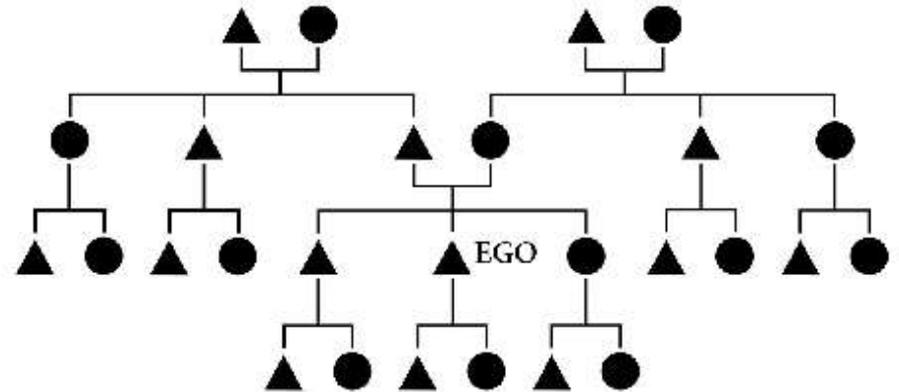
Ce qui précède et ce qui va suivre est tiré des travaux de l'anthropologue et primatologue montréalais **Bernard Chapais** dont vous pouvez lire une synthèse remarquable dans ses livres **Primeval Kinship** (2008) et **Liens de sang** (2015).

Chapais y rappelle donc l'importance de la **coopération parentale** dans l'évolution de la famille humaine qui a maintes fois été démontrée.

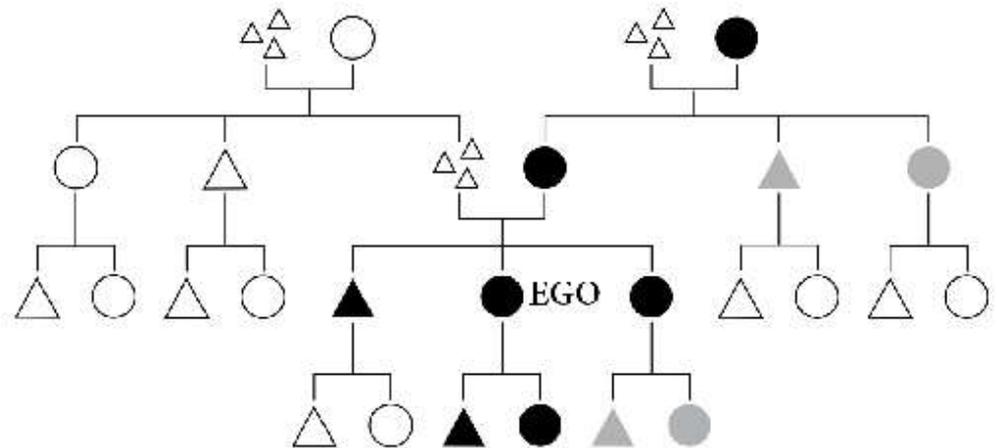


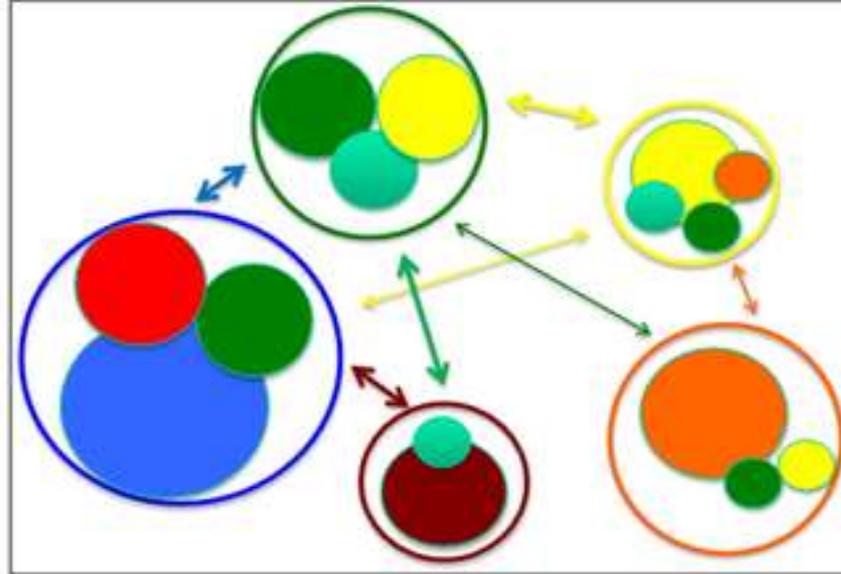
Concrètement, cela a amené la formation d'un **couple monogame stable** durant plusieurs années qui va ainsi distinguer l'espèce humaine de ses plus proches cousins (chimpanzés et bonobos).

