

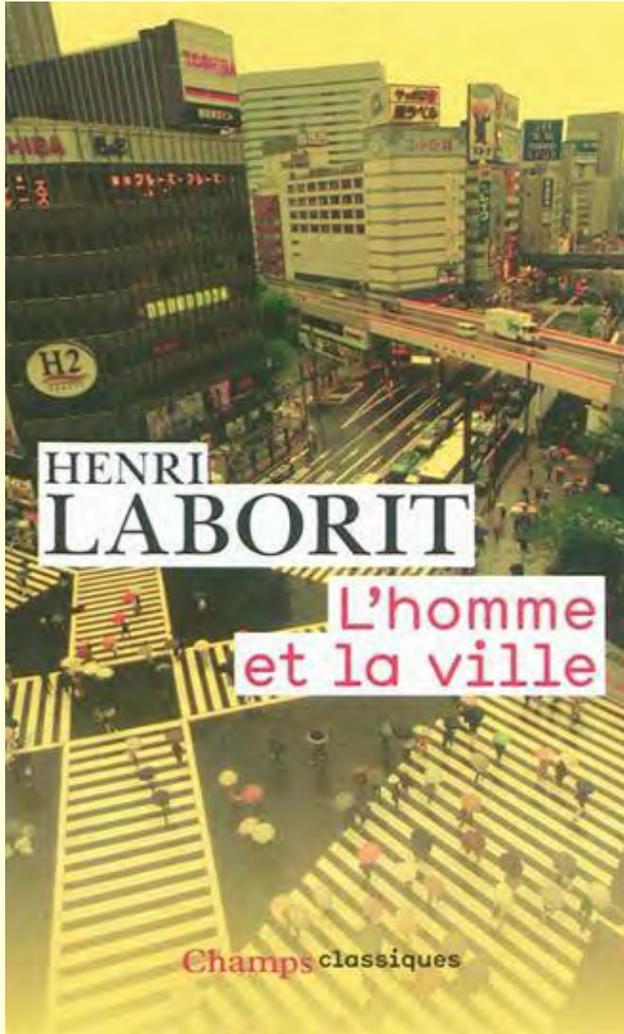
# L'apport des neurosciences... à tous les niveaux !

par Bruno Dubuc

pour l'Université du troisième âge à Valleyfield

8 cours, du 23 septembre au 11 novembre 2015





LES **DÉBROUILLARDS**  
DRÔLEMENT SCIENTIFIQUE !

**QUÉBEC SCIENCE**

# 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 maniaque-dépression
- Les troubles anxieux
- La démence de type Alzheimer

## Le BLOGUE du CERVEAU À TOUS LES NIVEAUX

Chercher dans le blogue

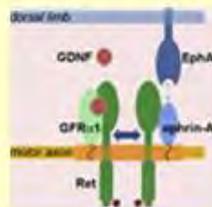
Envoyer

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

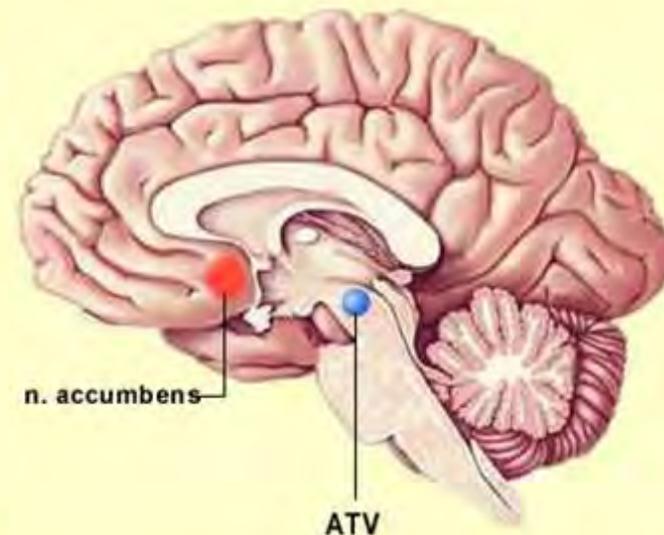


Un stimulus sensoriel qui n'apporte ni récompense ni punition est rapidement ignoré et oublié. C'est le phénomène de l'habituation qui nous fait oublier le contact de nos vêtements avec notre peau ou le tic tac de l'horloge du bureau.

## 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**.

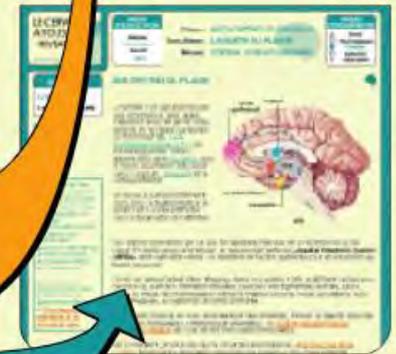
**L'aire tegmentale ventrale (ATV)**, un groupe de neurones situés en plein centre du cerveau, est particulièrement importante dans ce circuit. Elle reçoit de l'information de plusieurs autres régions qui l'informent du niveau de satisfaction des besoins fondamentaux ou plus spécifiquement humains.

# 3 niveaux d'explication

**Niveau d'explication**

Débutant  
Intermédiaire  
Avancé

◀ ◻ ▶



# LE CERVEAU À 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

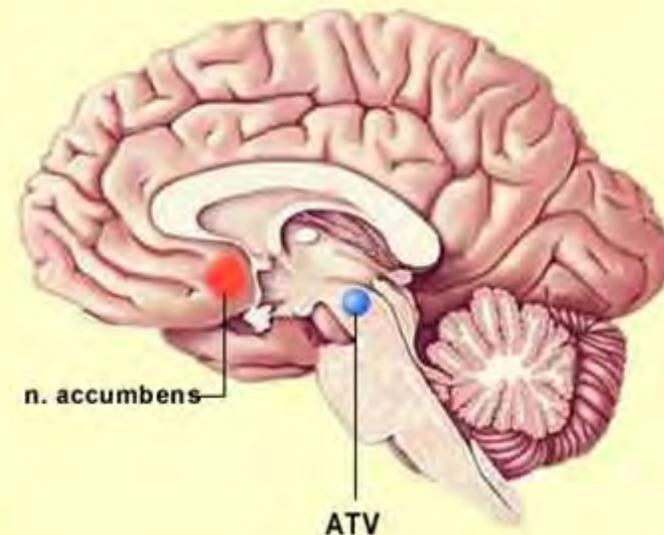
L'évitement de la douleur



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

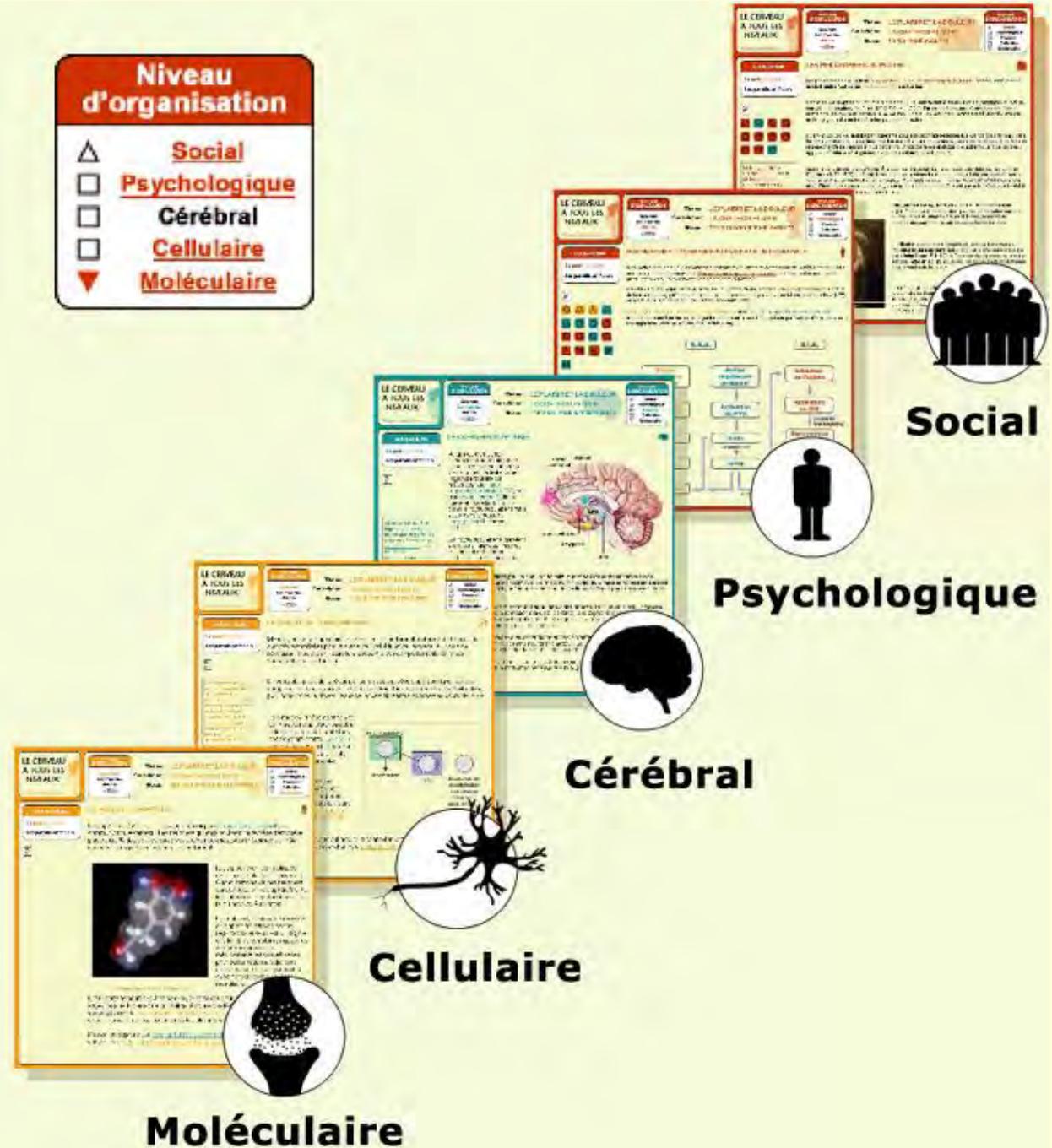
Pour qu'une espèce survive, ses individus doivent en premier lieu assurer leurs fonctions vitales comme se nourrir, réagir à l'agression et se reproduire. L'évolution a donc mis en place dans notre cerveau des régions dont le rôle est de "récompenser" l'exécution de ces fonctions vitales par une sensation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

# 5 niveaux d'organisation





Accueil

L'Institut

Études

Recherche

Membres

Communication

Nous contacter

» Conférences

» Instituts d'été

» Cognitio



PERCEPTION  
ET ACTION

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



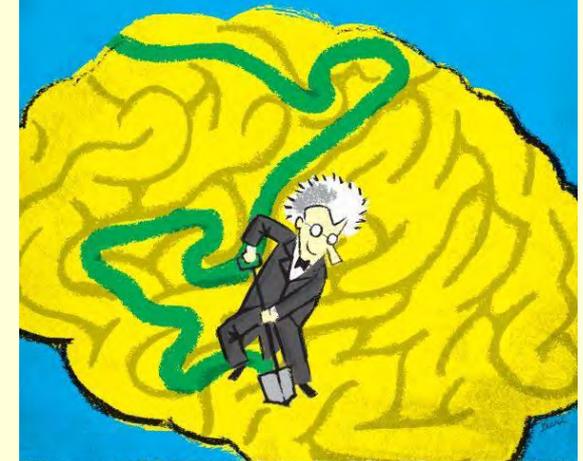
Cet hiver, le séminaire interdisciplinaire portera sur les Grands débats actuels en sciences cognitives. Il sera question des concepts, thèses et méthodes qui suscitent de vifs débats encore aujourd'hui comme la notion de modularité, le rôle de l'évolutionnisme dans la compréhension de l'esprit, et bien d'autres. Dans la mesure du possible, ces questions seront introduites et discutées du point de vue des différentes disciplines constituant les sciences cognitives (philosophie, psychologie, linguistique et informatique).

- Luc Faucher et Pierre Poirier
- Horaire pour l'hiver 2013 : jeudi de 18 h à 21 h
- Séminaire de 2e cycle ouvert à tous les étudiants des cycles supérieurs, étudiants libres et hors UQAM.
- Information : [www.isc.uqam.ca](http://www.isc.uqam.ca)

## ÇA FAIT 10 ANS QU'ON S'CREUSE LES MÈNINGES

Foire  
Quiz  
Cinéma  
Historique  
Cocktail

Le vendredi 22 novembre 2013 | De 10 h à 20 h  
Programme complet : [isc.uqam.ca](http://isc.uqam.ca)



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



**La Mort  
se raconte**

**Révolution féministe**

De la chambre à coucher, à l'économie de marché

**Parlons cerveau**

**Plein gaz  
sur le schiste**

**Introduction à  
l'écologie sonore**

**L'éthique dans  
l'assiette**

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)



Donc je ne suis pas prof ni chercheur...



## "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



## OFFRES DE PRÉSENTATIONS SUR LE CERVEAU

Voici une sélection de conférences que je peux présenter dans votre école.



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.

# "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 CERVEAU À TOUS LES NIVEAUX!

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

Recherche :

**Actualités** / **"L'école des profs"**

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

Accueil du site

Recherche :

Lundi, 10 novembre 2014

##### Neurones inhibiteurs : plus qu'un simple frein

Billet par catégorie

Abonnez-vous !

NOUVELLES RÉCENTES SUR LE CERVEAU

**Faire un don**  
nous permet de continuer

Après nous avoir appuyés pendant plus de dix ans, les dons volontaires ont permis le financement du Cerveau à tous les niveaux le 31 mars 2013.

Malgré tous nos efforts (et malgré la générosité de nos donateurs), nous ne sommes pas parvenus à trouver de nouvelles sources de financement. Nous nous voyons contraints de nous en remettre



# Plan du cours

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

**Cours 2:** A- Modèles scientifiques et théorie du neurone  
B- Mise à jour de la théorie du neurone

**Cours 3:** A- Évolution de nos mémoires et rôle de l'hippocampe  
B- Apprendre à associer, de la liste d'épicerie aux championnats de mémoire

**Cours 4 :** A- Cartographier notre connectome à différentes échelles  
B- Imagerie cérébrale et réseaux fonctionnels

**Cours 5 :** A- Des réseaux qui oscillent à l'échelle du cerveau entier  
B- Éveil, sommeil et rêve

**Cours 6 :** A- Penser à partir de ce que l'on perçoit : l'exemple de la lecture, la catégorisation, les concepts, les analogies  
B- Les « fonctions supérieures » : langage, attention, conscience

**Cours 7 :** A- La cognition située dans un « corps-cerveau-environnement »  
B- Exemples de modèles de cognition incarnée (Barsalou, Varela, Eliasmith...)

**Cours 8 :** A- Libre arbitre et neuroscience  
B- Vers une neuropédagogie ?



Moléculaire



Cellulaire



Cérébral



Individu

Psychologie

Corps



Social

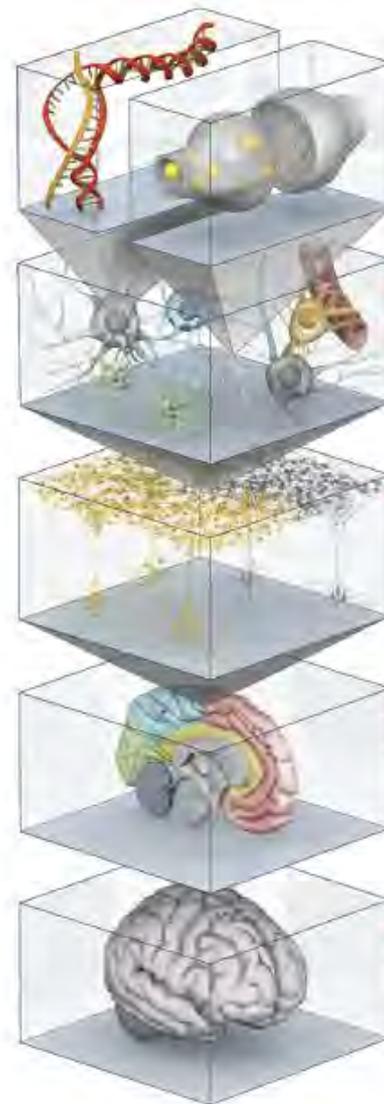
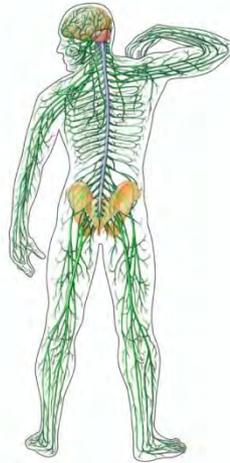
# Cours 1 :

## Tous ces niveaux !

Social  
(corps-cerveau-  
environnement)



De l'individu  
(corps-cerveau)



### Molecular

A century of research, beginning with the first inspection of a brain cell under a microscope, would translate into a digital facsimile that combines component molecular parts to assemble a cell that demonstrates the essential properties of a neuron—the transmission of electrical and chemical signals.

### Cellular

A brain-in-a-box simulation will have to capture every detail of neurons and nonneuronal glial cells, including the exact geometric shapes of the dendrites and axons that receive and send information.

### Circuits

A model of the neural connections between different brain areas and among neighboring cells may furnish clues to the origins of complex brain diseases such as autism and schizophrenia.

### Regions

Major neural substructures—the amygdala (emotions), the hippocampus (memory), the frontal lobes (executive control)—can be inspected alone or as they interact with one another.

### Whole Organ

An in silico brain might substitute for the actual organ. By removing the computer code for a “gene,” the virtual system can, for instance, mimic the effects of a mutation, as scientists do today by “knocking out” a gene in mice. The tool would avoid the lengthy breeding process and could simulate a multitude of experimental conditions.

# L'apport des neurosciences... à tous les niveaux !

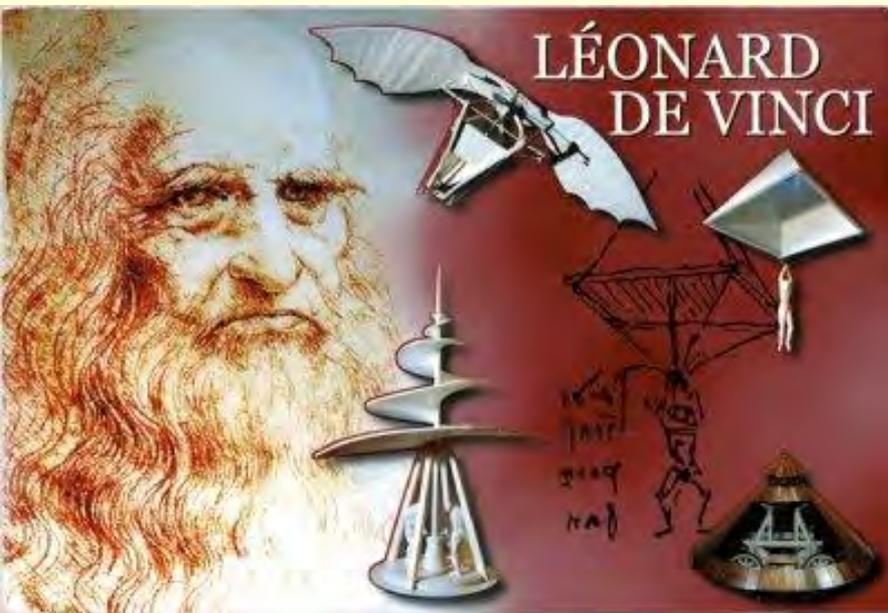
Cours 1 : A- Multidisciplinarité des sciences cognitives

B- D'où venons-nous ?, ou la longue histoire  
de notre système nerveux



En guise d'intro:

## La figure du « **savant universel** »



### **Léonard de Vinci (1452 - 1519)**

Peintre, sculpteur, orfèvre, musicien, architecte, physicien, astronome, géologue, géomètre, anatomiste, botaniste, alchimiste, inventeur visionnaire, ingénieur mécanicien, militaire, horloger, urbaniste, etc.

« Le dernier **savant universel** »,

Henri Poincaré, mort en 1912

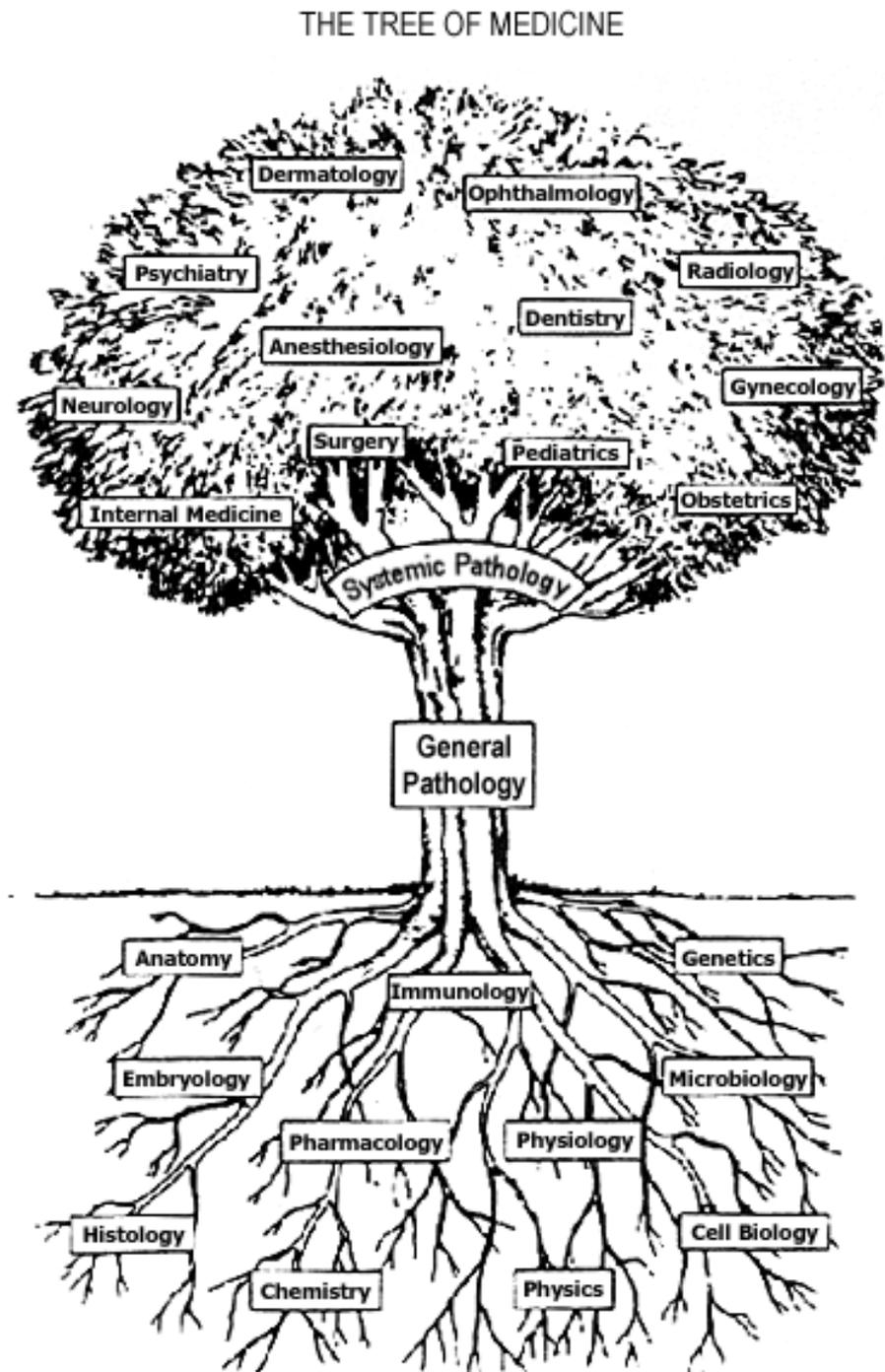
Mathématicien, physicien et philosophe, ce grand scientifique s'était aussi intéressé au sort des mineurs.



Au cours du **XXe siècle**,  
les disciplines scientifiques  
deviennent de plus en plus  
**spécialisées**.

Et le « **spécialiste** » devient  
synonyme de bon scientifique...

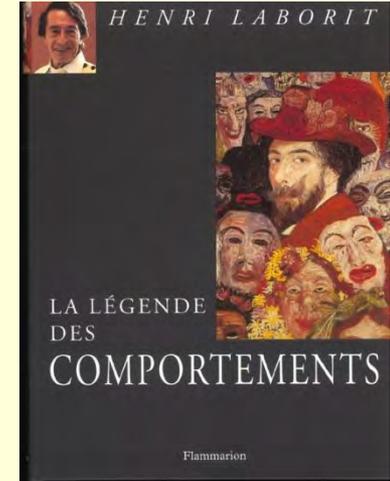
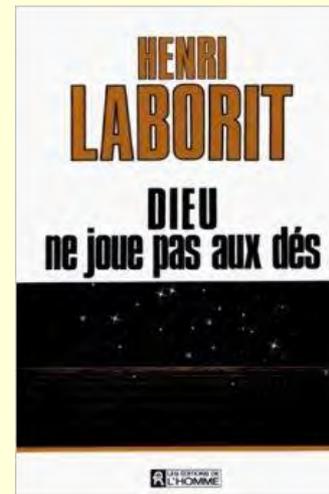
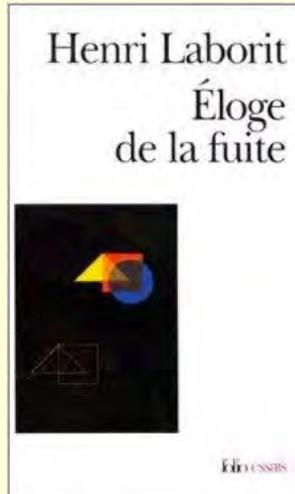
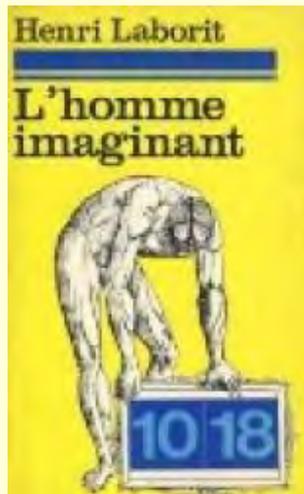
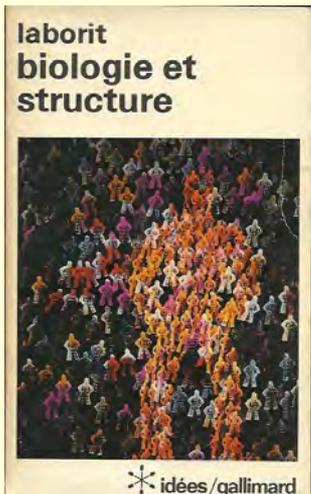
De sorte que toute intrusion  
d'une autre discipline dans  
la sienne était accueillie  
par le « spécialiste » avec  
circonspection, voire avec  
paternalisme ou agressivité!



« Nous avons assisté à la construction d'une tour de Babel dans laquelle grouillait une population de plus en plus nombreuse de **spécialistes** qui n'arrivaient plus à échanger une seule information car leurs **langages** étaient tous **différents** »



Henri Laborit  
(1914 – 1995)



« Nous avons assisté à la construction d'une tour de Babel dans laquelle grouillait une population de plus en plus nombreuse de **spécialistes** qui n'arrivaient plus à échanger une seule information car leurs **langages** étaient tous **différents** »



Henri Laborit  
(1914 – 1995)

Pour Laborit, il faut plutôt s'initier **au langage des autres disciplines**, non pas pour leur technique - cela demande des années, voire une vie –

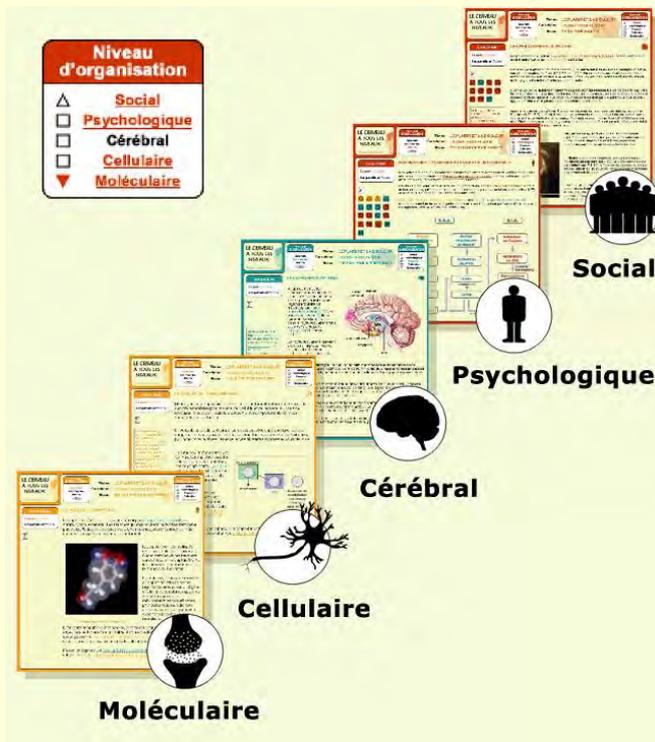
mais pour leurs concepts, afin **d'échapper aux limites conceptuelles de notre propre domaine.**

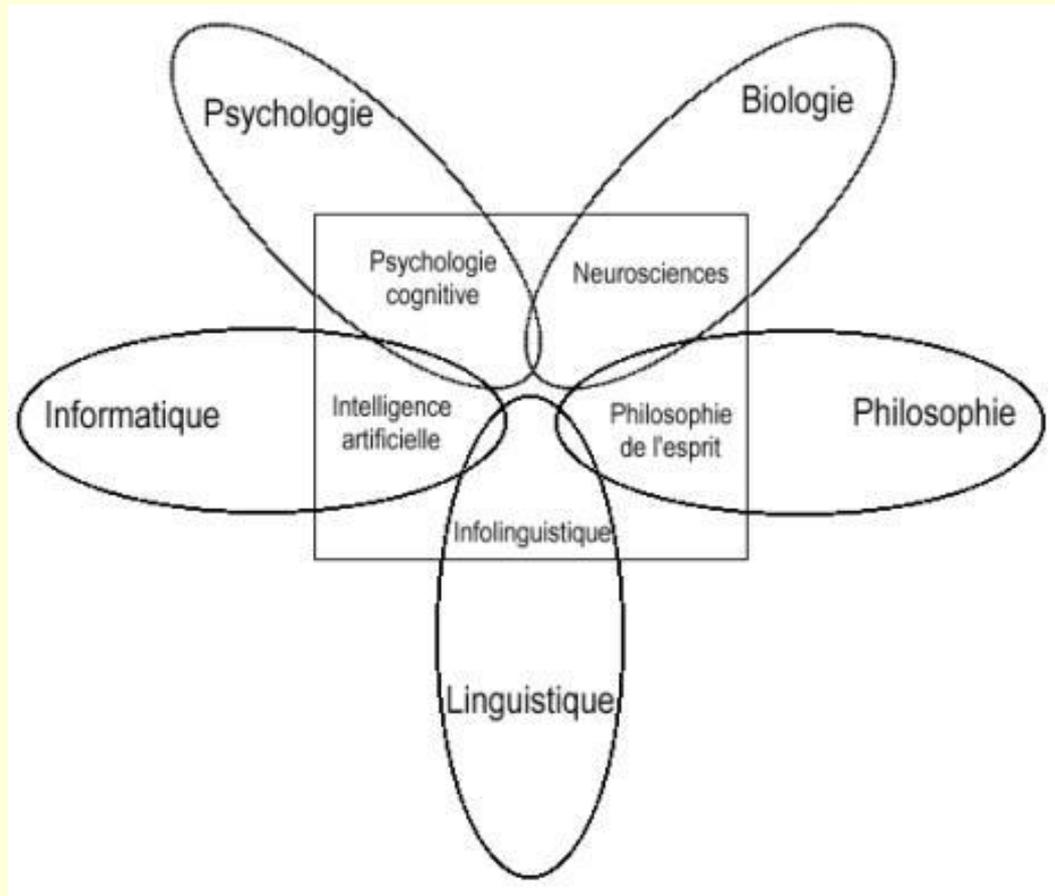


Henri Laborit (1914 – 1995)

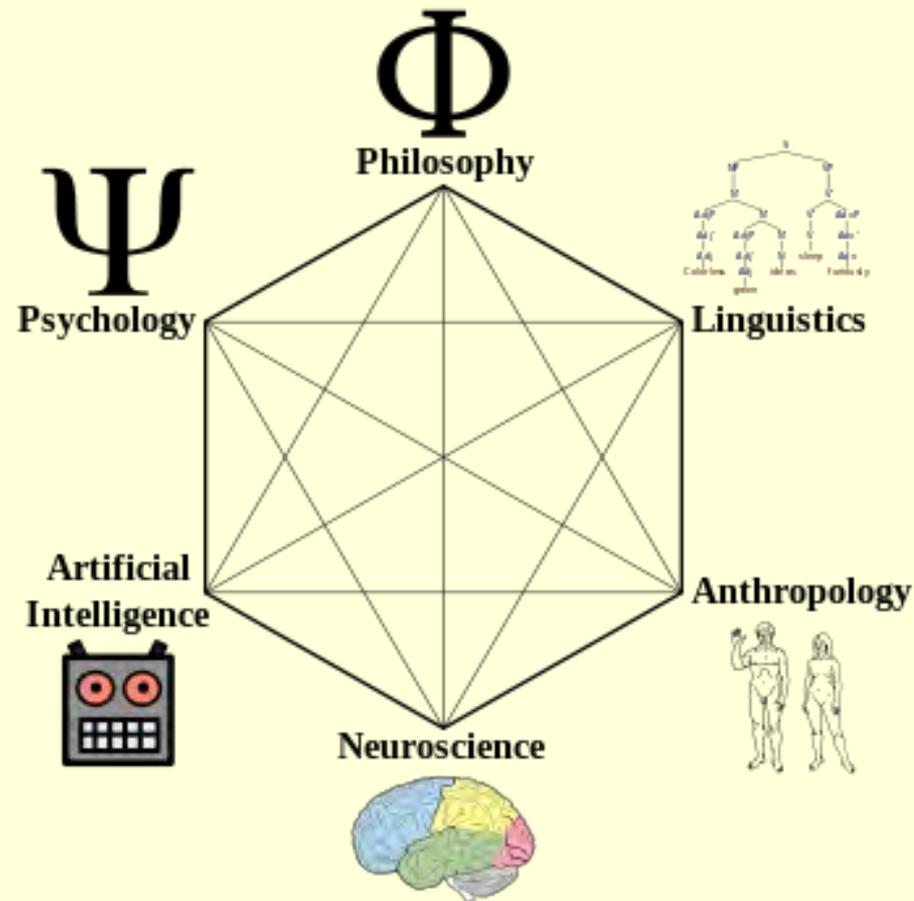
« Actuellement [en **1975**] est en train de se bâtir une façon d'interpréter le comportement humain en situation sociale qui prend ses bases dans les molécules et qui, **de niveaux d'organisation en niveaux d'organisation**, [...], permet d'interpréter de façon assez nouvelle les comportements humains. »

(Archives de la RTS, *Voix au chapitre*, 7 avril 1975)



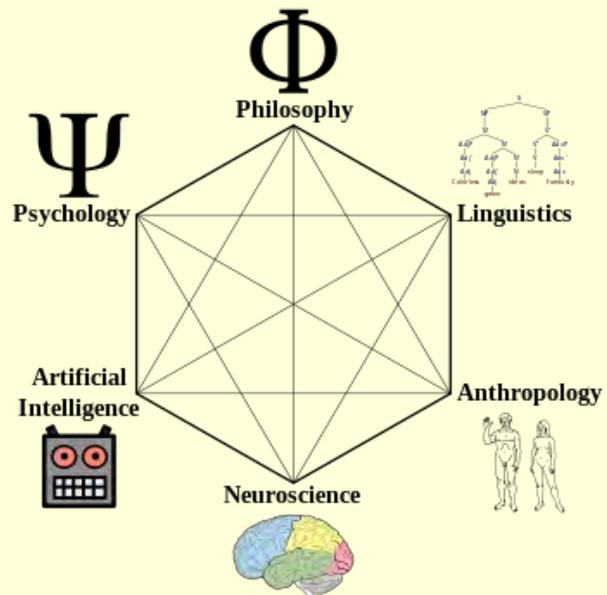


C'est ainsi que vont se constituer les « **sciences cognitives** »,



un ensemble de disciplines qui cherchent à comprendre ensemble les processus de notre **pensée** permettant la **connaissance**.

Sauf que...



Comme on l'a dit, ce n'est pas toujours facile de bien se comprendre entre différentes disciplines.



ON PARLE LA MÊME  
LANGUE, MAIS ON NE DOIT  
PAS PARLER LE MÊME  
LANGAGE.



Comme ce n'est pas toujours facile de se comprendre entre différents groupes humains.





*Science politique*



*Sociologie*

*Anthropologie*



*Science politique*

*Sociologie*

*Anthropologie*

Malheureusement, plusieurs de ces « sciences humaines » se coupent encore trop souvent d'autres disciplines, **en particulier des sciences cognitives**, qui ont des choses à dire sur les individus qui forment ces groupes sociaux :

c'est-à-dire les être humains avec un cerveau humain  
et un corps avec qui il fait... corps !



**Une chose est sûre, c'est qu'on baigne dans les interactions sociales toute notre vie.**

De l'enfance dans notre famille...



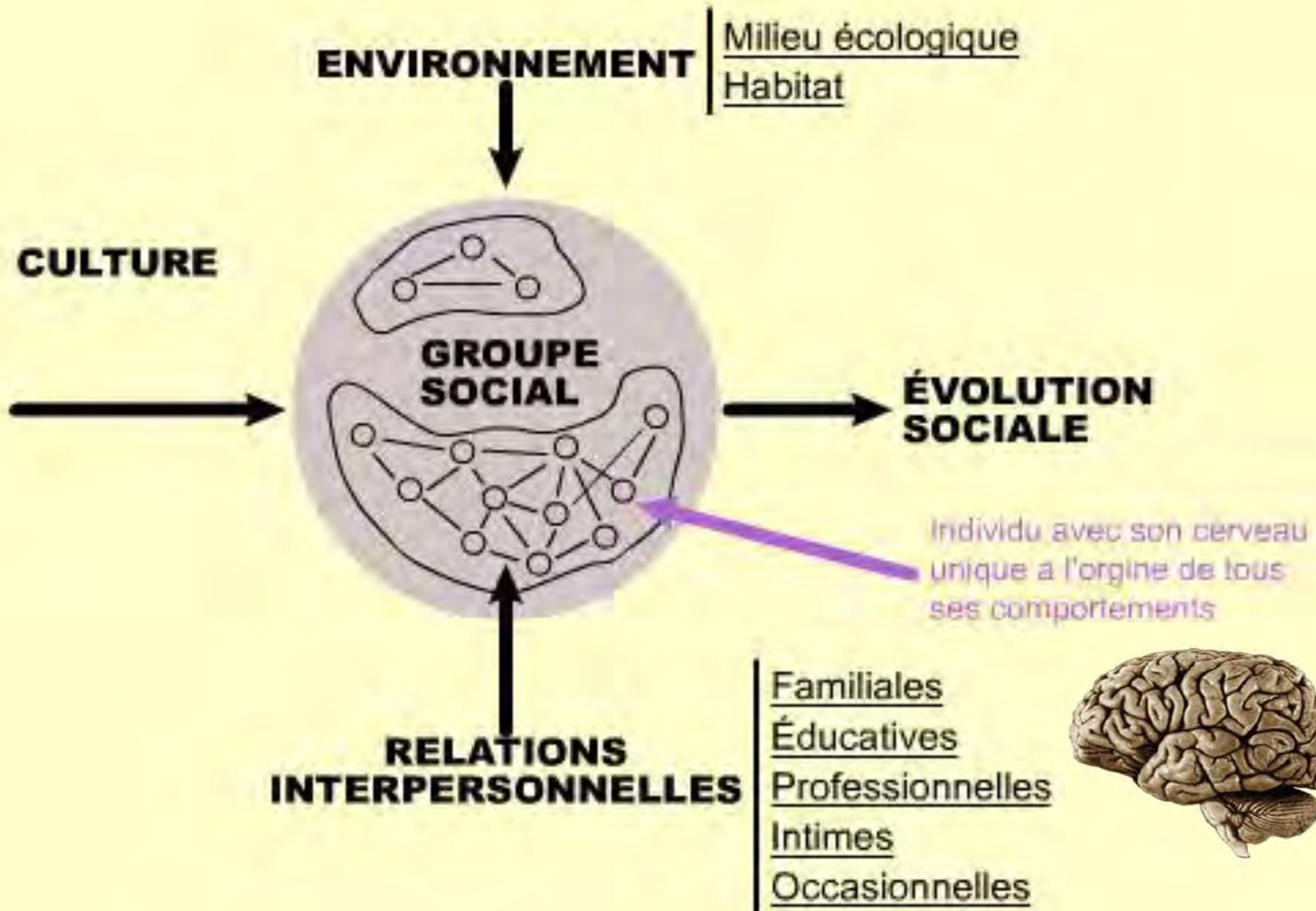
...à notre adolescence avec nos ami.es...



...à notre vie adulte  
avec nos conjoints ou  
nos collègues de travail...



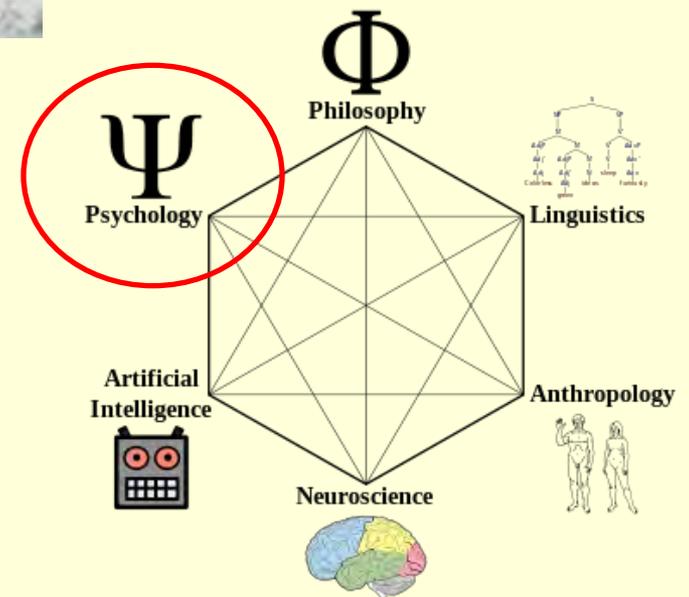
...et jusqu'à un âge avancé...





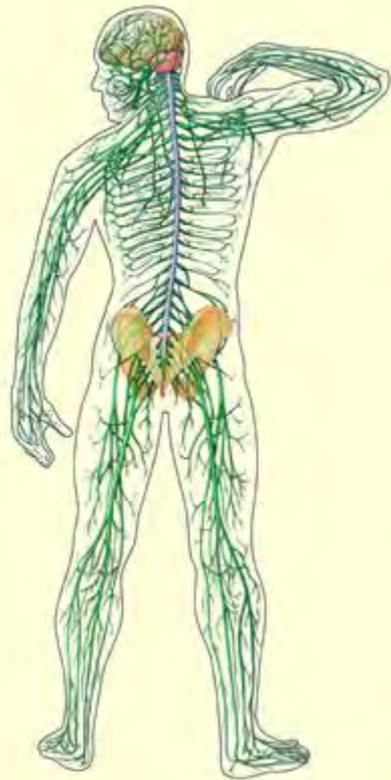
*La **psychologie** d'un individu va donc être grandement influencée par son environnement*

*(au sens large, mais où les autres humains sont très importants).*



Mais ce n'est pas la seule chose qui influence / détermine nos comportements.





Plans généraux  
du système nerveux  
provenant de nos gènes

Action



Influence de  
l'environnement

Perception

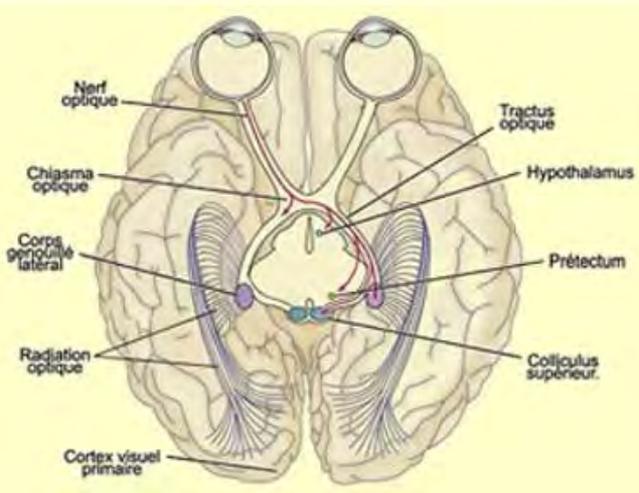
Cerveau unique à l'origine  
de tous les comportements  
d'un individu

**Notre biologie**  
(notre « nature »)



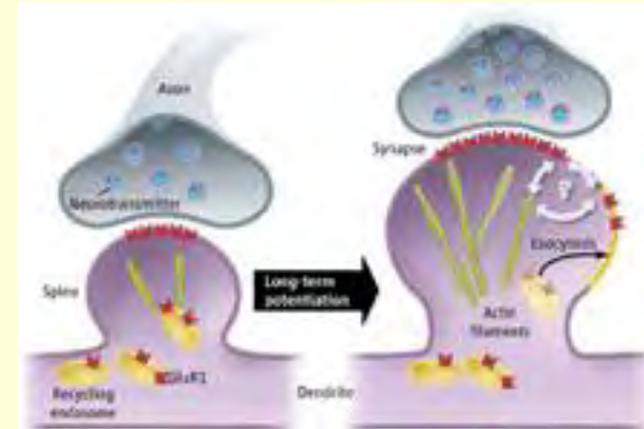
**Nos  
apprentissages  
socio-culturels**  
(notre « culture »)

# Le vieux débat « nature / culture »



Jean-Pierre Changeux

Début du  
XXIe siècle



« une grande part de l'organisation du cerveau est **innée** : les axones venant de la rétine vont toujours au corps genouillé latéral, etc... »

« ...mais des processus de **plasticité** génèrent de la variabilité à plusieurs niveaux (molécule, réseaux neurones) »

# Le vieux débat « nature / culture »

100%

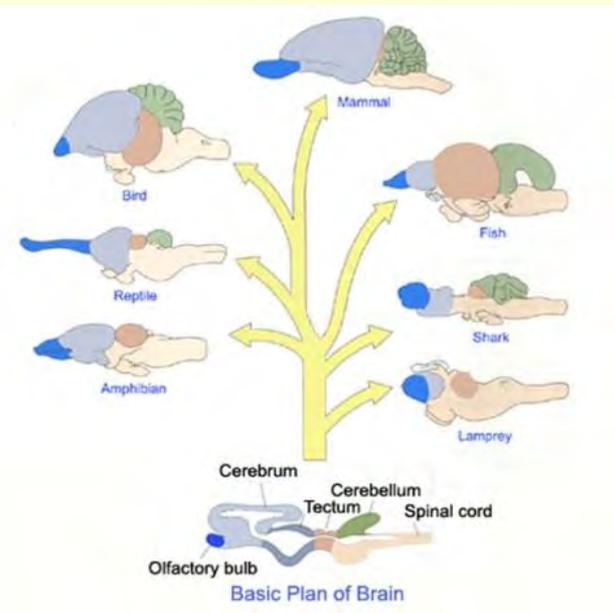
## Inné

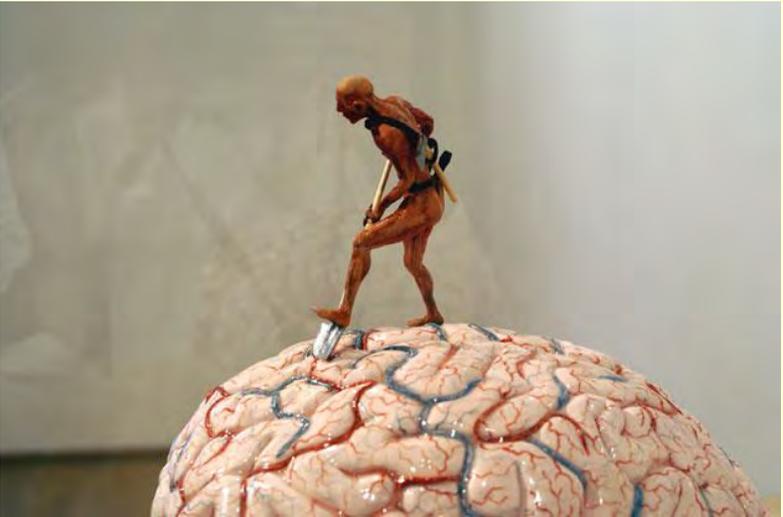
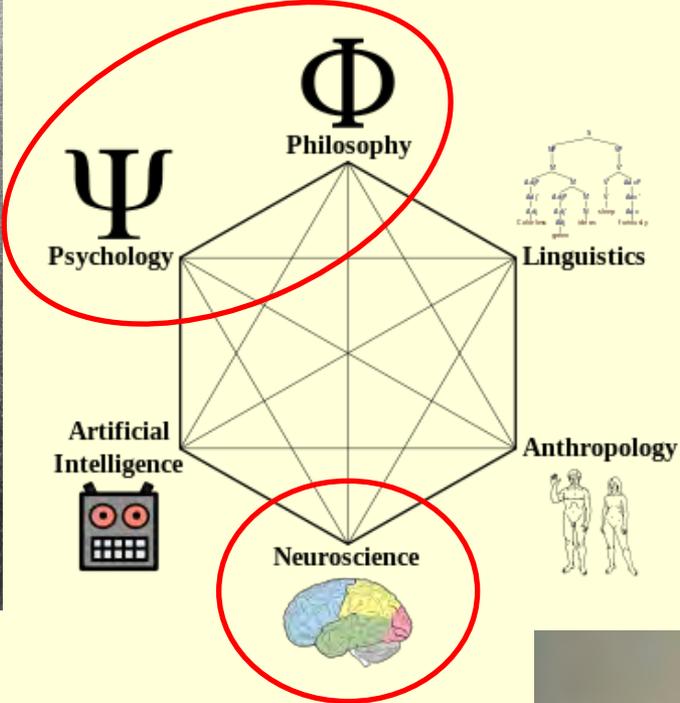
Mémoire de l'espèce  
résultat de  
Évolution des espèces

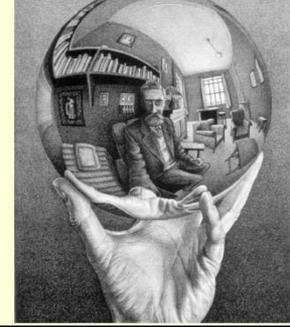
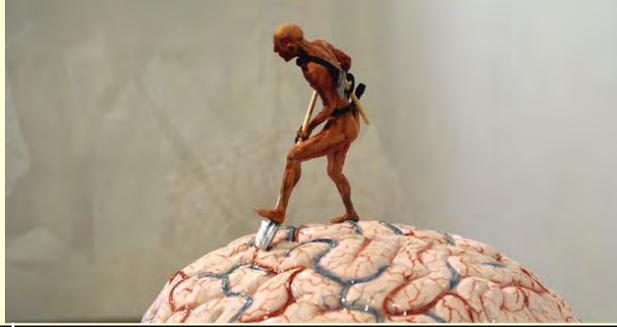
100%

## Acquis

Mémoire de l'individu  
résultat de  
Développement de l'individu







	<b>« objective » Ou à la 3<sup>e</sup> personne</b>	<b>« subjective » Ou à la 1<sup>ère</sup> personne</b>
<b>En ce moment...</b>	Assis, attentif (ou pas...), etc.	Vous me voyez, m'entendez (perception); J'évoque des souvenirs...
<b>Il y a quelques minutes...</b>	Vous êtes entré, serré une main, avez jasé un peu, vous êtes assis...	Vous avez été content de revoir telle personne, curieux de me voir la gueule...
<b>Il y a une heure...</b>	Vous avez mis la table, mangé et bu...	Vous avez ressenti le plaisir de la satiété, ou le dégoût si quelque chose était pourri...
<b>Il y a 7-8 heures...</b>	Vous étiez allongé sur votre lit les yeux fermés et pratiquement immobile...	Vous n'aviez conscience de rien, puis vous rêviez que vous voliez avec des oies...
<b>Il y a une ou plusieurs journées...</b>	Vous avez eu des comportements sexuels ou liés à la politiques...	Avec tout ce que cela apporte comme émotions bonnes ou mauvaises...