Ce phénomène nouveau va en amener un autre d'une grande importance : la **reconnaissance étendue de la parenté**, unique à chez l'espèce humaine.

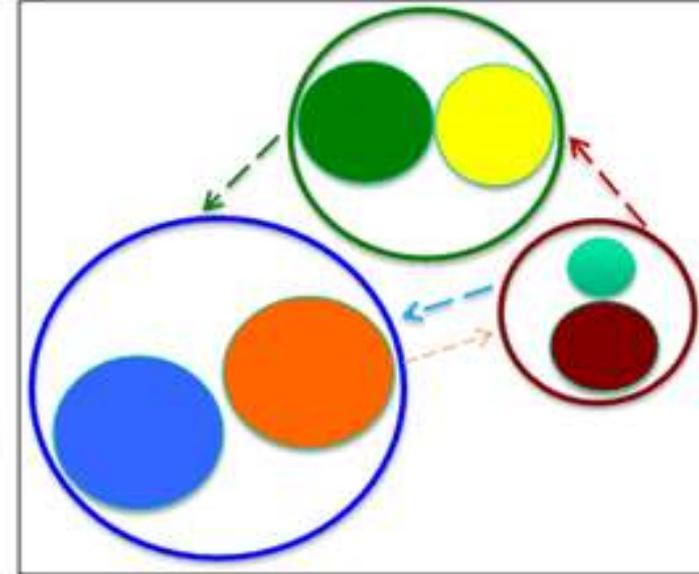


Car cela n'est pas le cas chez les autres primates (les chimpanzés par exemple où la promiscuité sexuelle fait en sorte que les petits, élevés par leur mère, ne savent pas qui est leur père).





Humans



Other primates

La structure sociale humaine d'**exogamie réciproque** :

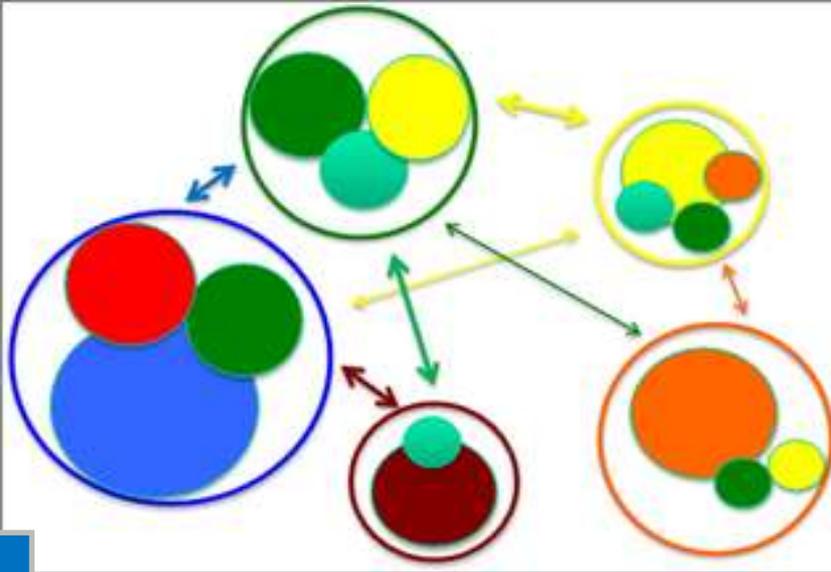
- inclut l'échange de partenaires sexuels, de biens et de services (flèches bi-directionnelles),
- implique de multiples lignées de parenté (cercles pleins) existant souvent dans des communautés résidentielles multiples (cercles ouverts).

Il en résulte une coopération répandue (superposition des cercles pleins) à l'intérieur et entre les communautés humaines.

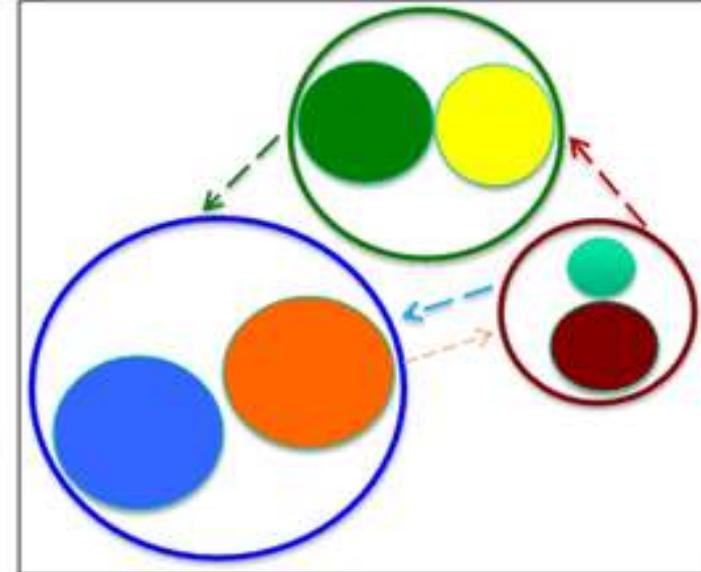
Au contraire, chez les autres primates, mâles ou femelles émigrent (flèches pointillées).