Petit survol des différentes théories qui ont tenté depuis un siècle d'expliquer

ce rapport entre la 1<sup>ère</sup> et la 3<sup>e</sup> personne,  
entre pensée et cerveau :

- Structuralisme
- Behaviorisme
- Cybernétique
- Cognitivism
- Connexionnisme
- Cognition incarnée

Autrement dit, quels ont été les **changements de paradigme** qui ont eu lieu dans les sciences cognitives.

# Mais d'abord, qu'est-ce qu'on entend par **paradigmes scientifiques** ?

C'est une notion introduite par Thomas Kuhn en 1962.

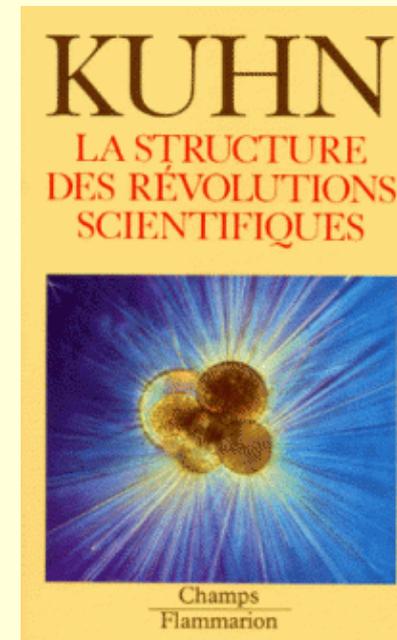
C'est l'idée qu'il y a, à une époque donnée, « **UNE** » **théorie plus largement acceptée** au sein de la communauté scientifique dans un domaine particulier.

Ce que Kuhn appelle aussi la « science normale ».

Les lois de ce paradigme dominant pourront être dérangées périodiquement par des données « a-normales » qui, lorsqu'elles deviennent trop nombreuses, provoquent des **révolutions scientifiques**.

À des périodes calmes où règne un **paradigme dominant** succèdent donc des **crises** de contestation pouvant déboucher sur des remises en cause radicales paradigmes du moment.

La notion de paradigme attire donc aussi l'attention sur le contexte **sociologique** de la recherche scientifique.



XIX<sup>e</sup> et début du XX<sup>e</sup> siècle :

La tradition du **structuralisme** en psychologie

qui utilise l'introspection pour tenter de décrire les composantes élémentaires de l'esprit humain.



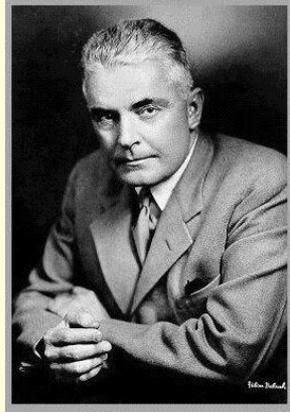
Le groupe de recherche de Wilhelm Wundt en 1880.

Une perception sensorielle reposait par exemple pour eux sur la structure des associations qu'on pouvait faire entre de nombreuses sensations (d'où le nom de "structuralisme").

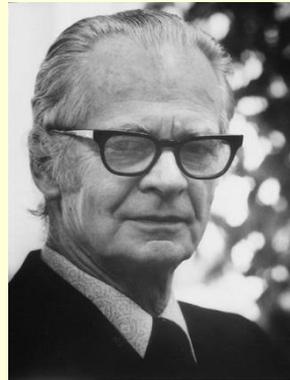
Cette approche fut critiquée pour la difficulté de vérifier expérimentalement ces démarches introspectives qui était très variables d'un laboratoire à l'autre.

## Behaviorisme

À partir des années 1920...



J. B. Watson



B.F. Skinner

## Behaviorisme

À partir des années 1920...



Cerveau = "boîte noire" = ce qui s'y passe est, par nature, méthodologiquement inaccessible et inobservable.

On s'intéresse donc seulement aux **stimuli** qui s'exercent sur l'organisme et les **réponses** que donne cet organisme.

Centré sur l'influence de l'environnement sur nos processus mentaux.

Pour ses pionniers comme John B. Watson et B. F. Skinner, on **ne pouvait pas** **bâtir une approche scientifique** de la psychologie sur des états subjectifs de nature essentiellement **privée**.

Au contraire, cette nouvelle psychologie devait être basée uniquement sur **l'étude expérimentale du comportement**, et non plus sur les jugements individuels relatifs à **nos états d'âme**.

Par conséquent, un de leur **champ de recherche favori** était **l'apprentissage associatif**.

# Conditionnement classique

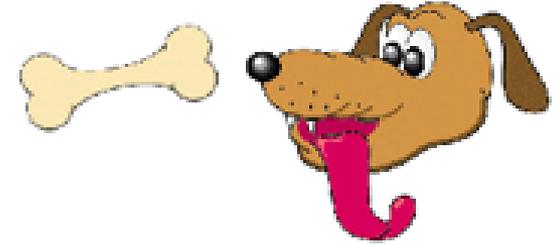


Ivan Pavlov

Avant le conditionnement

**Os**

**Salivation**



**Cloche**

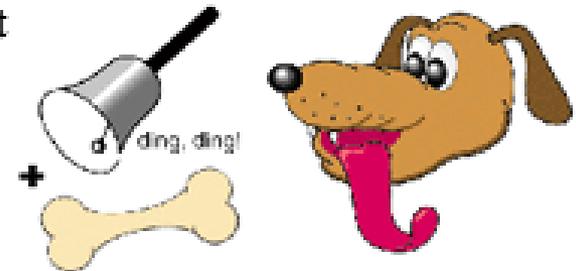
**Aucune  
réponse**



Pendant le conditionnement

**Cloche  
+  
Os**

**Salivation**



Après le conditionnement

**Cloche**

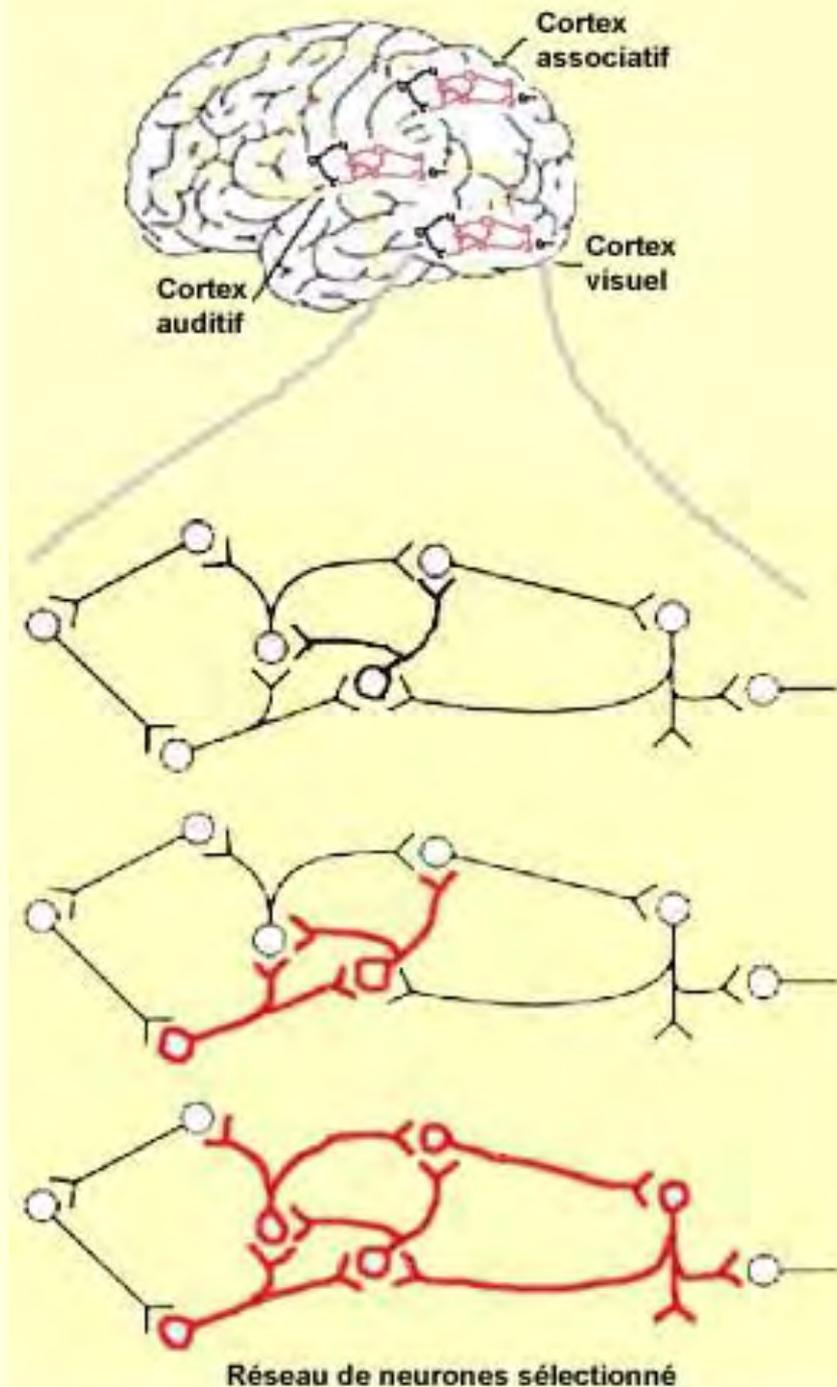
**Salivation**



En passant, on découvrira plus tard que ces apprentissages associatifs correspondent à la formation de réseaux de **neurones** dont les connexions vont se renforcer.

C'est cette **plasticité neuronale**, apparue dès les premiers systèmes nerveux, qui est à la **base de notre mémoire**.

**Cours 3:** A- Évolution de nos mémoires et rôle de l'hippocampe  
B- Apprendre à associer, de la liste d'épicerie aux championnats de mémoire



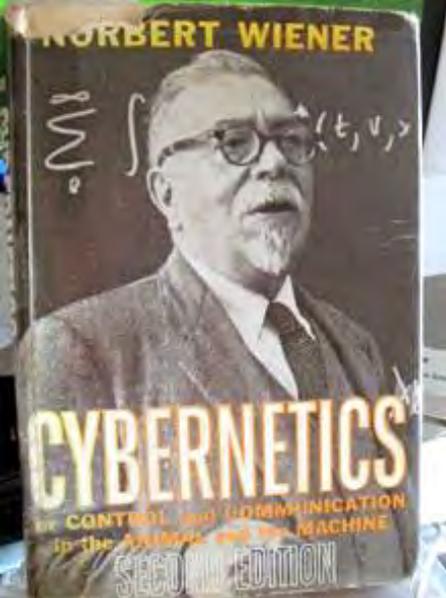
Watson allait même jusqu'à dire que la structure de notre esprit est **entièrement façonnée par les récompenses et les punitions de notre environnement**, et par aucune influence génétique.

Bref, les behavioristes refusèrent toute spéculation sur des états mentaux et bannirent des sujets d'étude comme **la pensée, l'esprit, la conscience ou l'imagination**, et des constructions hypothétiques comme **les symboles, les idées ou les schémas**.

Ça fait beaucoup dans la poubelle...

D'où cette blague de ses détracteurs qui faisaient remarquer qu'un behavioriste qui en rencontre un autre n'aurait pas d'autres choix que de lui dire :

« Vous semblez aller bien aujourd'hui !  
Et moi, comment vais-je ? »...



Peu de temps après la fin de la Guerre arrive alors la fameuse série de conférences Macy qui va réunir, à intervalles réguliers **entre 1946 et 1953**, un petit groupe d'une **vingtaine de chercheurs**, lesquels pouvaient s'adjoindre à chaque rencontre quelques invités.

Parmi les plus célèbres figures on trouve les mathématiciens **Norbert Wiener, John von Neumann, Claude Shannon**, le neurophysiologiste **Warren McCulloch**, mais aussi des chercheurs des sciences humaines comme les anthropologue **Gregory Bateson et Margaret Mead**, etc.



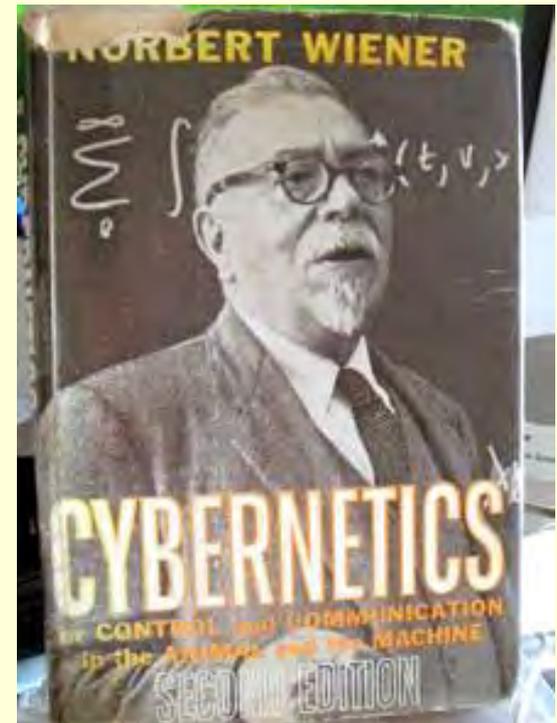
Donc des mathématiciens, des neurophysiologiste, mais aussi des psychologues, des anthropologues et des sociologues.

L'un des participants, **Norbert Wiener**, va proposer en 1947 le terme « **cybernétique** » pour caractériser leur volonté de faire naître une nouvelle science basé sur les **systèmes autorégulés**.

Car Wiener avait travaillé pour l'armée américaine sur des dispositifs de pilotage automatique des avions.

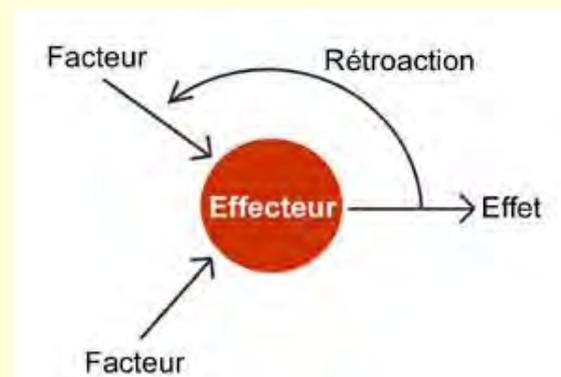
Et il était convaincu que ces systèmes **d'autorégulation automatique étaient un dispositif très général** qui devait exister dans d'autres systèmes :

organismes vivants, cerveaux, sociétés...



Ce qui empêche la première cybernétique de se réduire à un simple **behaviorisme** obéissant au schéma stimulus-réponse, c'est précisément la **notion de feedback**.

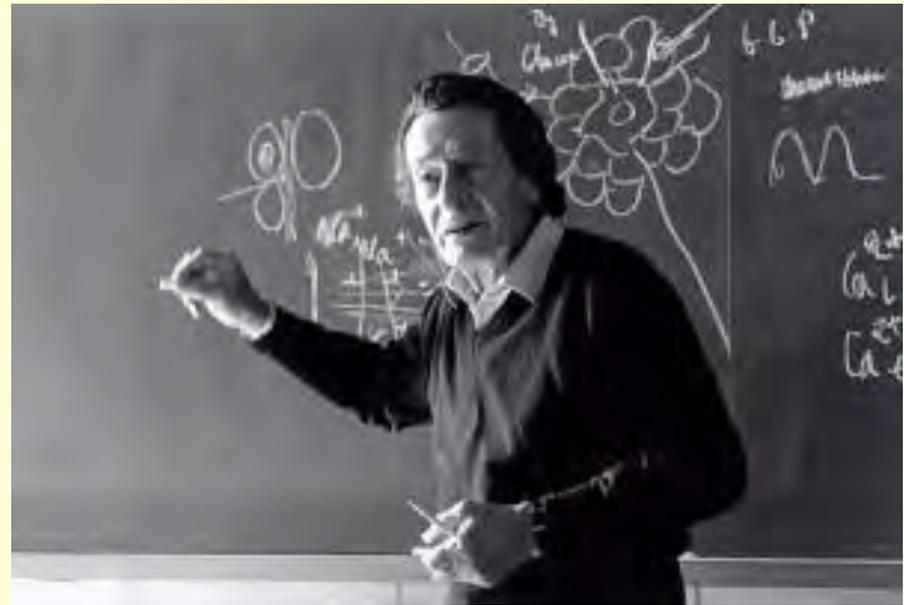
Grâce à ce dispositif, l'objet est capable de changer la relation qu'il établit entre input et output, entre stimulus et réponse.



Tout se passe comme si l'objet était capable de poursuivre une finalité donnée en apprenant à **ajuster** son comportement au vu des **erreurs** qu'il commet. (donc notion d'adaptation, d'apprentissage...)

Laborit va être très inspiré par ce qu'offrait la **cybernétique** pour la compréhension du vivant et de l'« être humain en particulier.

Il y emprunte d'abord la notion de « finalité » qu'il reformule ainsi pour les être vivants :



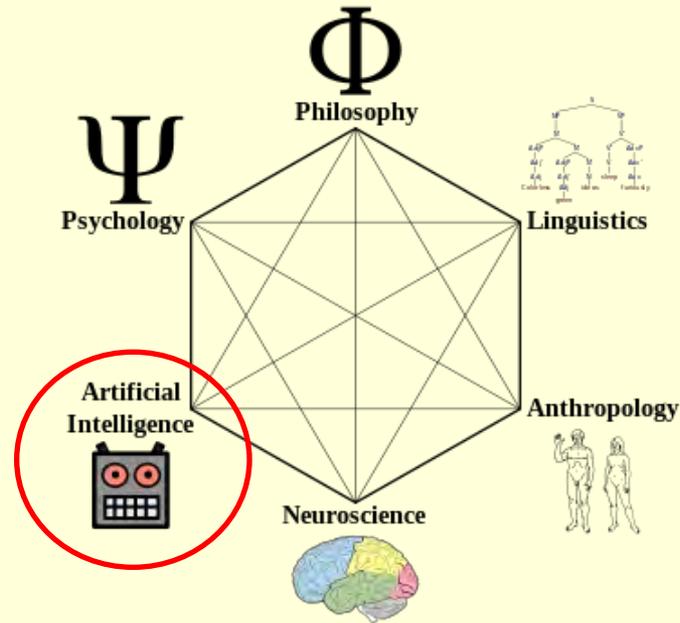
« La seule raison d'être d'un être vivant, c'est **d'être**, c'est-à-dire de **maintenir sa structure.** »



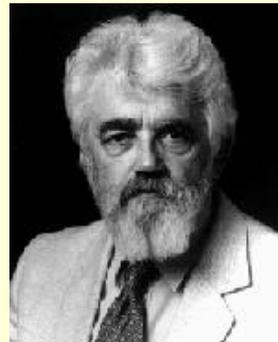
L'esprit humain était donc de moins en moins considéré comme une boîte noire et toutes ces nouvelles disciplines (cybernétique, linguistique, informatique, etc) commencèrent de **fructueuses interactions** qui allaient mener aux « sciences cognitives ».

Celle-ci allait garder l'exigence de rigueur scientifique des behavioristes, mais se donnait comme objectif **d'identifier et de comprendre les états mentaux d'un individu.**

L'«une de ces premières **fructueuses interactions** eut lieu durant **l'été 1956** se tient au New Hampshire un colloque qui réunit psychologues, ingénieurs, mathématiciens et neuroscientifiques autour d'un projet fascinant : la mise en oeuvre d'une « **intelligence artificielle** ».



Herbert  
Simon



John McCarthy



Marvin Minsky

L'«une de ces premières **fructueuses interactions** eut lieu durant **l'été 1956** se tient au New Hampshire un colloque qui réunit psychologues, ingénieurs, mathématiciens et neuroscientifiques autour d'un projet fascinant : la mise en oeuvre d'une « **intelligence artificielle** ».

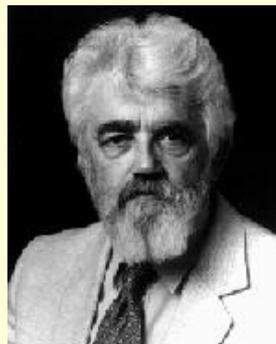
Son but : **copier, puis dépasser** les activités humaines réputées intelligentes, **comme raisonner, utiliser le langage ou résoudre des problèmes.**

Comment y parvenir ? Herbert Simon propose une voie générale : chaque problème à résoudre peut être **décomposé en une série de buts intermédiaires**, et on explorera différentes voies pour chacun d'eux jusqu'à ce que la solution soit trouvée.

On s'intéresse donc clairement ici aux processus mentaux.



Herbert  
Simon



John McCarthy



Marvin Minsky



# The Seventh Conference on Artificial General Intelligence

Quebec City, August 1 – 4, 2014

[Call for Papers](#) [Lodging](#) [AGI-14](#) [Schedule](#) [Keynotes](#) [Workshop on AGI & Cog Sci](#) [Tutorials](#) [Committees](#) [Prizes](#) [Venue](#) [Registration](#) [Sponsors](#)

[Collocated Events](#) You are here: Home

## AGI-14

### AGI-14 @ Quebec City, Canada

August 1 – 4, 2014

Continuing the mission of the past AGI conferences, AGI-14 gathers an international group of leading academic and industry researchers involved in scientific and engineering work aimed directly toward the goal of Artificial General Intelligence (AGI).



AGI-14@Quebec City will be held from August 1 – 4 of 2014, immediately after the Twenty-Eighth AAAI Conference on Artificial Intelligence (AAAI-14), and after the 36th Annual Conference of the Cognitive Science Society (CogSci 2014). AGI-14 will feature talks and posters, keynote speeches, and demonstrations. Beside the main conference, there will be tutorials and workshops.

AGI conferences are organized by the Artificial General Intelligence Society, in cooperation with the Association for the Advancement of

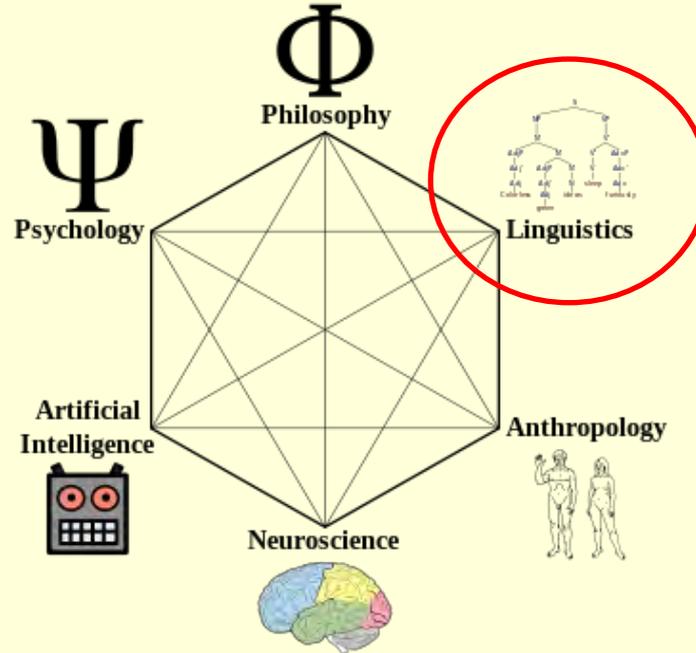
Artificial Intelligence (AAAI). The proceedings of AGI-14 will be published as a book in Springer's Lecture Notes in AI series, and all the accepted papers will be available online.

The original goal of the AI field was the construction of “thinking machines” – that is, computer systems with human-like general intelligence. Due to the difficulty of this task, for the last few decades the majority of AI researchers have focused on what has been called “narrow AI” – the production of AI systems displaying intelligence regarding specific, highly constrained tasks.

In recent years, however, more and more researchers have recognized the necessity – and feasibility – of returning to the original goals of the field by treating intelligence as a whole.

1 au 4 août 2014 à Québec !

Vers le milieu du XX<sup>e</sup> siècle se développe aussi la **linguistique**, discipline scientifique consacré à l'une de nos capacités mentales les plus sophistiquées, **le langage**.



Vers le milieu du XX<sup>e</sup> siècle se développe aussi la **linguistique**, discipline scientifique consacré à l'une de nos capacités mentales les plus sophistiquées, **le langage**.

Une des critiques les plus sévères du béhaviorisme va venir du linguiste **Noam Chomsky** qui, en **1959**, affirme que « vouloir étendre le modèle béhavioriste de l'apprentissage à la linguistique est **sans espoir**. »

Pour lui, nos compétences linguistiques ne peuvent être expliquées sans admettre que les êtres humains possèdent un répertoire important de **structures cognitives complexes** qui président à l'usage du langage.



## Cognitivism

Domine les sciences cognitives du milieu des années 1950 aux années 1980.



Considère à nouveau l'esprit qu'il compare à un ordinateur.

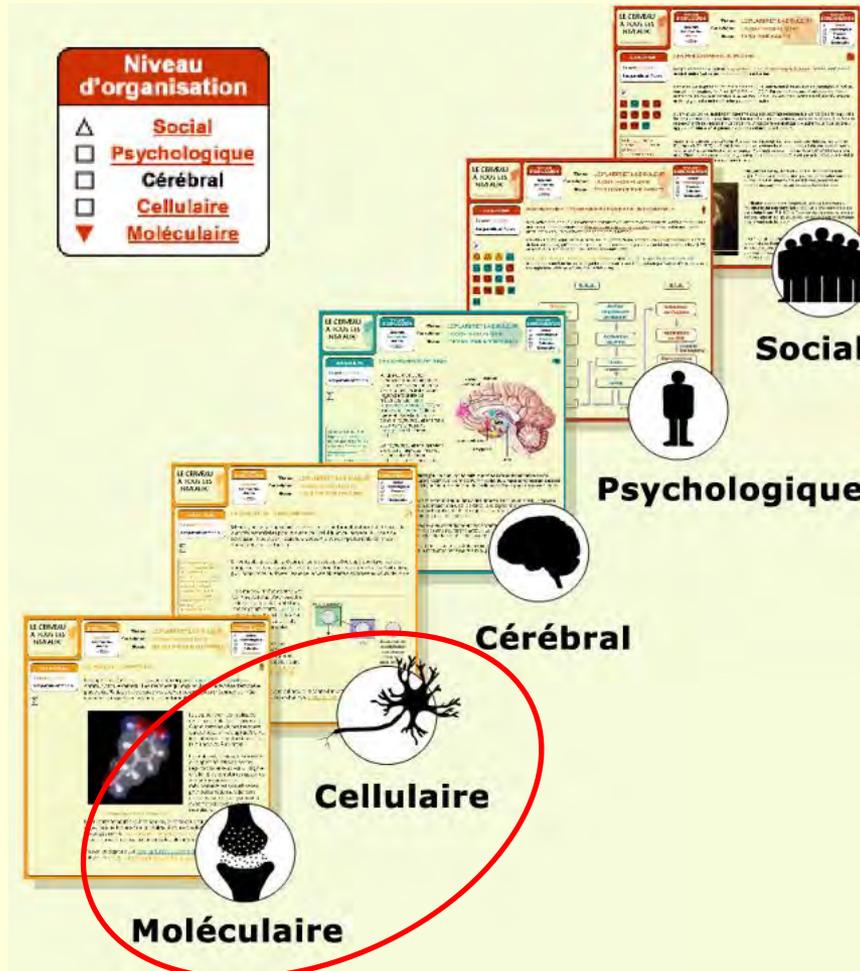
Ici, la cognition c'est le traitement de l'information :

la **manipulation de symbole** à partir de règles.

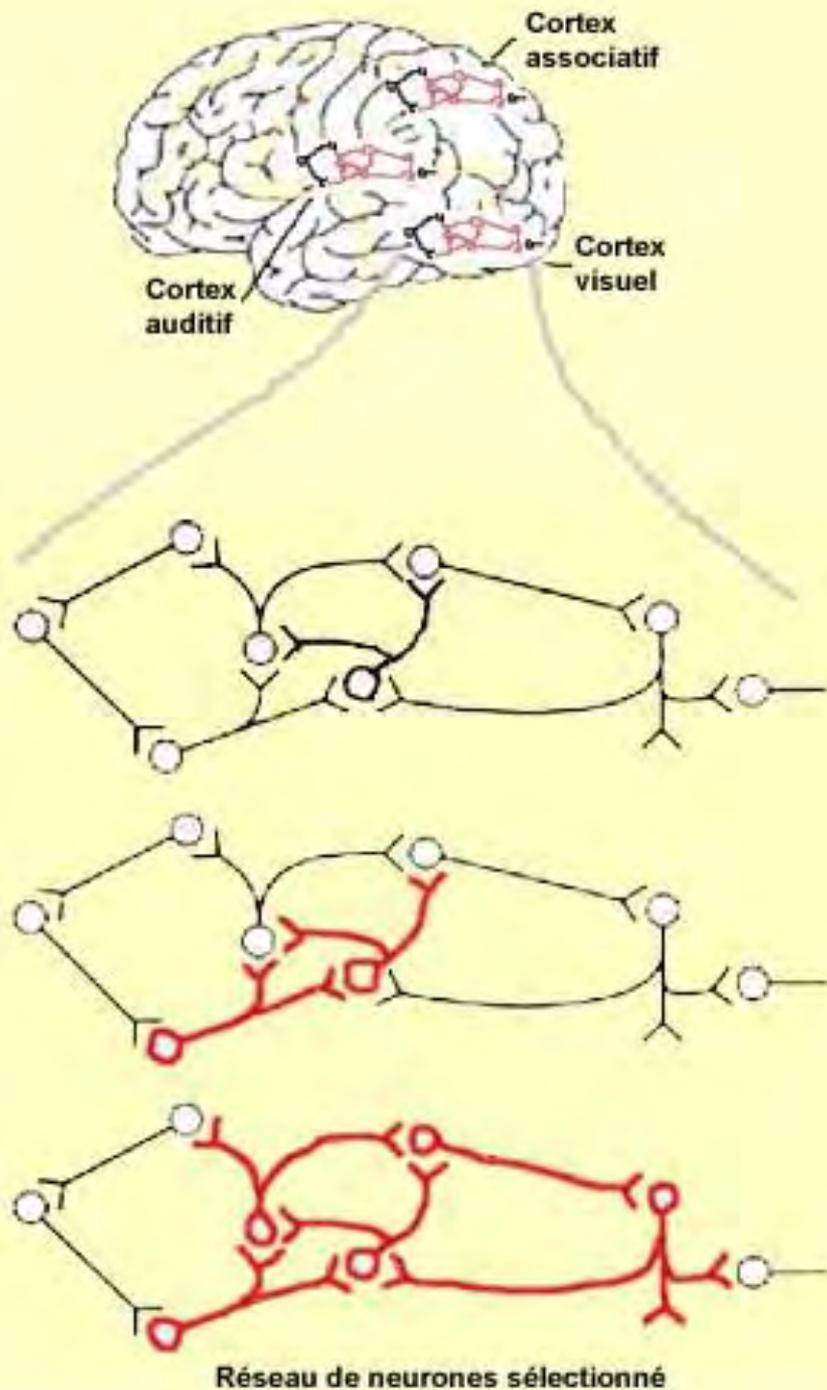
## L'assurance tranquille du paradigme dominant... ;-)

Durant l'âge d'or du cognitivisme dans les **années 1970**, les cognitivistes aimaient à dire que leur approche était "the only game in town" (Fodor 1975, 1981).

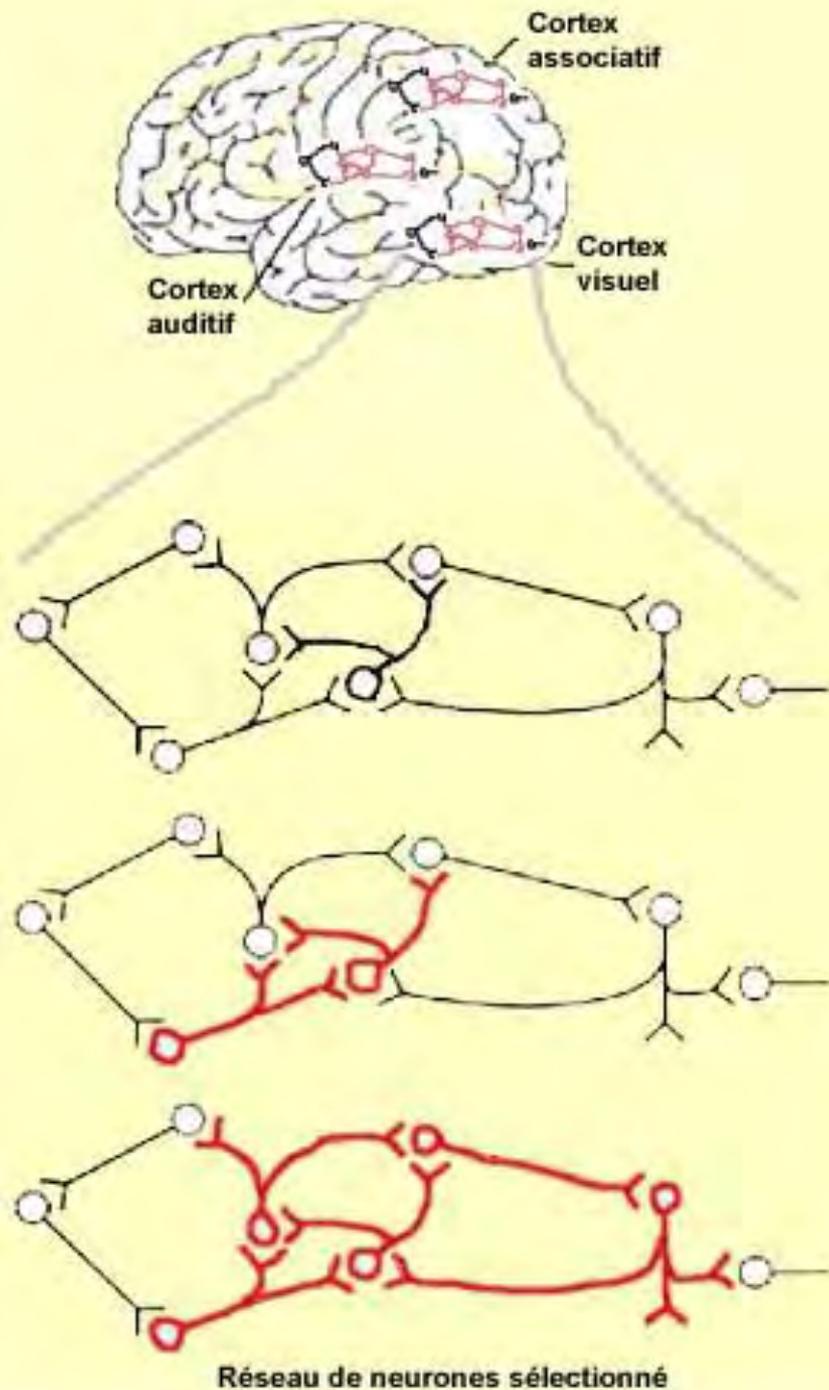




Dans les **années 1970** aussi : Neurosciences et biologie moléculaire...

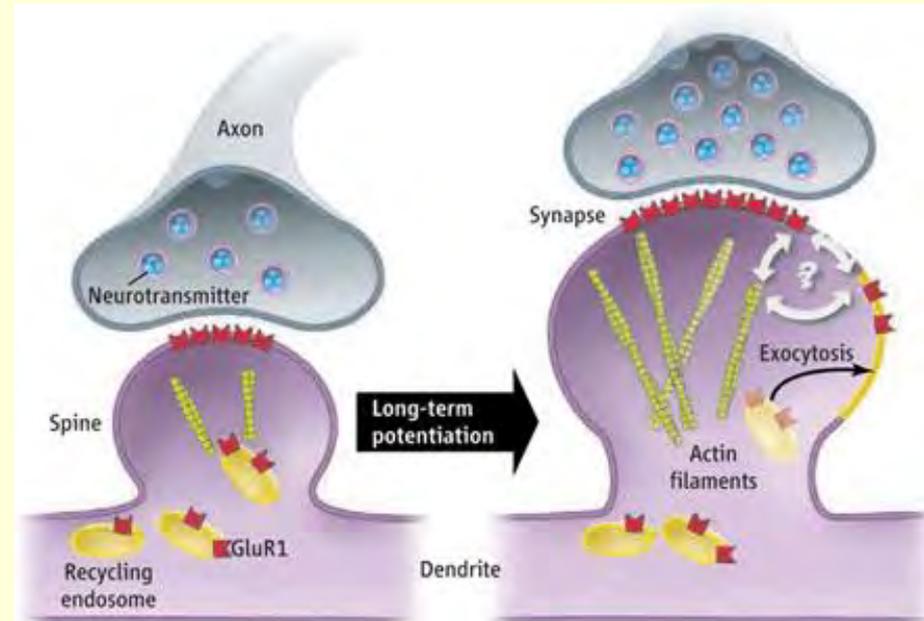


...on renforce des connexions pour former des groupes de neurones qui vont devenir **habitués** à travailler ensemble.

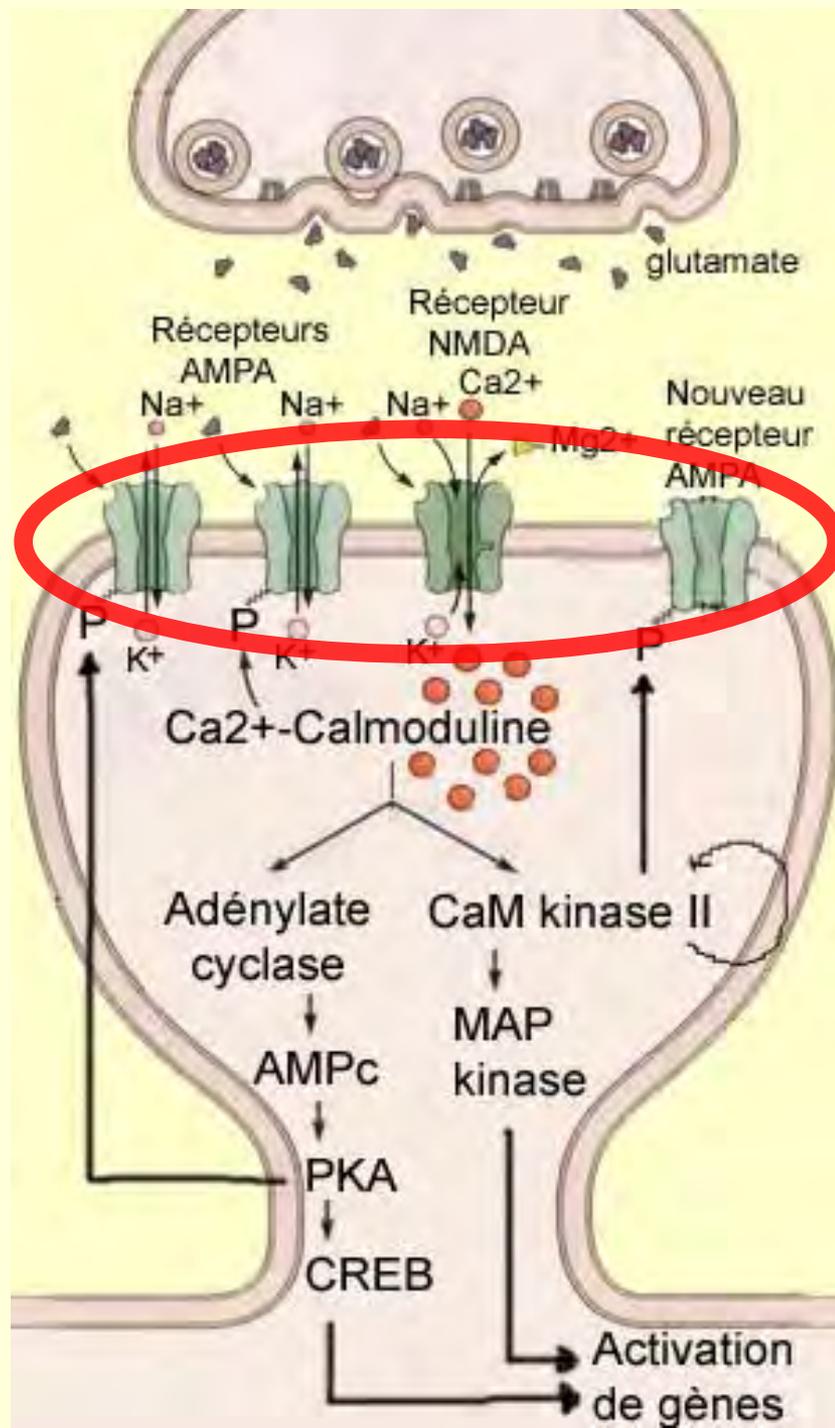


Comment ?

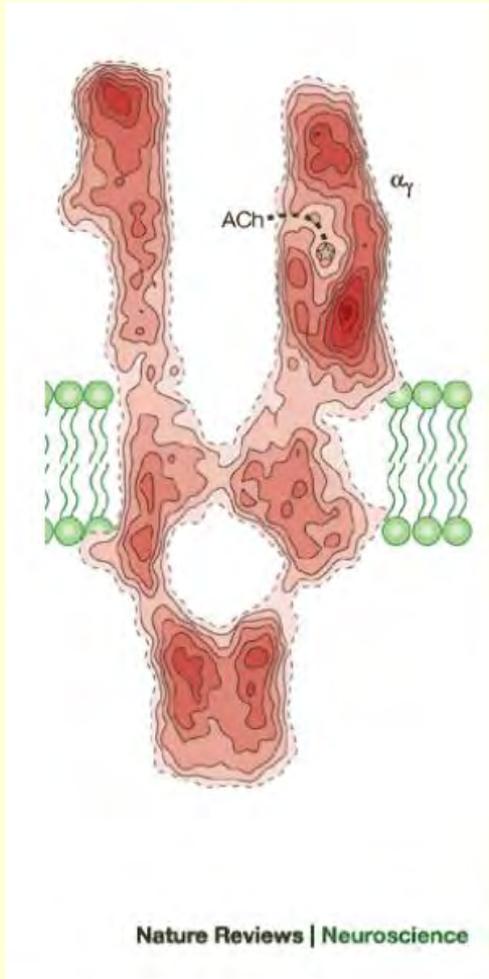
Grâce aux synapses qui se renforcent !



**Cours 2:** A- Modèles scientifiques et théorie du neurone  
 B- Mise à jour de la théorie du neurone



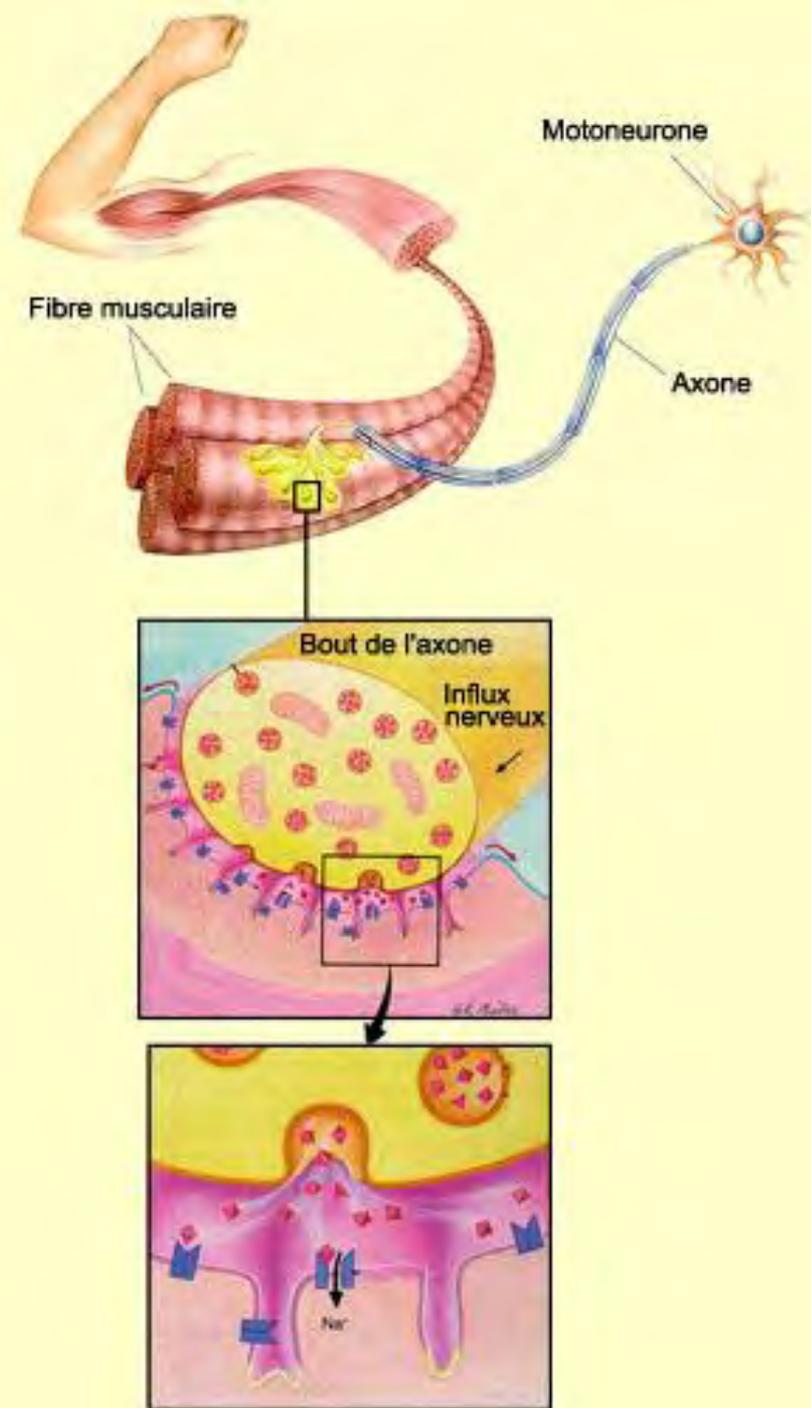
# Le récepteur à l'acétylcholine



Jean-Pierre Changeux

# Le récepteur à l'acétylcholine

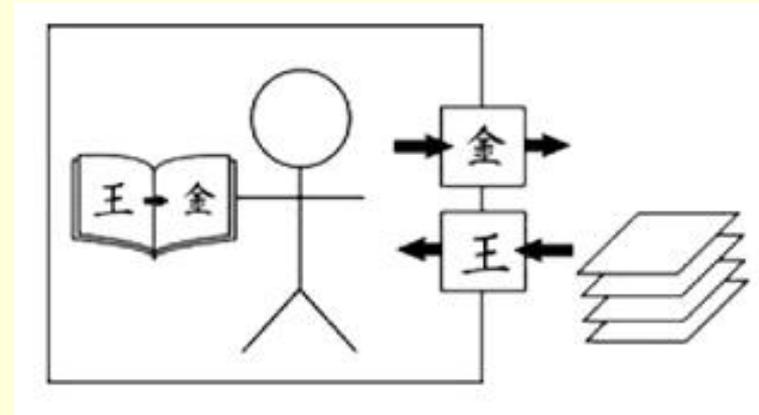
Sans cette protéine, nous ne pourrions pas **bouger**, et donc pas **parler** !