**L'absence d'exogamie réciproque** fait en sorte que les lignées de parenté sont réduites à des communautés simples qui ne génèrent donc pas les "méta-groupes" à l'origine des structures sociales humaines complexes.

Organisation sociale complexe facilitée par...



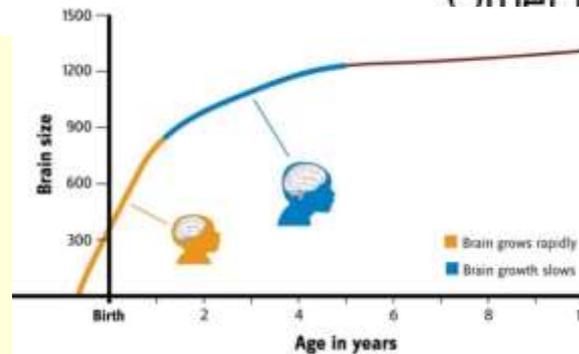
Humans



Other primates

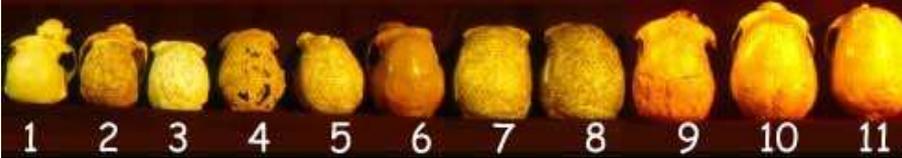


Mais gros cerveau car mature tard...



- bipédie modifie la forme du bassin
- néoténie et dépendance juvénile prolongée
- contribution du père aux soins parentaux
- couple monogame stable
- reconnaissance étendue de la parenté avec l'exogamie reproductive
- pacification + alliances entre groupes complexes

règles sociales complexes: pression sélective pour plus gros cerveau !?

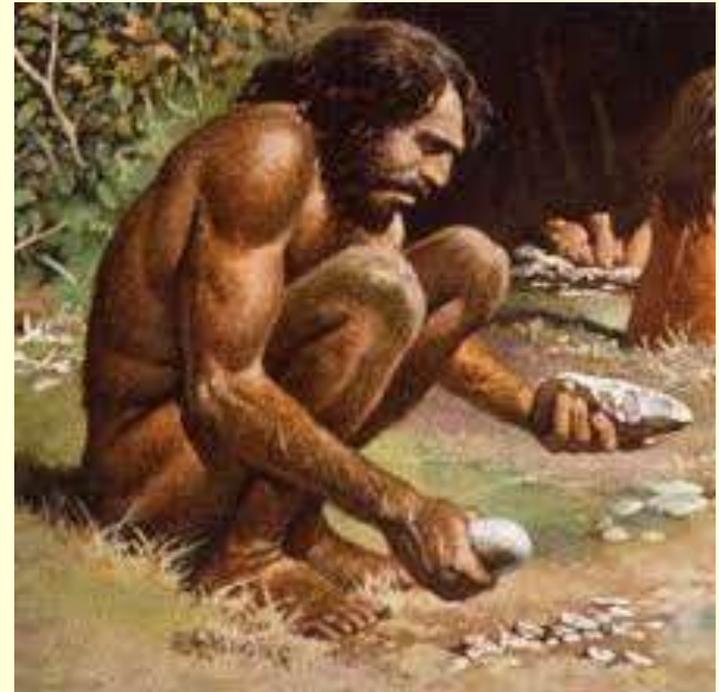


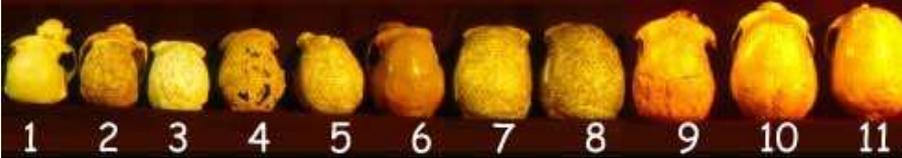
Outre les **règles sociales de plus en plus complexes**, plusieurs phénomènes sont probablement agi de concert (et sont encore débattus) pour expliquer l'expansion cérébrale spectaculaire chez l'humain :

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

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

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





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

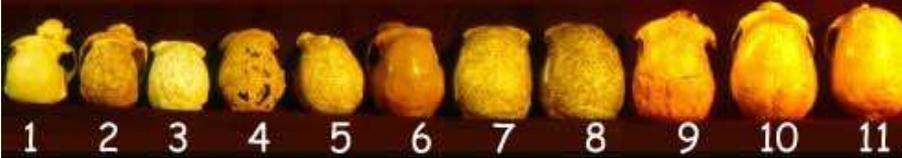
- la **fabrication d'outils** (car elle nécessite précision motrice, mémoire et planification); Les premiers outils seraient datés de 3,3 millions d'années.