## **Mais ! Critiques, problèmes, failles, etc... du cognitivisme**

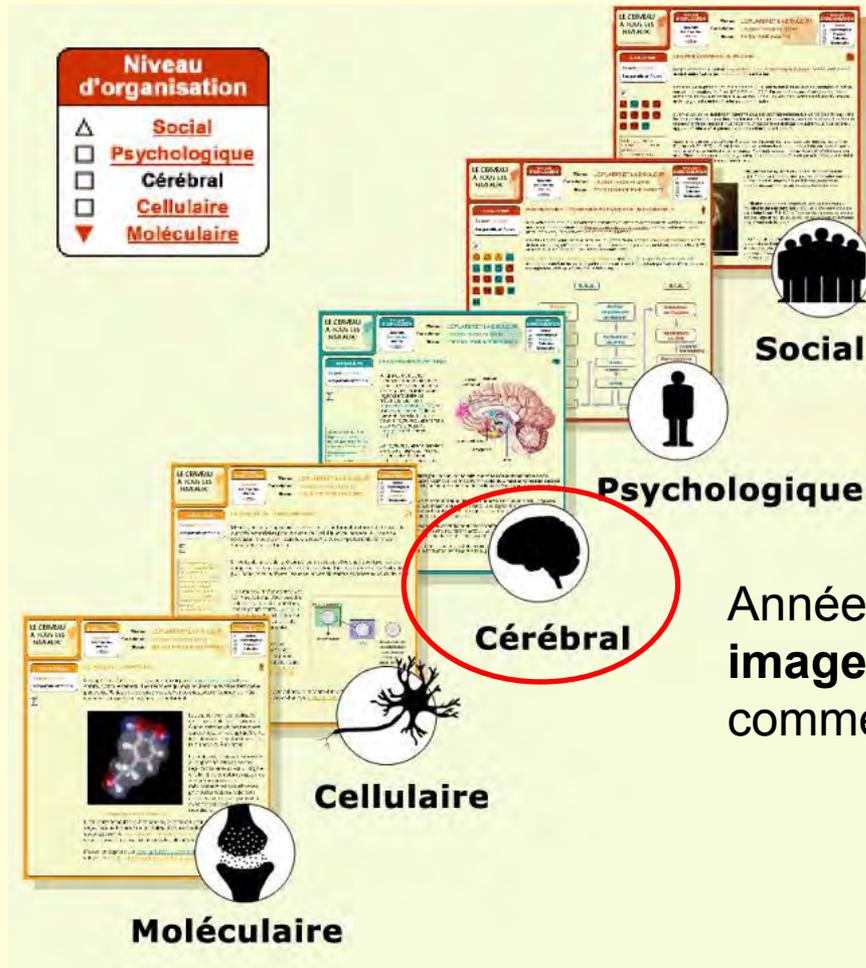
A partir des **années 1980**, le philosophe **John R. Searle**, développe une série d'arguments pour démontrer que **l'ordinateur ne pense pas** car il **n'a pas accès au sens.**

**L'argument de la « chambre chinoise » :**  
une machine ne fait que manipuler des symboles abstraits,  
**sans en comprendre la signification.**



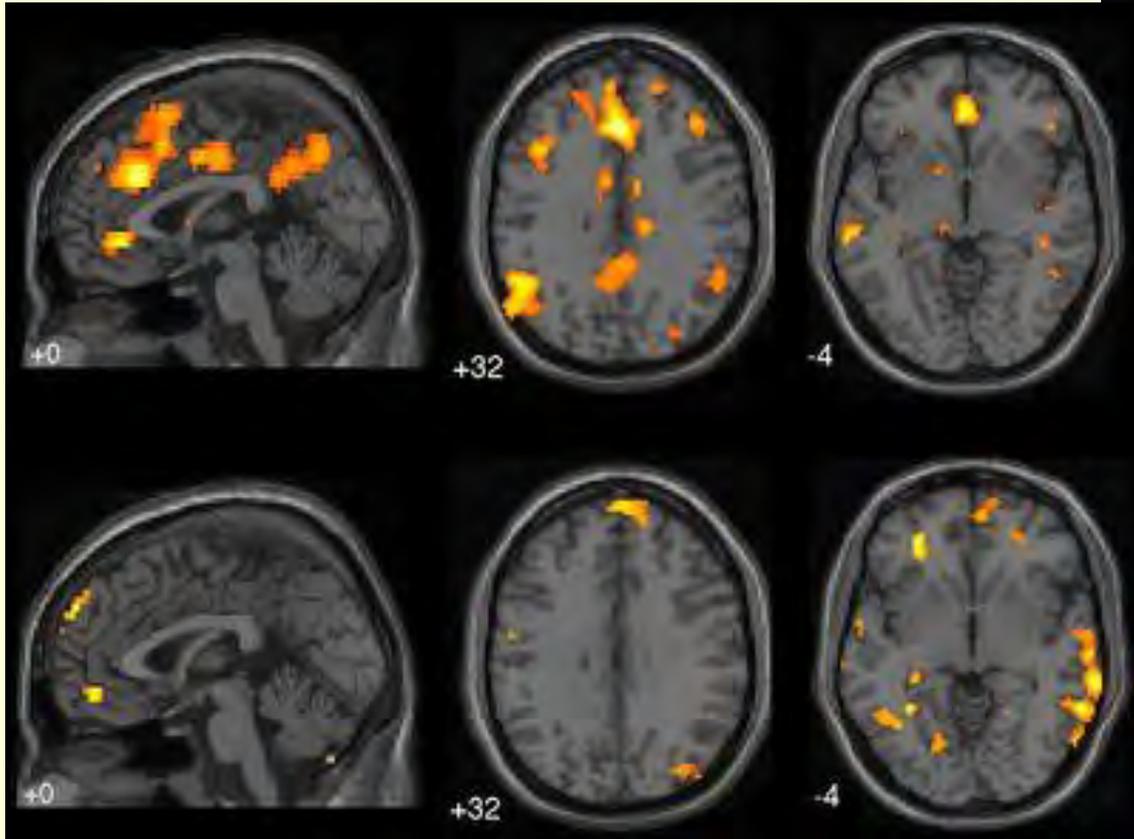
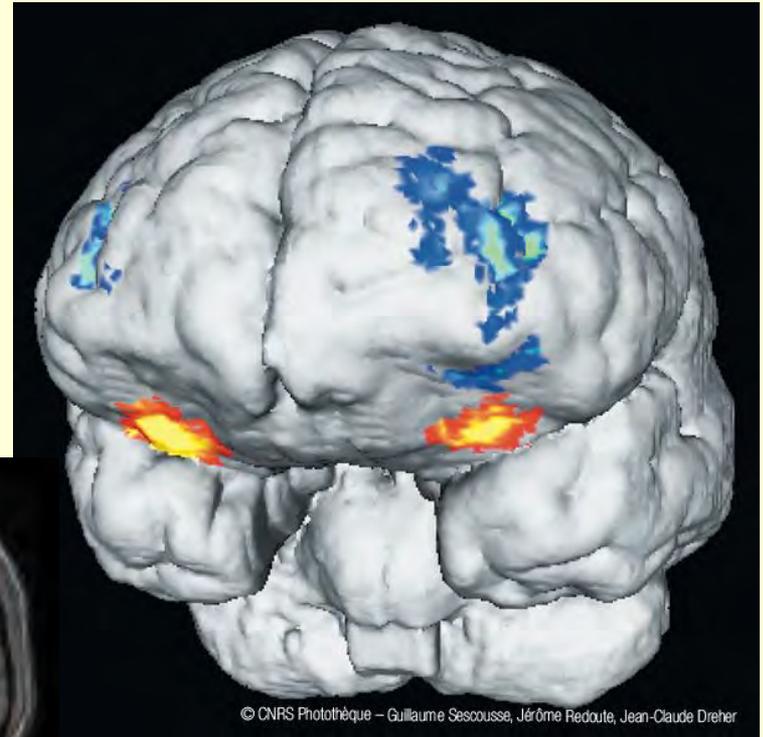
Elle peut traduire mot à mot un texte dans deux langues étrangères si elle dispose d'un dictionnaire de correspondances.

Mais ne comprenant pas le sens des mots utilisés : comment choisir entre « *weather* » ou « *time* » pour traduire le mot français « temps », si on n'a pas accès à son sens ?



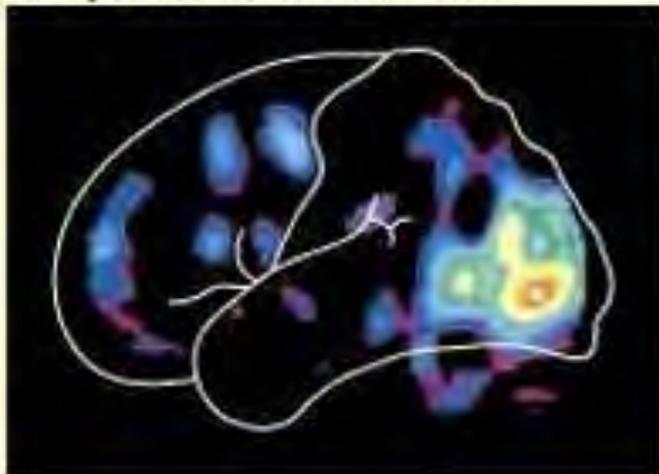
Années 1980 :  
**imagerie cérébrale**  
 commence à se développer...

# L'imagerie par résonance magnétique fonctionnelle (IRMf)

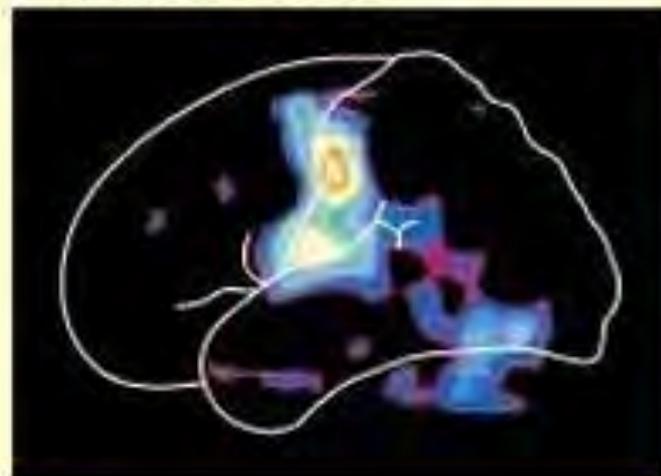


# PET scan

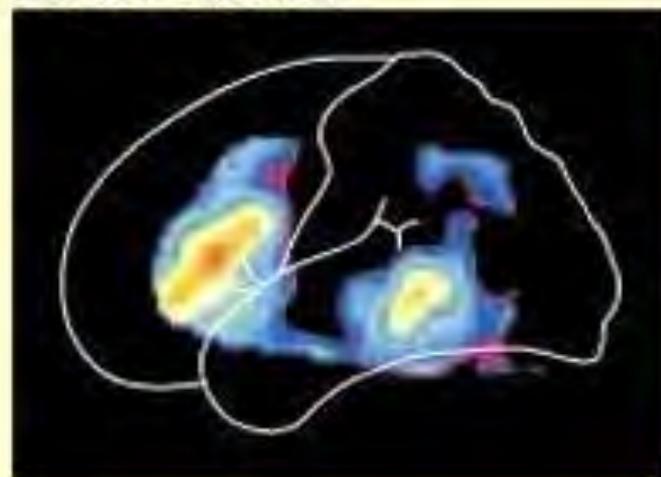
**Voir passivement des mots**



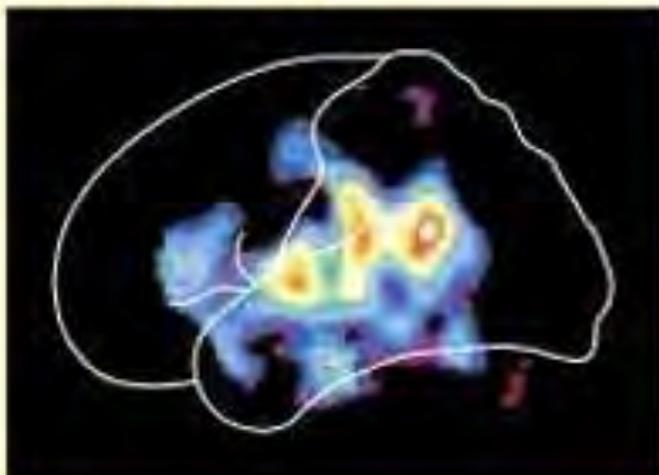
**Prononcer des mots**



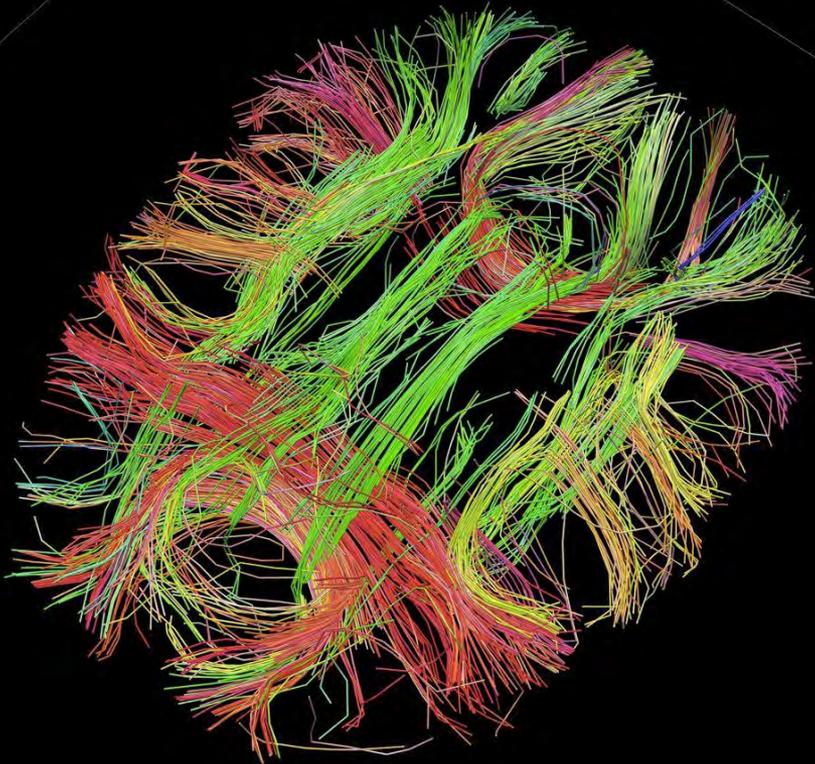
**Générer des mots**



**Écouter des mots**



# L'IRM de diffusion



## Cours 4 :

B- Imagerie cérébrale et réseaux fonctionnels

## Vers le connexionnisme...

Le cognitivisme voulait simuler les performances d'un expert humain adulte.

Mais comme il ne réussissait bien qu'à résoudre que des tâches plus circonscrites et locales, une conviction s'est développée :

la forme **d'intelligence** la plus fondamentale n'est peut-être pas celle de l'expert, mais bien celle d'un... **bébé** !

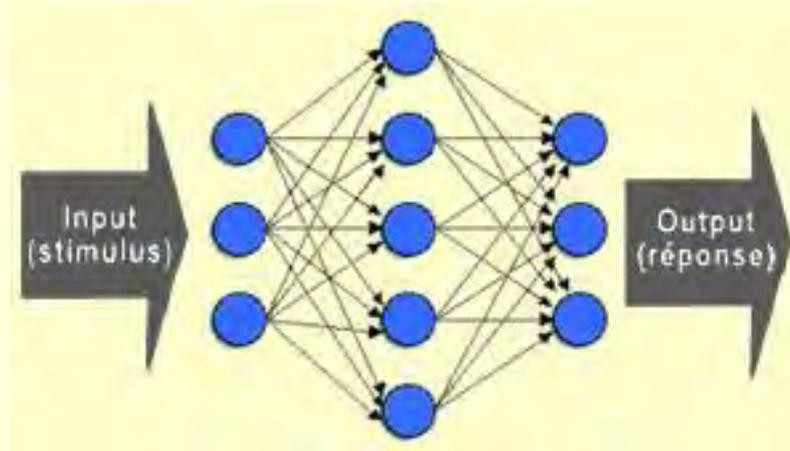
Car un bébé peut acquérir le langage et constituer des objets signifiants à partir de ce qui semble être une masse informe de stimuli.

Il fallait donc chercher plutôt à simuler l'intelligence du bébé qui apprend.



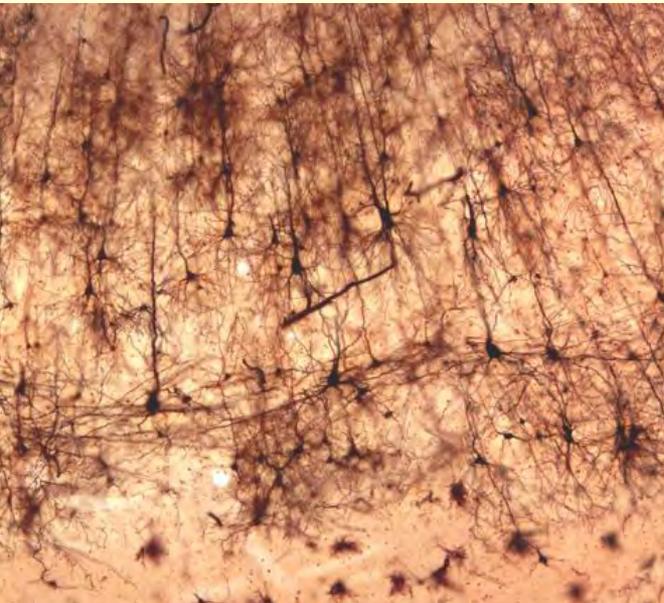
## Connexionnisme

Commence à remettre en question l'orthodoxie du cognitivisme au début des années 1980.

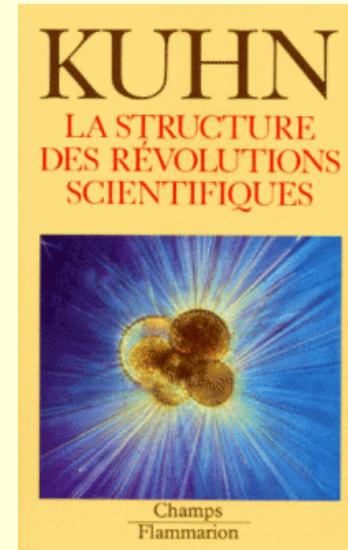
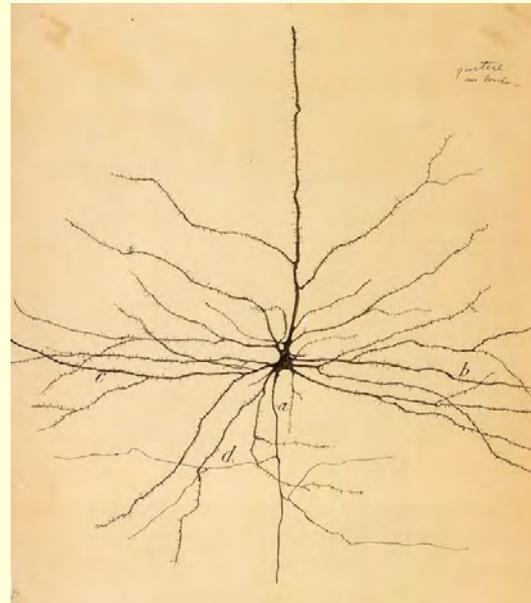
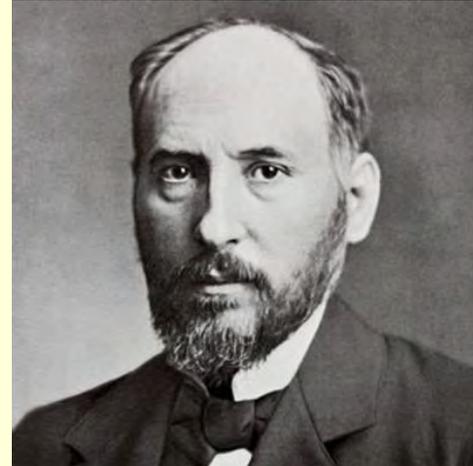


Il prend en compte le **cerveau** et essaie de comprendre la cognition avec des réseaux de neurones.

## Golgi et la théorie réticulaire



## Cajal et la théorie du neurone



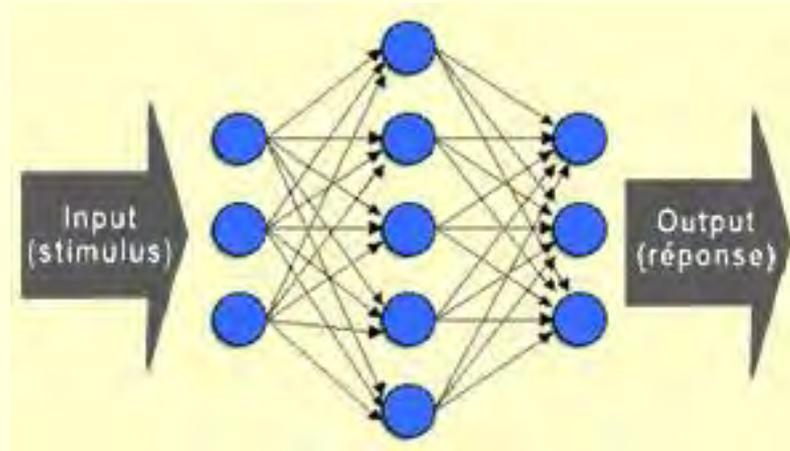
### Cours 2:

A- Modèles scientifiques et théorie du neurone

B- Mise à jour de la théorie du neurone

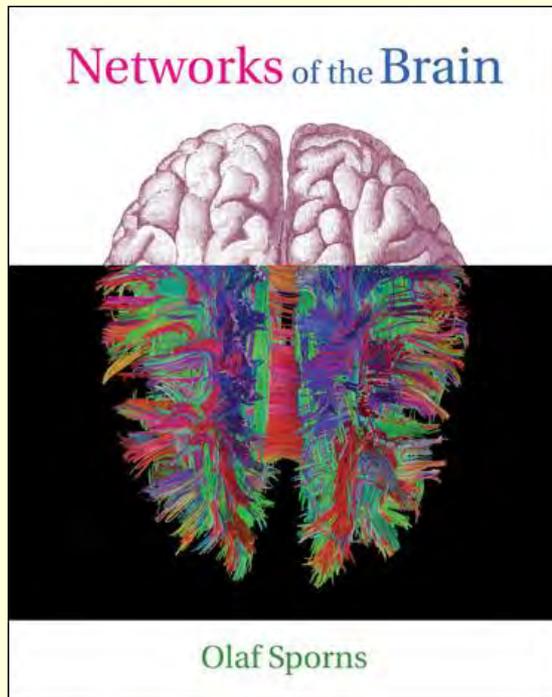
## Connexionnisme

Commence à remettre en question l'orthodoxie du cognitivisme au début des années 1980.

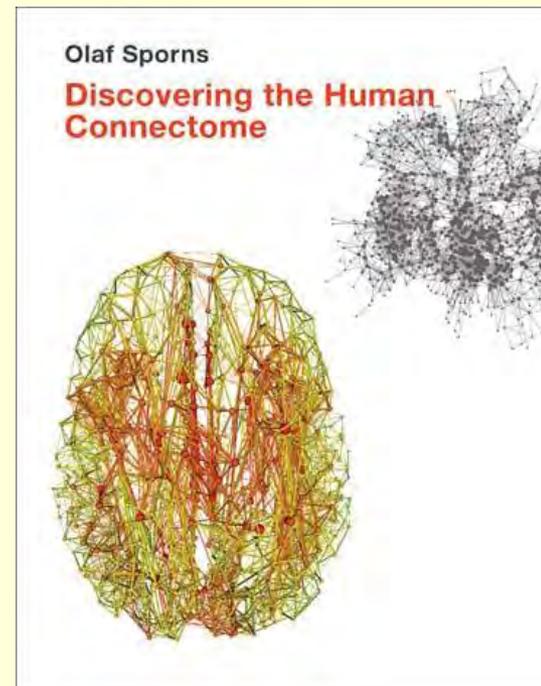


Il prend en compte le **cerveau** et essaie de comprendre la cognition avec des réseaux de neurones.

Nous explorerons aussi différents projets de cartographies des voies cérébrales à grande échelle en vue d'établir le « **connectome** » humain.



2010

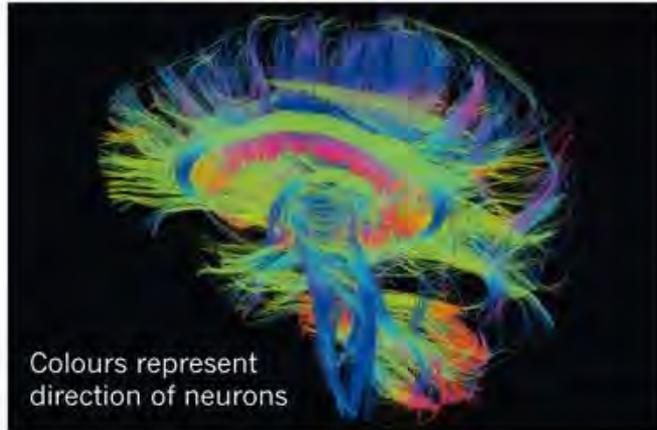


2012

Mise en commun de données recueillies avec différentes techniques.

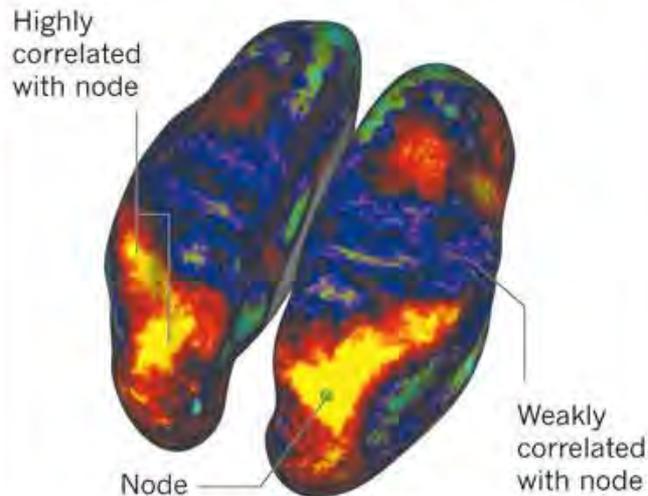
### Mapping structure

Diffusion spectrum imaging detects the movement of water molecules that flow along nerve fibres in the brain. The result is a map of the brain's neuronal network.

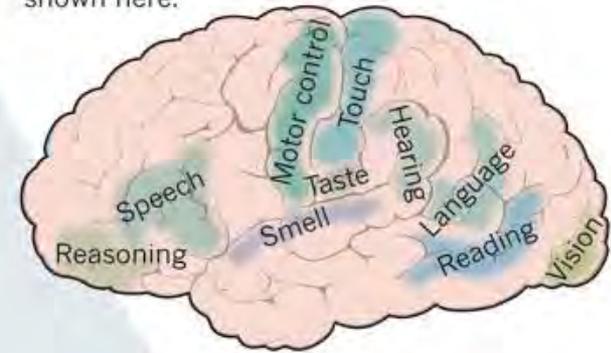


### Mapping function

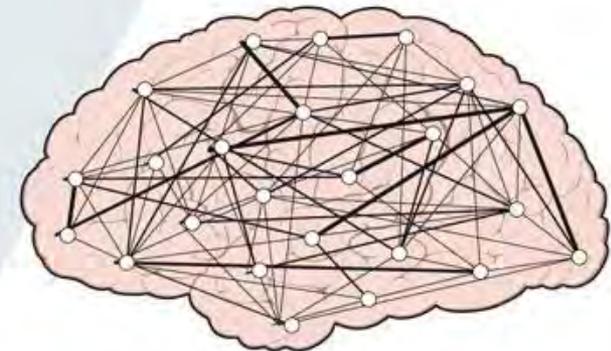
Resting-state functional MRI maps resting brain activity, then looks for correlations between one area and another. Highly correlated areas are thought to have some kind of functional link.



The brain has many areas specialized for specific functions, some of which are shown here.



Data on structure and function can be combined and analysed using tools such as network theory.



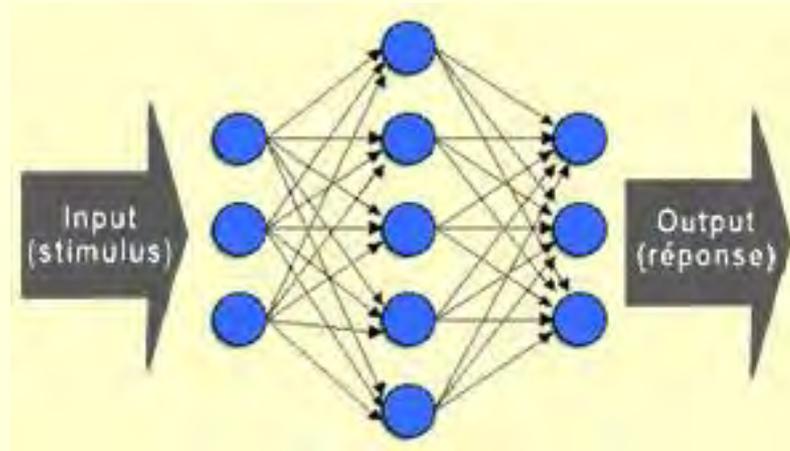
The connectome ties these areas together, allowing the brain to function as a coherent whole. The project's goal is to understand how the connectome works.

Cours 4 :

A-  
Cartographier  
notre  
connectome  
à différentes  
échelles

## Connexionnisme

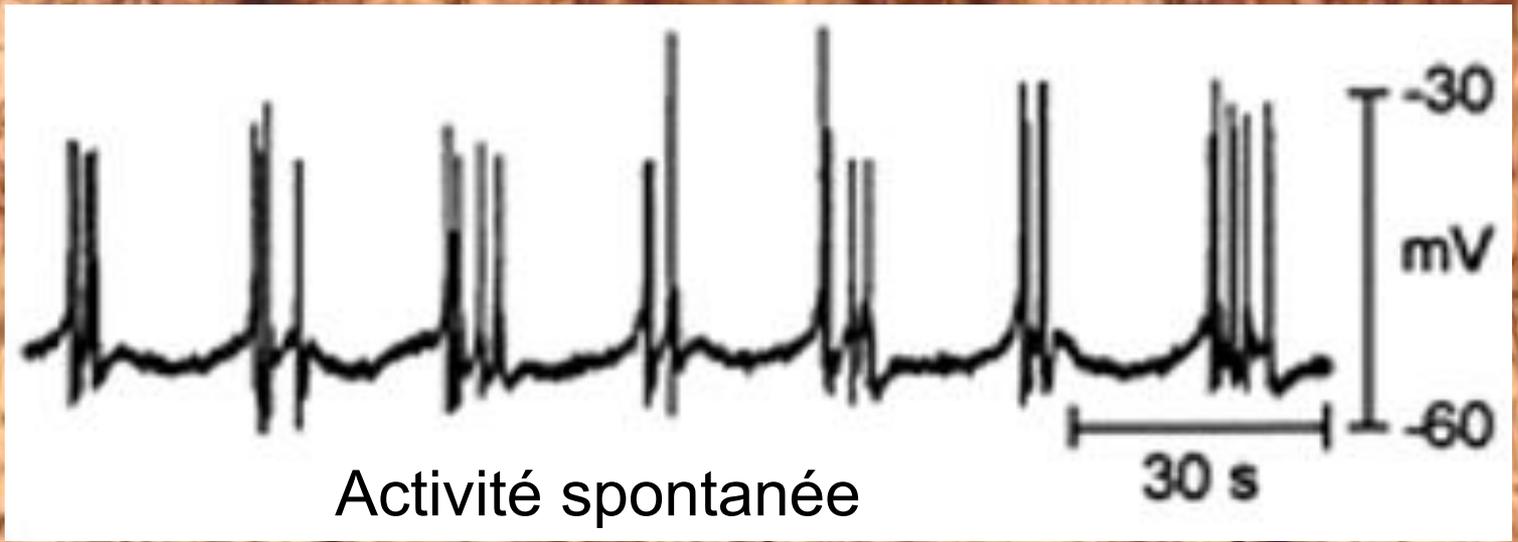
Commence à remettre en question l'orthodoxie du cognitivisme au début des années 1980.



Il prend en compte le **cerveau** et essaie de comprendre la cognition avec des réseaux de neurones.

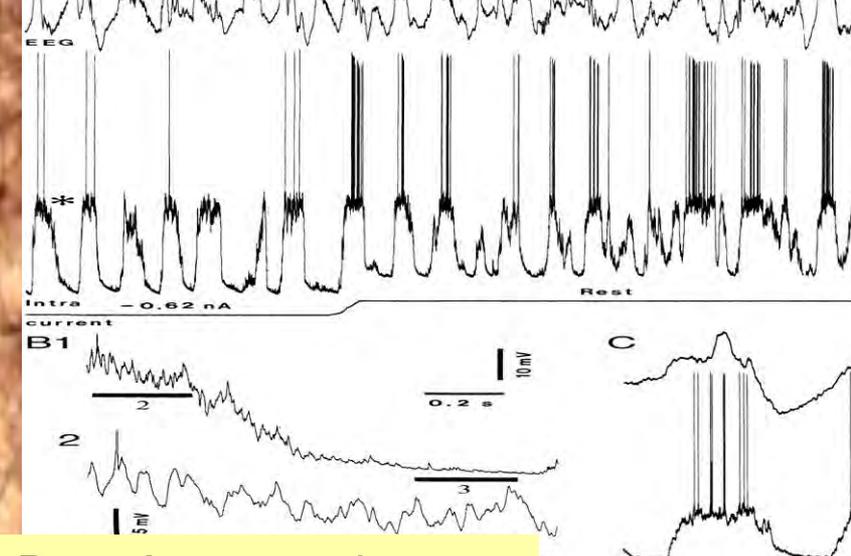
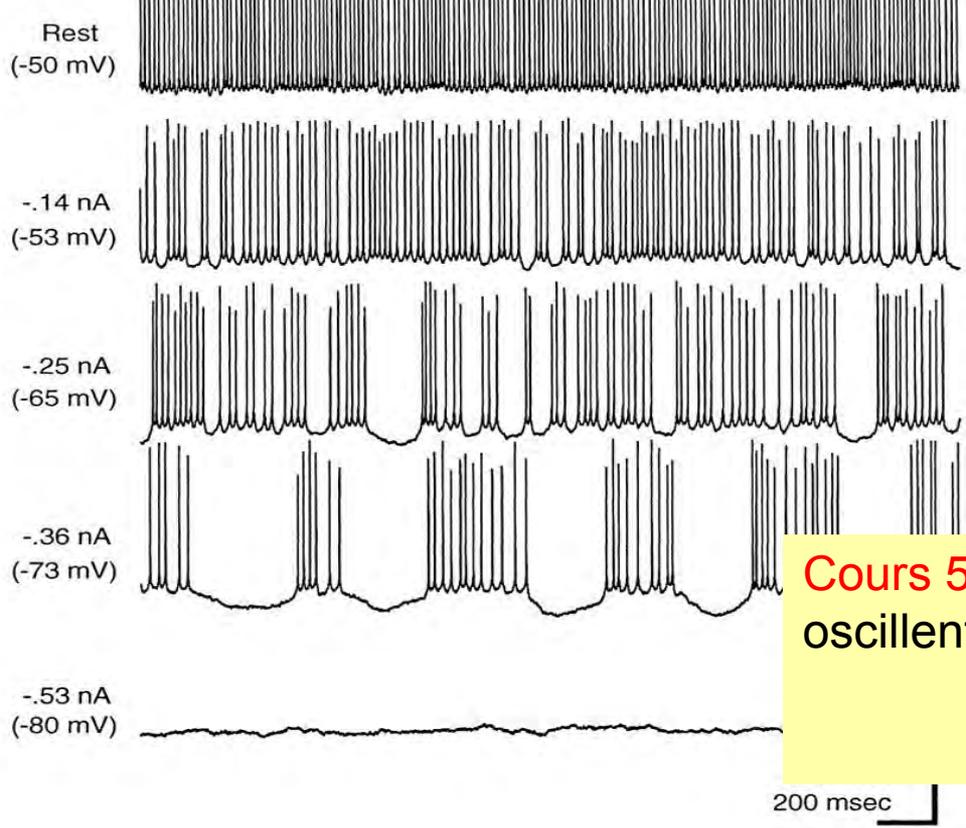
Plus une affaire **d'entraînement** que de programmation.

La cognition émerge d'états globaux dans un réseau de composants simples.



**85 000 000 000 neurones**

Chaque neurone peut faire jusqu'à 10 000 connexions avec d'autres neurones.



**Cours 5 :** A- Des réseaux qui oscillent à l'échelle du cerveau entier

B- Éveil, sommeil et rêve

Mozart  
Symphony No. 31  
in D Major  
K. 297  
"Paris"



**85 000 000 000 neurones**

Chaque neurone peut faire jusqu'à 10 000 connexions avec d'autres neurones.

## Systemes dynamiques incarnés

À partir du début des années 1990,

les **systemes dynamiques incarnés** vont critiquer  
le cognitivisme **et** le connexionnisme

Ils vont prendre en compte non seulement le cerveau, mais le **corps**  
particulier d'un organisme et l'environnement dans lequel il évolue...



## Systemes dynamiques incarnés

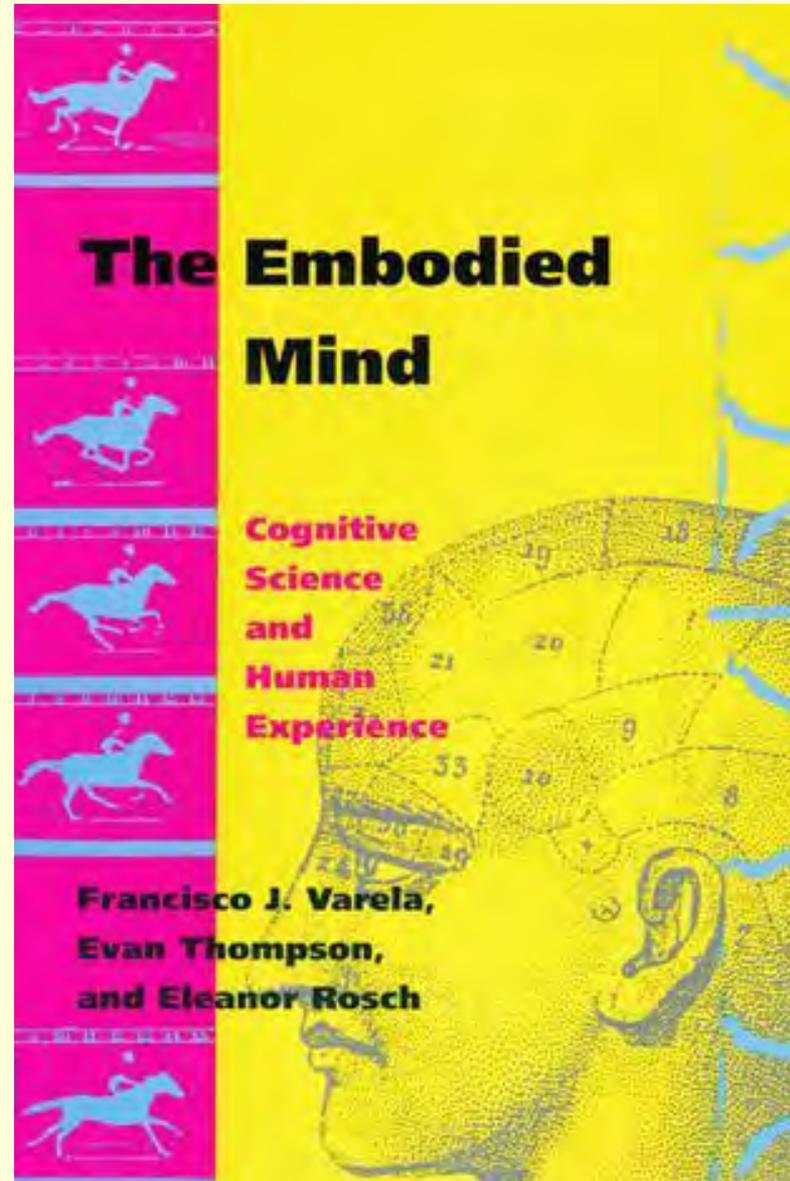
À partir du début des années 1990,

les **systemes dynamiques incarnés** vont critiquer  
le cognitivisme **et** le connexionnisme

Ils vont prendre en compte non seulement le cerveau, mais le **corps**  
particulier d'un organisme et l'environnement dans lequel il évolue...



...et ce, en **temps réel** !



Pendant longtemps :

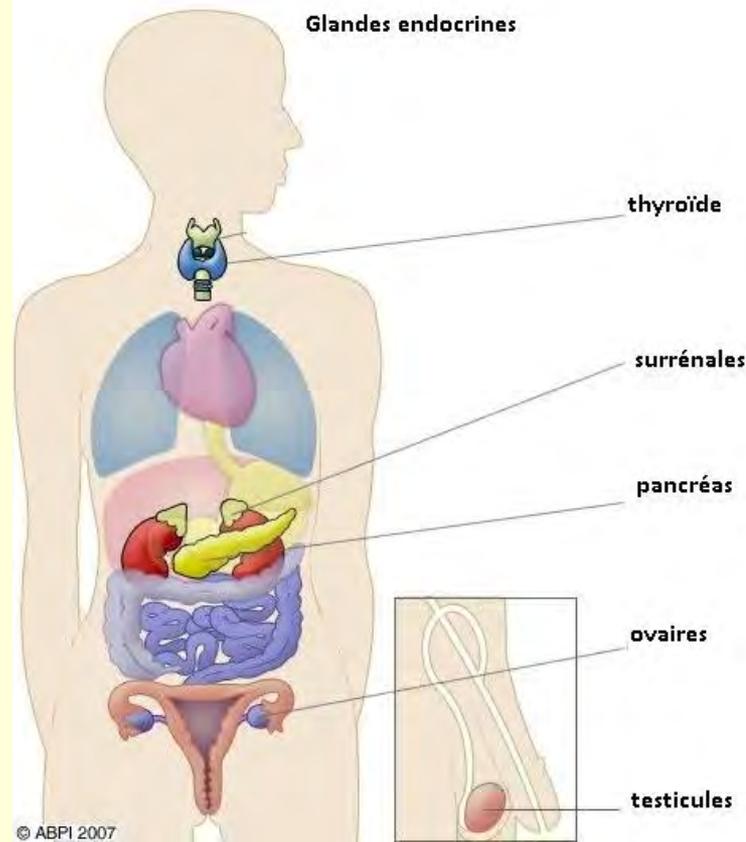
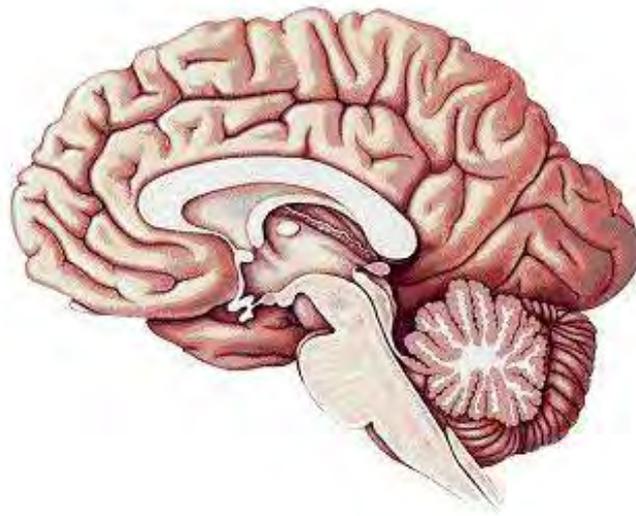
Cerveau

neurotransmetteurs

----- ~~SÉPARATION~~ -----

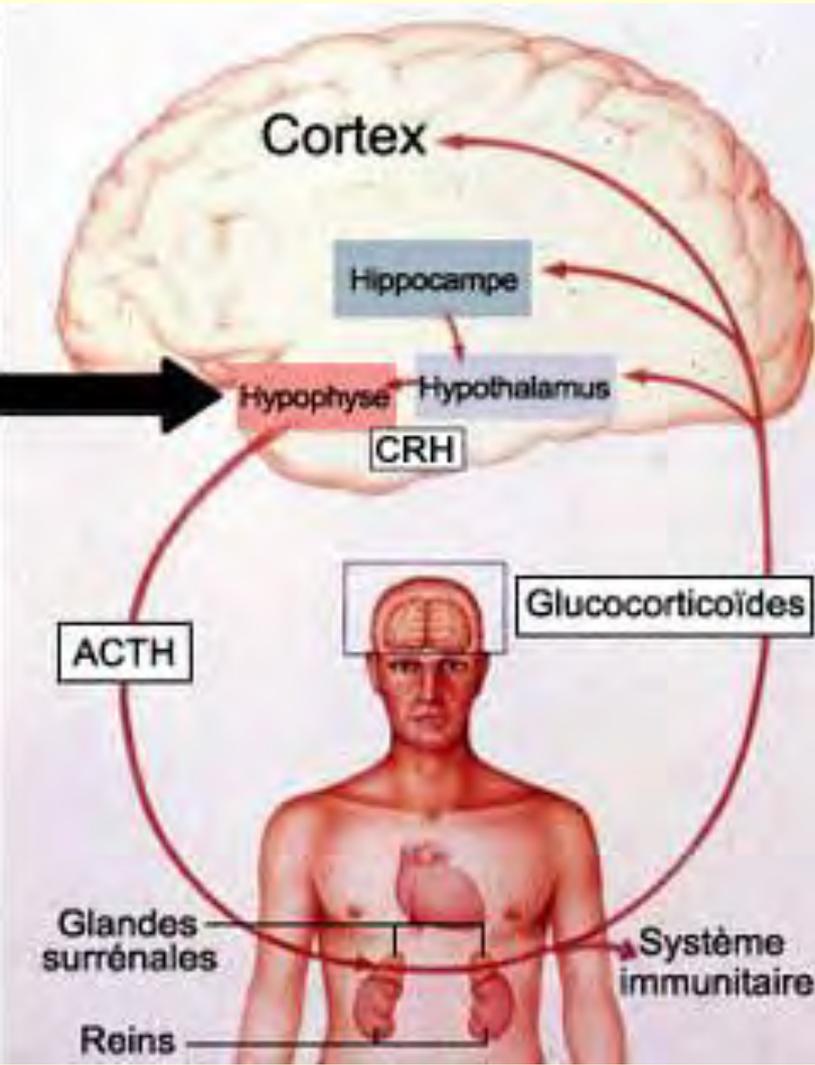
Corps

hormones



## *La Neuroendocrinologie*

- étudie les interactions entre le **système nerveux** et le **système endocrinien**



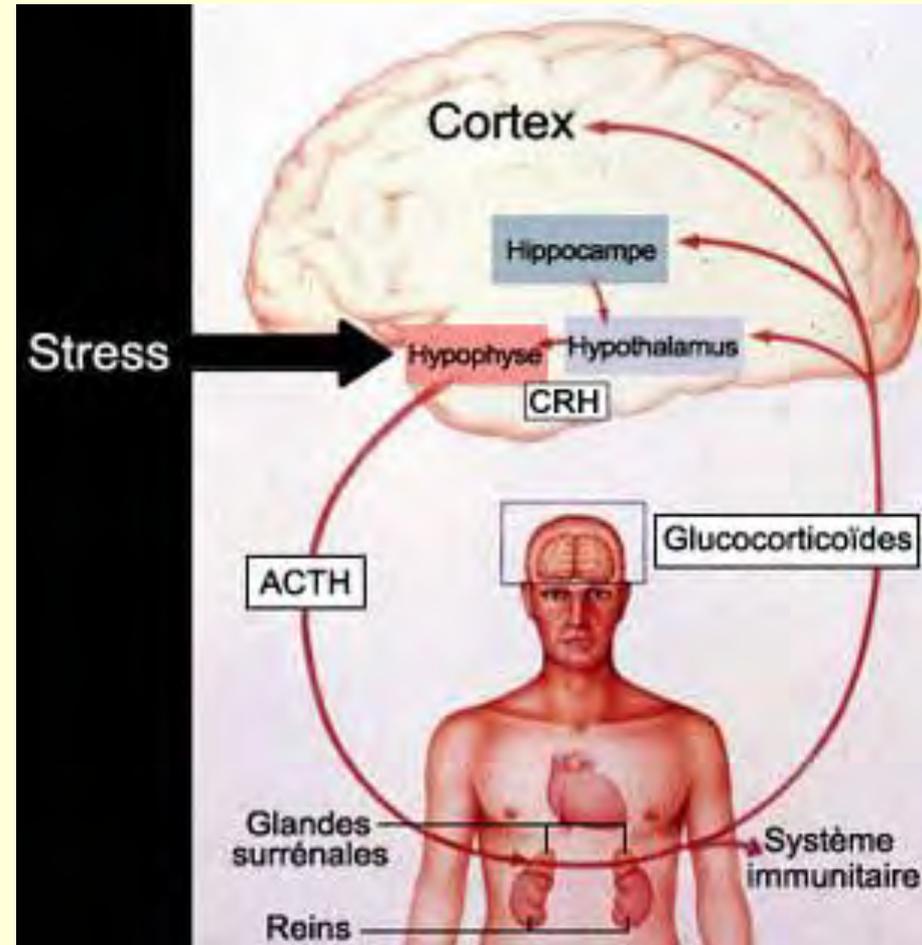
## Neuro-psycho-immunologie

Certaines hormones, comme les glucocorticoïdes, qui demeurent à un taux élevé durant une longue période dans le sang, vont **affaiblir le système immunitaire** et même affecter le cerveau.

D'où les **maladies dites « de civilisation »** que l'on peut associer à l'inhibition de l'action (maladies cardio-vasculaire, ulcère d'estomac, etc)

**Cours 7 :** A- La cognition située dans un « corps-cerveau-environnement »

B- Exemples de modèles de cognition incarnée

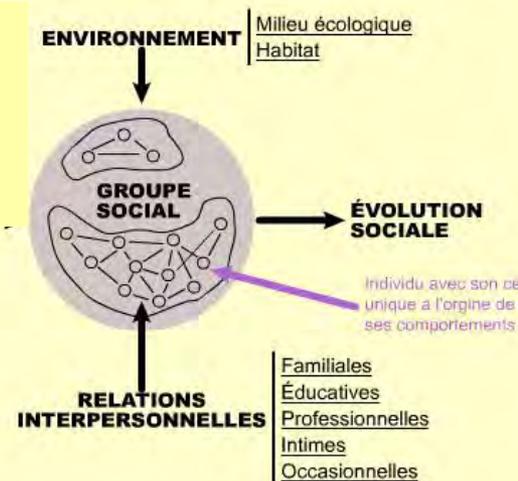
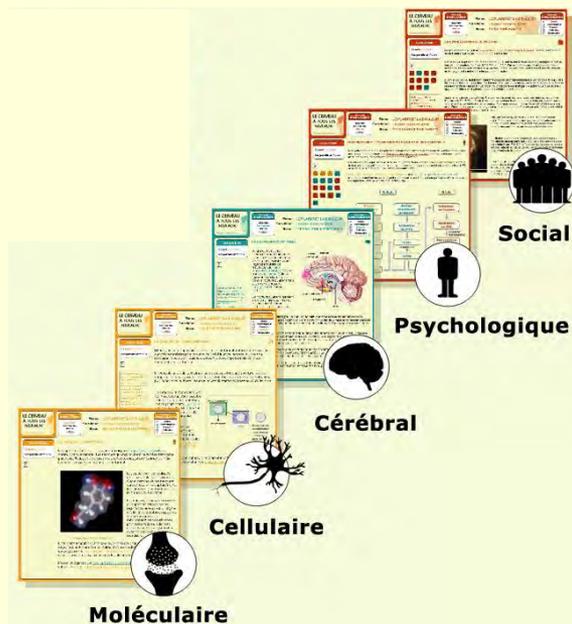


D'ailleurs sur l'enseignement, en guise de conclusion, Laborit écrivait :

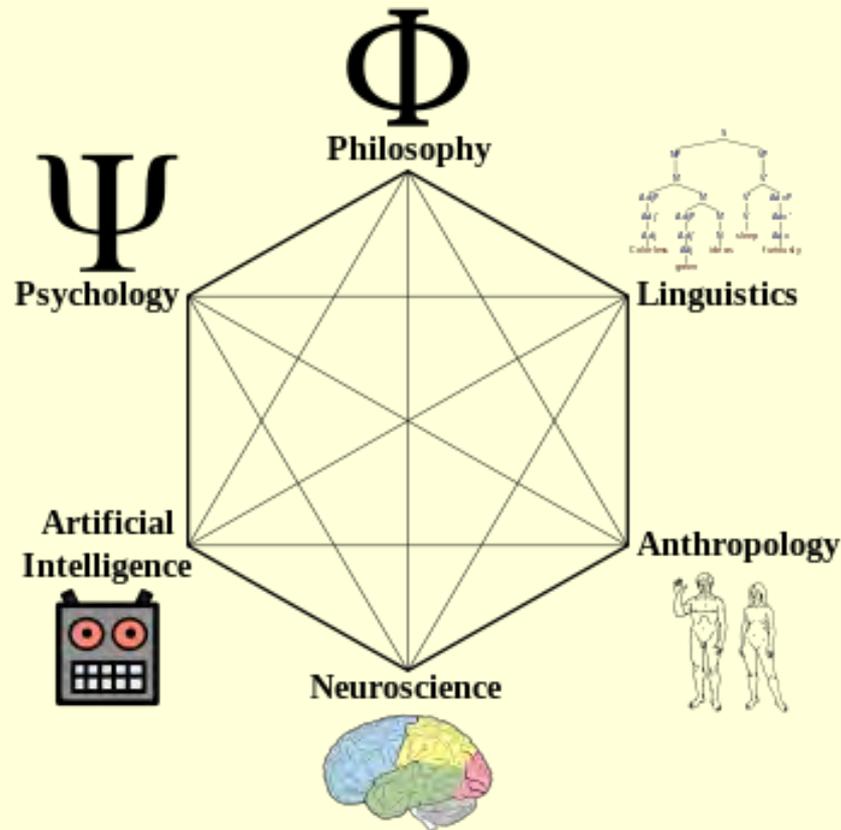
« Chaque heure passée par un enfant sur un banc d'école devrait commencer par définir la structure de ce qui va être dit **dans les structures d'ensemble.**

Chaque chose apprise doit se mettre en place **dans un cadre plus vaste**, par niveaux d'organisation [...], aussi bien dans le sens horizontal du présent, que vertical du passé et de l'avenir. »

**Cours 8 :** A- Libre arbitre et neuroscience  
B- Vers une neuropédagogie ?



J'ai l'impression que Laborit se sentirait quand même moins seul aujourd'hui dans ce réseau transdisciplinaire que sont devenues les **sciences cognitives** et dont les **neurosciences** font partie.