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

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

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





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

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

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

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

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

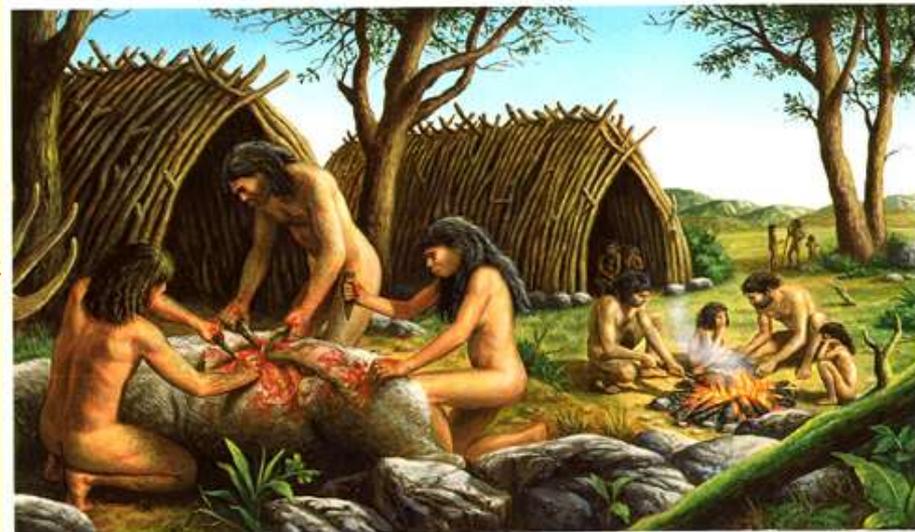
- la **préparation des aliments**

(What Makes Us Human?

Cooking, Study Says. **2012**

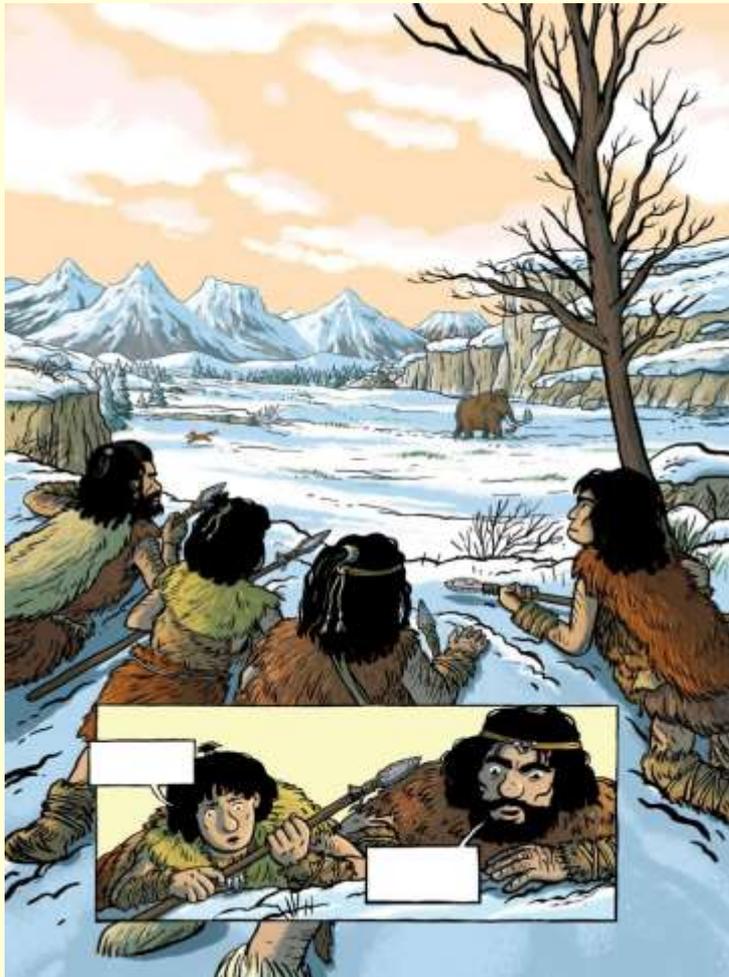
<http://news.nationalgeographic.com/news/2012/10/121026->

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



- l'apparition du langage :

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



**...ou nos idées !**