Avec des congrès  
comme celui-ci

tenu en 2008 et  
ayant pour titre

« Des molécules à  
la pensée ».

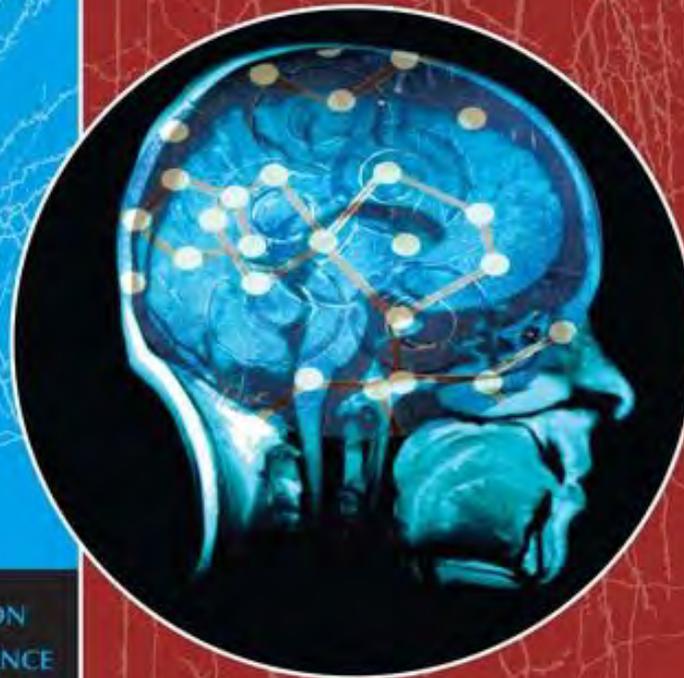
**Cours 6 :** A- Penser à partir de ce  
que l'on perçoit : l'exemple de la  
lecture, la catégorisation, les  
concepts, les analogies

B- Les « fonctions  
supérieures » : langage,  
attention, conscience

INSTITUTE OF MEDICINE  
OF THE NATIONAL ACADEMIES

# FROM MOLECULES TO MINDS

Challenges for  
the 21st Century



FORUM ON  
NEUROSCIENCE  
AND NERVOUS  
SYSTEM  
DISORDERS

WORKSHOP SUMMARY

« [...] all fields require actors who are sensitive to the **anomalies** which constantly surround us.

***These anomalies must be maintained in a state of suspension or cultivation while one can find an alternative expression which reformulates the anomaly as a central problem of life and knowledge.***”

– F. Varela



**Invitation aux sciences cognitives, Francisco Varela, Seuil, 1988.**

<http://4cristol.over-blog.com/article-invitation-aux-sciences-cognitives-francisco-varela-seuil-1988-100204822.html>

**Aux origines des sciences cognitives, Jean-Pierre DUPUY,  
La Découverte, 2005**

[http://www.editionsladecouverte.fr/catalogue/index-Aux origines des sciences cognitives-9782707147752.html](http://www.editionsladecouverte.fr/catalogue/index-Aux%20origines%20des%20sciences%20cognitives-9782707147752.html)

# L'apport des neurosciences... à tous les niveaux !

**Cours 1 :** A- Multidisciplinarité des sciences cognitives

B- D'où venons-nous ?, ou la longue histoire  
de notre système nerveux



Voilà l'objet dont nous allons parler.  
Avec sa forme étrange, mais aussi...



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

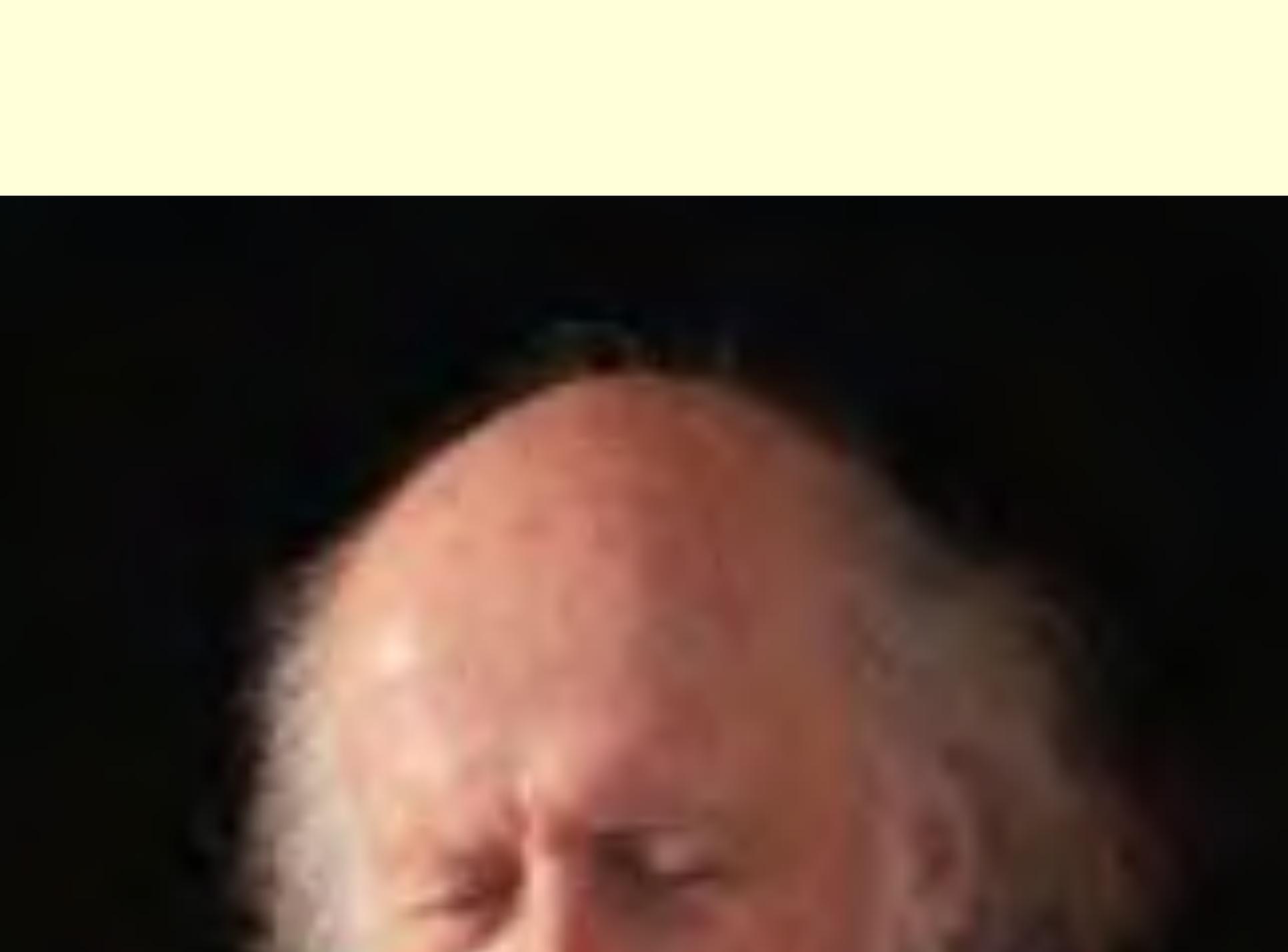


Mais c'est pas juste le cerveau qui est complexe,



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







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

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

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

- Hubert Reeves



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



...parce que le désordre (ou entropie)  
croît à l'échelle de l'univers.

Les systèmes vivants  
peuvent créer de l'ordre  
localement...

Dans un système **isolé** comme l'univers, l'énergie se  
conserve (1<sup>er</sup> principe de la thermodynamique)

Et...

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

(2<sup>e</sup> principe de la thermodynamique)





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

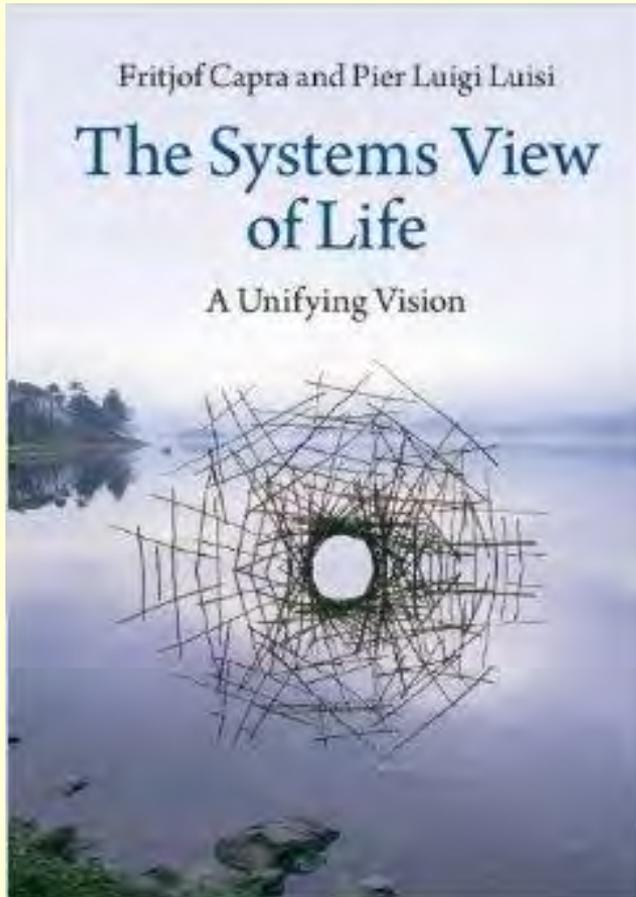


...parce qu'il continue d'y avoir croissance du désordre à l'échelle de l'univers.

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

Et cette complexité va pouvoir croître dans ce qu'on appelle des **systèmes ouverts**, c'est-à-dire qui peuvent échanger de la matière et de l'énergie avec le milieu extérieur.

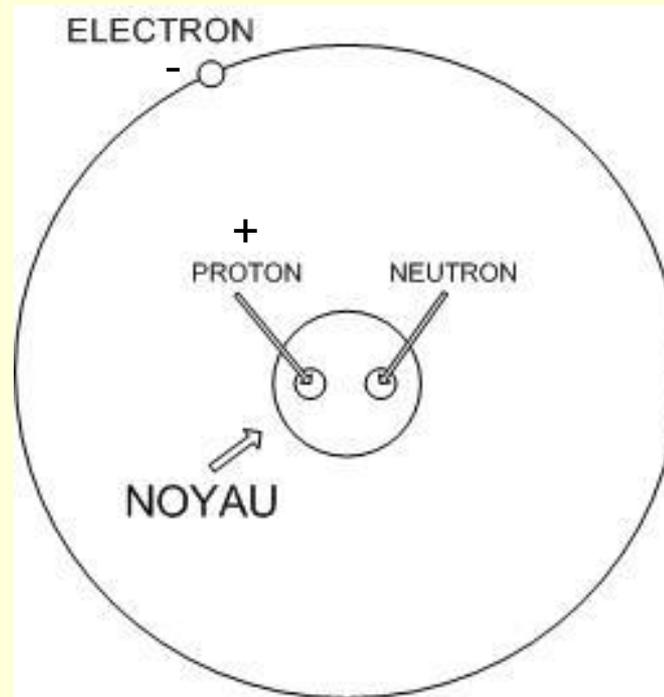
- The Systems View of Life



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

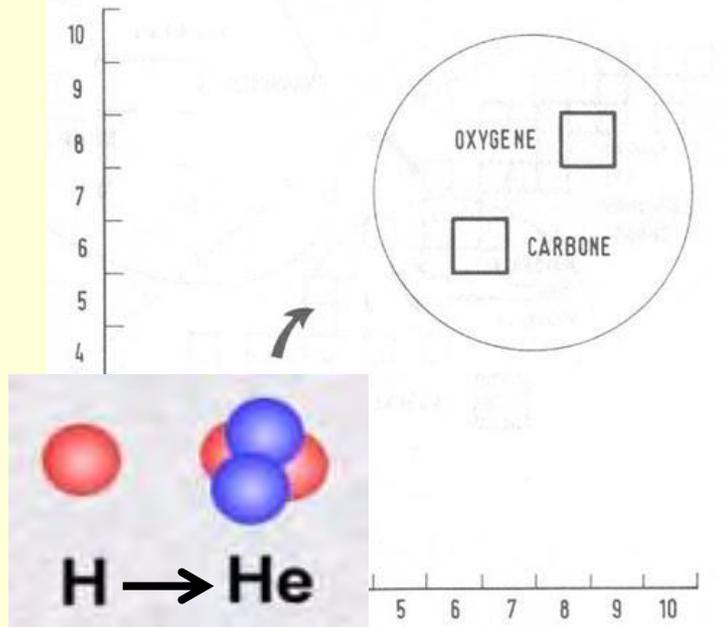
- l'étude de la **matière** : de quoi c'est fait ?
- l'étude de la **forme** : quel est le pattern ?

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

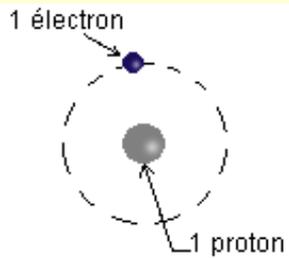


**L'atome** est constitué d'un noyau concentrant plus de 99,9 % de sa masse autour duquel se distribuent des électrons pour former un nuage 100 000 fois plus étendu que le noyau lui-même (donc schéma pas à l'échelle ici !).

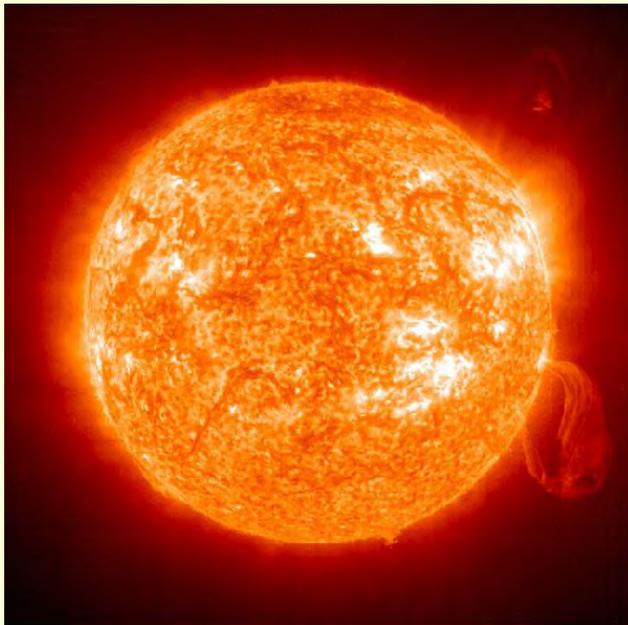
# Combustion de l'hélium



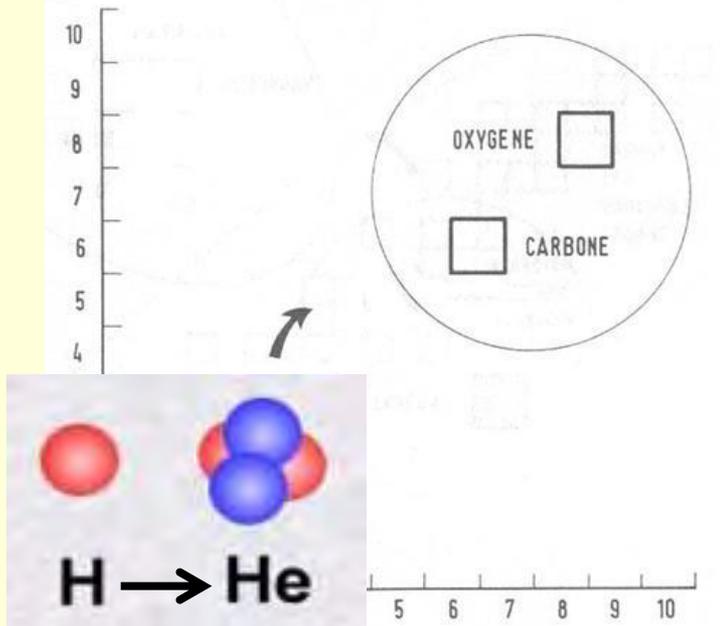
- l'étude de la **matière** : de quoi c'est fait ?



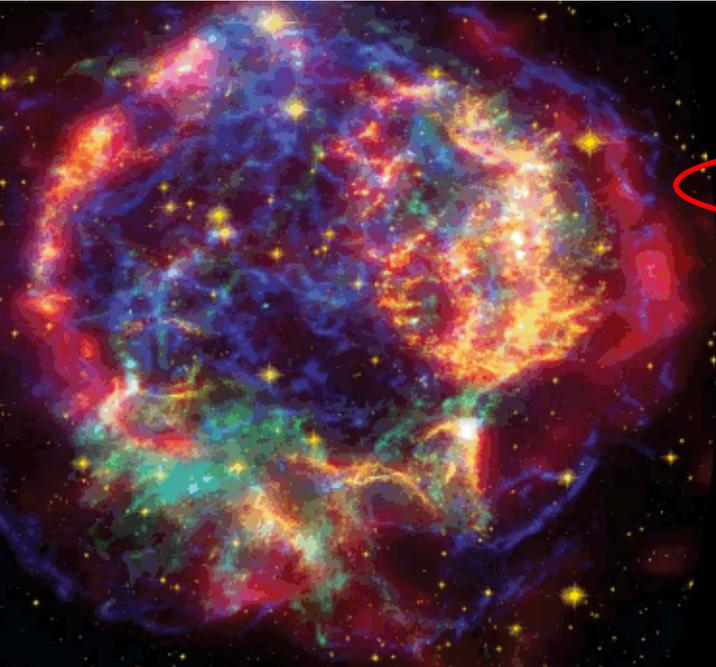
Hydrogène



# Combustion de l'hélium



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



**Elles s'éclatent pour vous!**

Sans les étoiles mortes, vous ne seriez pas là.

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

[craq-astro.ca](http://craq-astro.ca)

CoolCosmos.net

# Tableau Périodique des Éléments

1 IA New Original																	18 VIIIA	
1 H Hydrogène 1.00794																	2 He Hélium 4.002602	
3 Li Lithium 6.941	4 Be Béryllium 9.012182																	10 Ne Néon 20.1797
11 Na Sodium 22.989770	12 Mg Magnésium 24.3050	3 IIIB	4 IVB	5 VB	6 VIB	7 VIIB	8	9 VIII B	10	11 IB	12 IIB	13 IIIA	14 IVA	15 VA	16 VIA	17 VIIA	18 Ar Argon 39.948	
19 K Potassium 39.0983	20 Ca Calcium 40.078	21 Sc Scandium 44.955910	22 Ti Titane 47.867	23 V Vanadium 50.9415	24 Cr Chrome 51.9961	25 Mn Manganèse 54.938049	26 Fe Fer 55.8457	27 Co Cobalt 58.933200	28 Ni Nickel 58.6934	29 Cu Cuivre 63.546	30 Zn Zinc 65.409	31 Ga Gallium 69.723	32 Ge Germanium 72.64	33 As Arsenic 74.92160	34 Se Sélénium 78.96	35 Br Brome 79.904	36 Kr Krypton 83.798	
37 Rb Rubidium 87.4678	38 Sr Strontium 87.62	39 Y Yttrium 88.90585	40 Zr Zirconium 91.224	41 Nb Niobium 92.90638	42 Mo Molybdène 95.94	43 Tc Technétium (98)	44 Ru Ruthénium 101.07	45 Rh Rhodium 102.90550	46 Pd Palladium 106.42	47 Ag Argent 107.8682	48 Cd Cadmium 112.411	49 In Indium 114.818	50 Sn Étain 118.710	51 Sb Antimoine 121.760	52 Te Tellure 127.60	53 I Iode 126.90447	54 Xe Xénon 131.293	
55 Cs Césium 132.90545	56 Ba Baryum 137.327	57 to 71		72 Hf Hafnium 178.49	73 Ta Tantale 180.9479	74 W Tungstène 183.84	75 Re Rhénium 186.207	76 Os Osmium 190.23	77 Ir Iridium 192.217	78 Pt Platine 195.078	79 Au Or 196.96655	80 Hg Mercure 200.59	81 Tl Thallium 204.3833	82 Pb Plomb 207.2	83 Bi Bismuth 208.98038	84 Po Polonium (209)	85 At Astate (210)	86 Rn Radon (222)
87 Fr Francium (223)	88 Ra Radium (226)	89 to 103		104 Rf Rutherfordium (261)	105 Db Dubnium (262)	106 Sg Seaborgium (266)	107 Bh Bohrium (264)	108 Hs Hassium (269)	109 Mt Meitnerium (268)	110 Ds Darmstadtium (271)	111 Rg Roentgenium (272)	112 Uub Ununbium (285)	113 Uut Ununtrium (284)	114 Uuq Ununquadium (289)	115 Uup Ununpentium (288)	116 Uuh Ununhexium (292)	117 Uus Ununseptium	118 Uuo Ununoctium

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

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

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

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

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

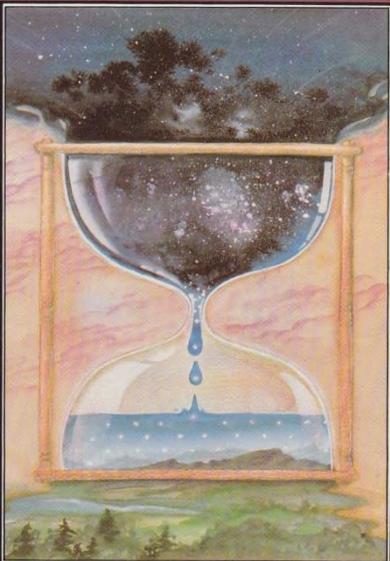
Pour essayer de comprendre sa place dans l'univers,



Hubert Reeves

# PATIENCE DANS L'AZUR

L'ÉVOLUTION COSMIQUE



QUÉBEC SCIENCE  
ÉDITEUR

(1981)

KS  
NS

ght ingre-  
ough to create  
complexity.  
so need  
ght" to trigger  
his section  
at those  
ere.

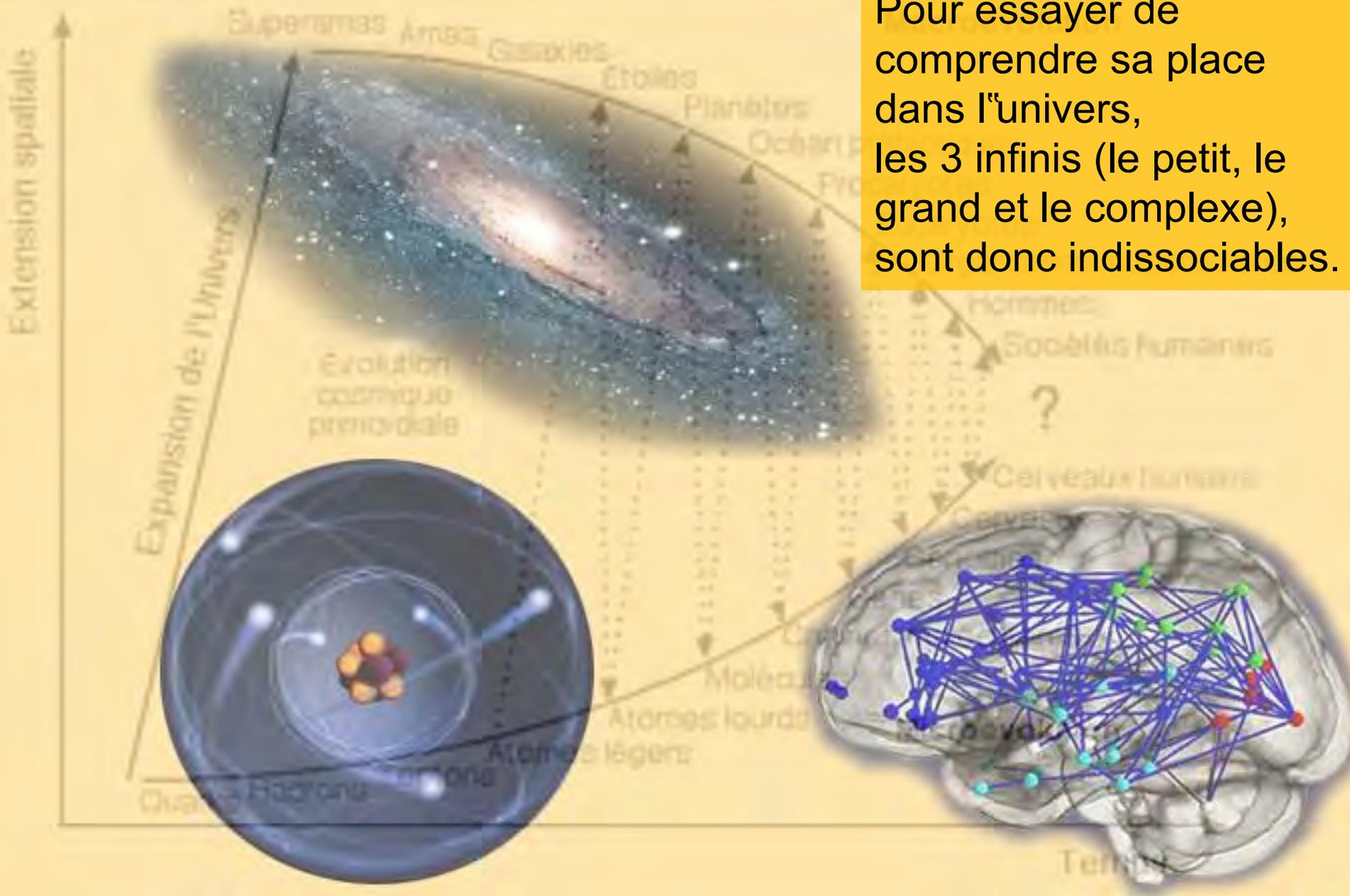
## NEW COMPLEXITY

Each threshold results in entirely new things that are more complex than anything before. This section identifies what those are. They'll always have more diverse components that, when arranged in precise ways, contain "emergent" properties unlike any others in existence.

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

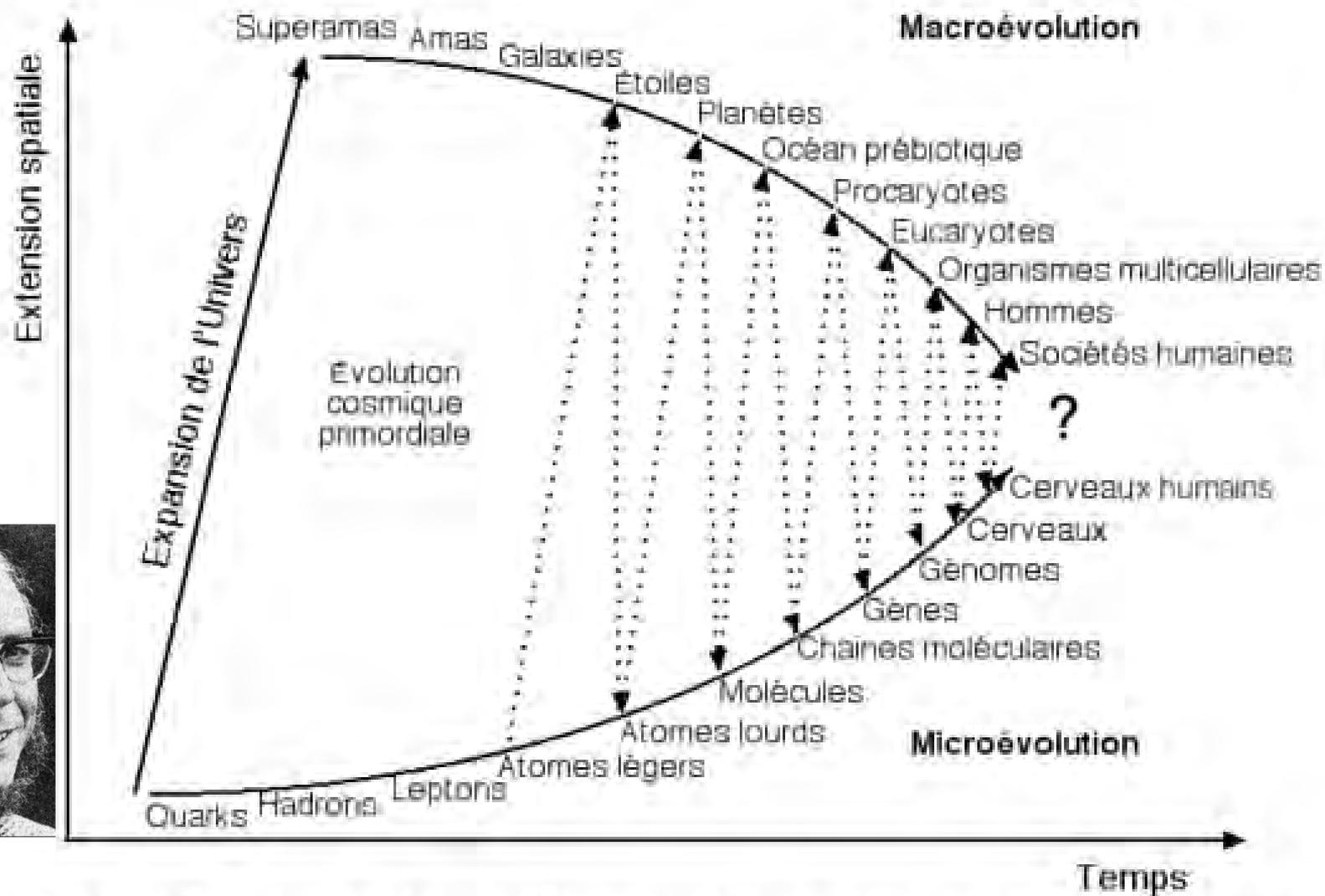


Pour essayer de comprendre sa place dans l'univers, les 3 infinis (le petit, le grand et le complexe), sont donc indissociables.

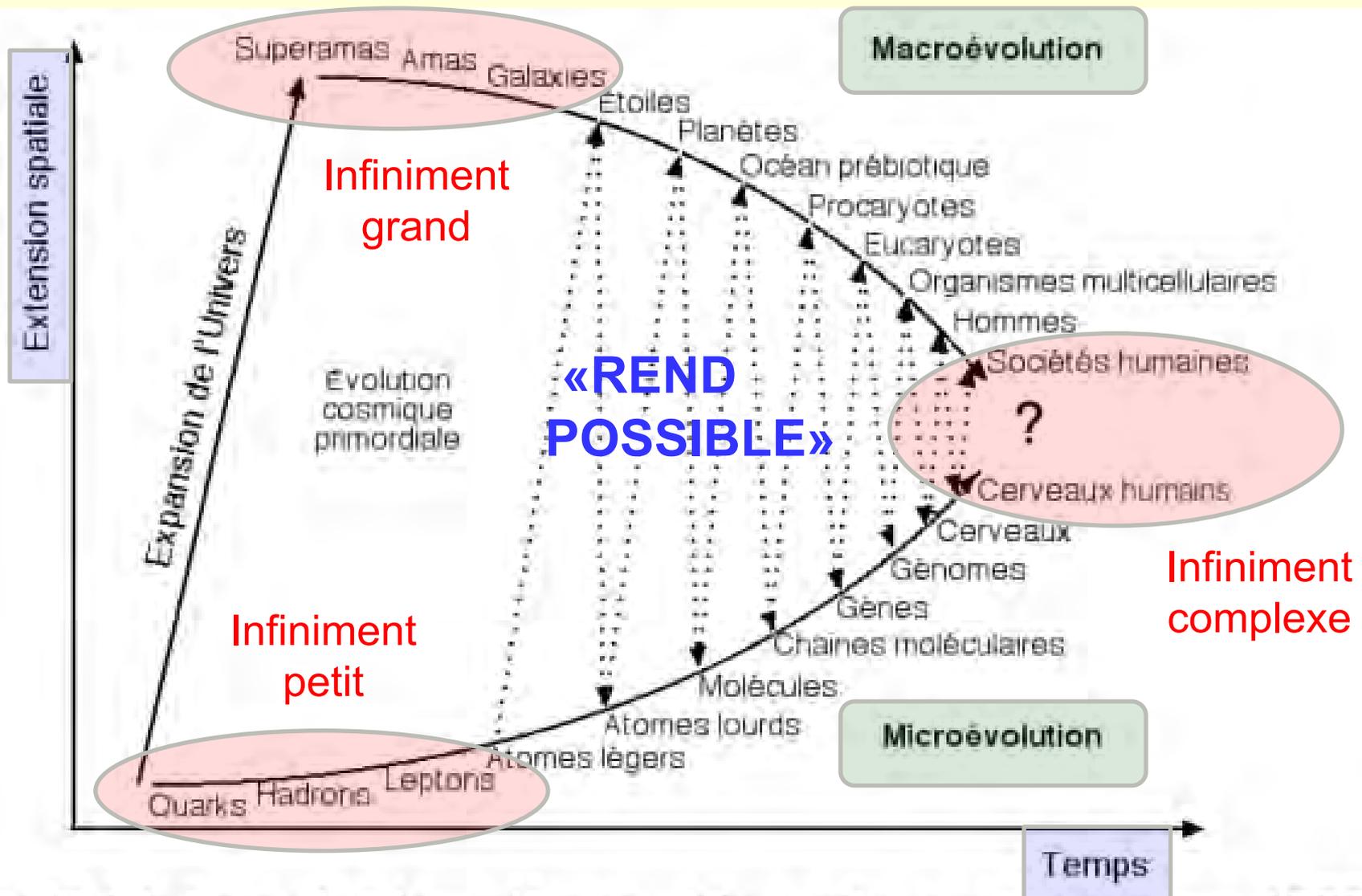




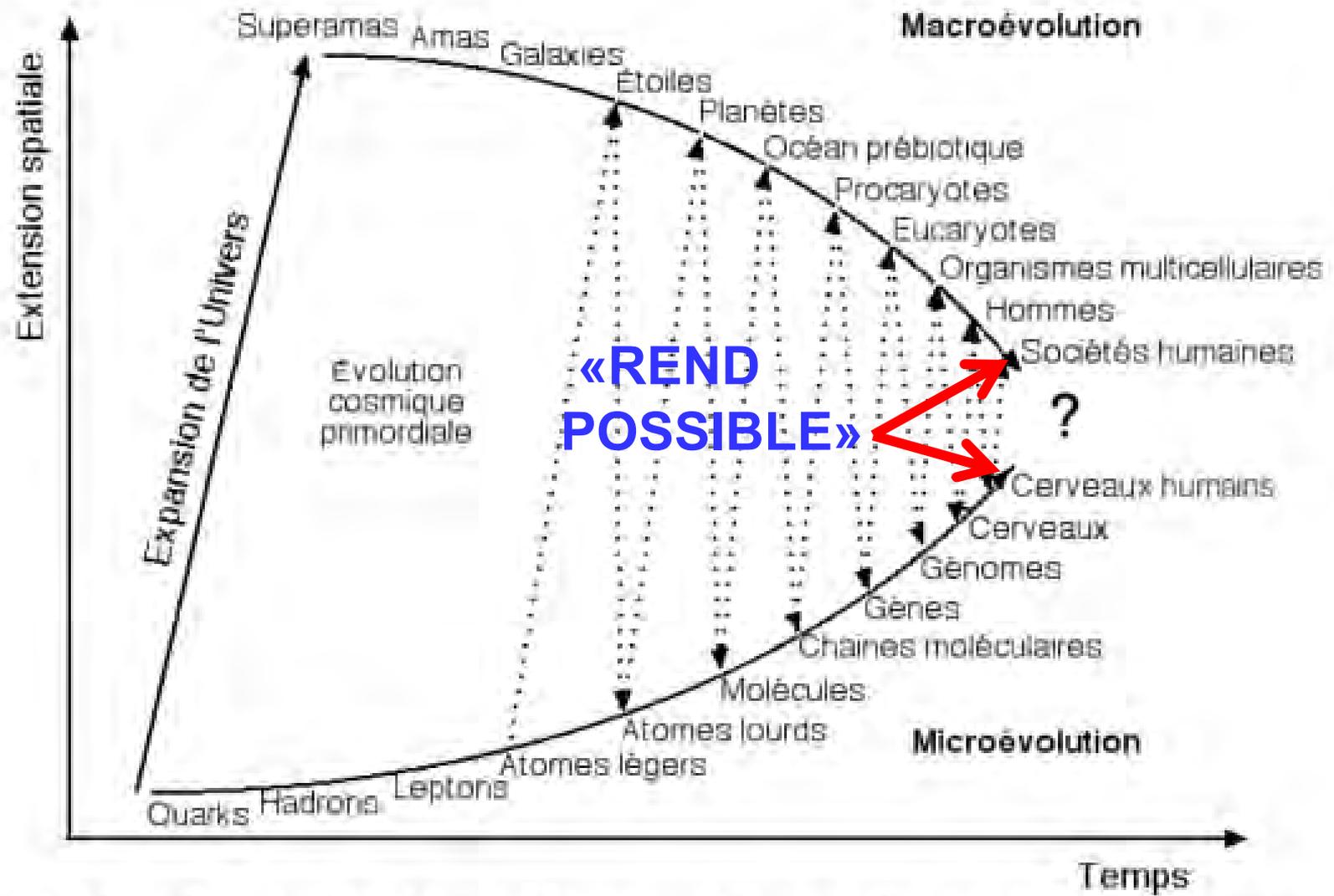
(1929 - 1980)



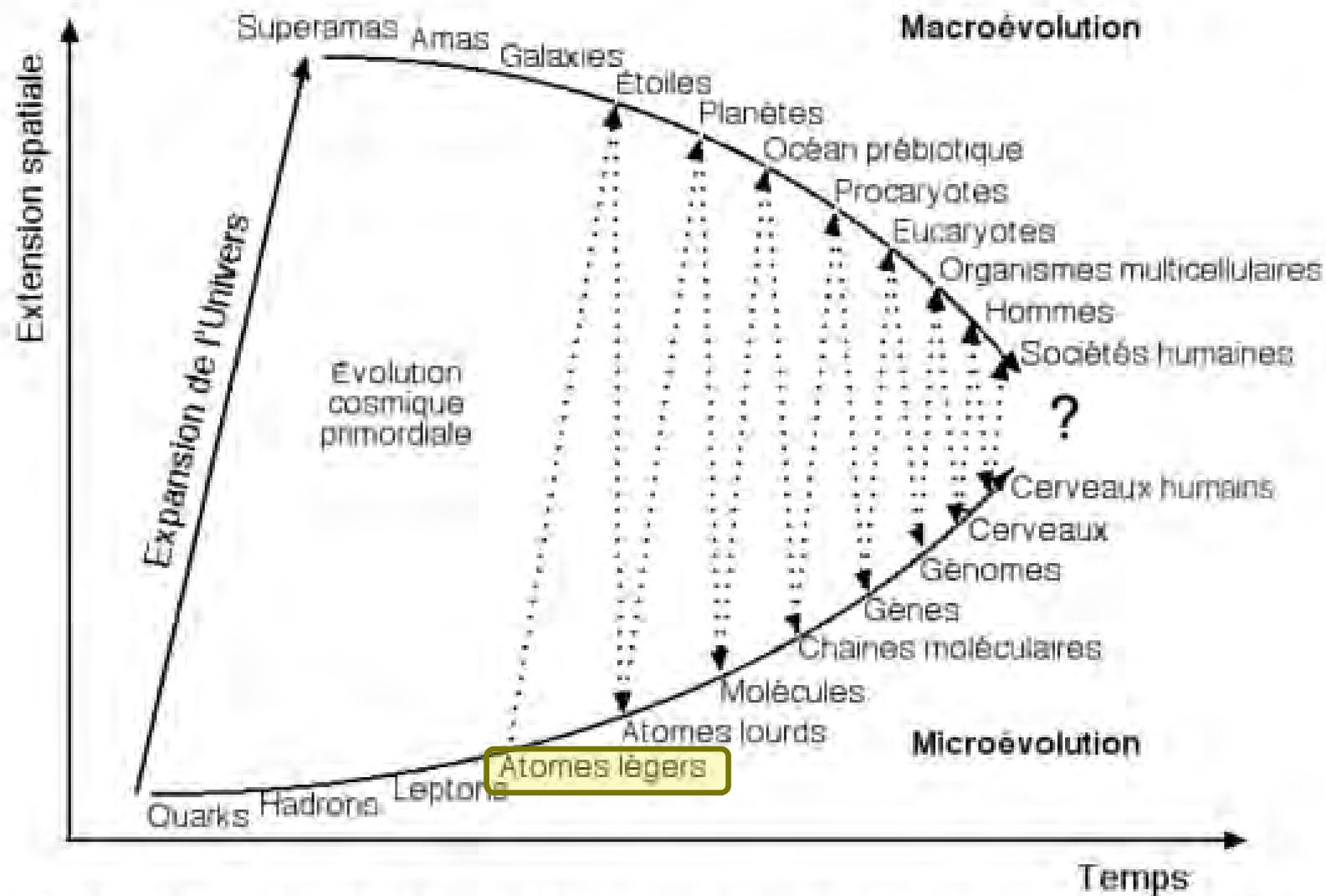
D'après Erich Jantsch, *The self-organizing universe*, Pergamon, 1980.



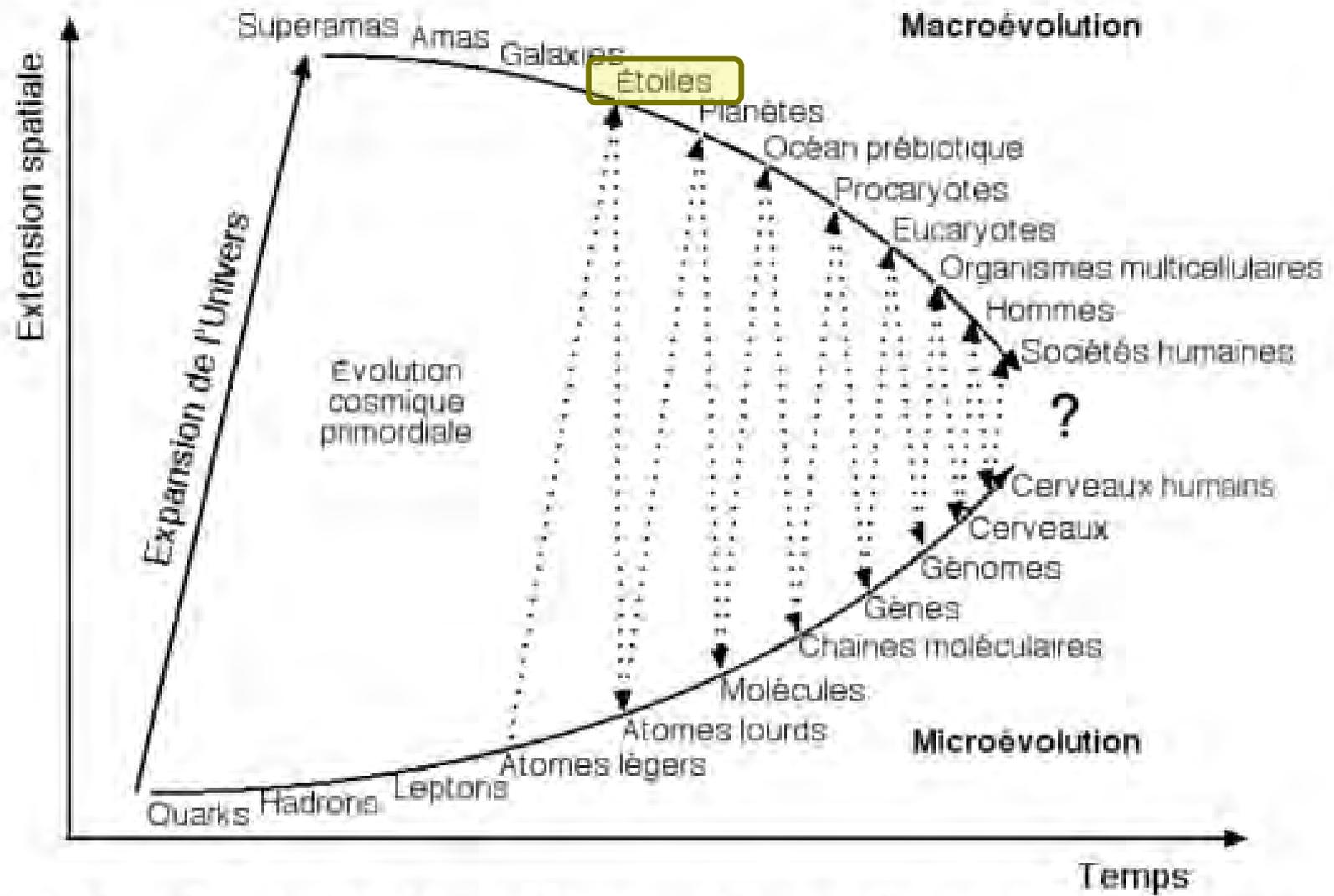
D'après Erich Jantsch, *The self-organizing universe*, Pergamon, 1980.



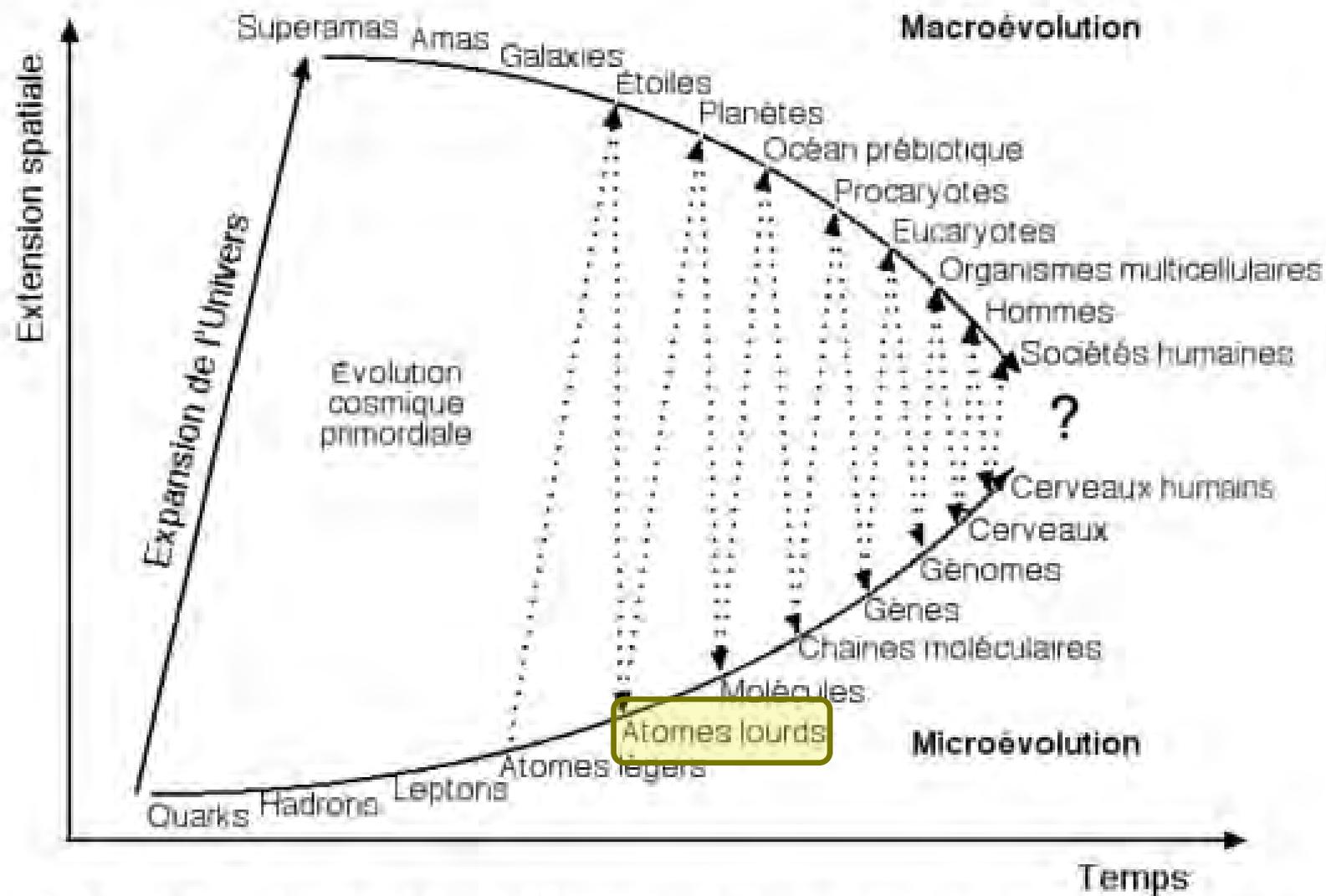
D'après Erich Jantsch, *The self-organizing universe*, Pergamon, 1980.



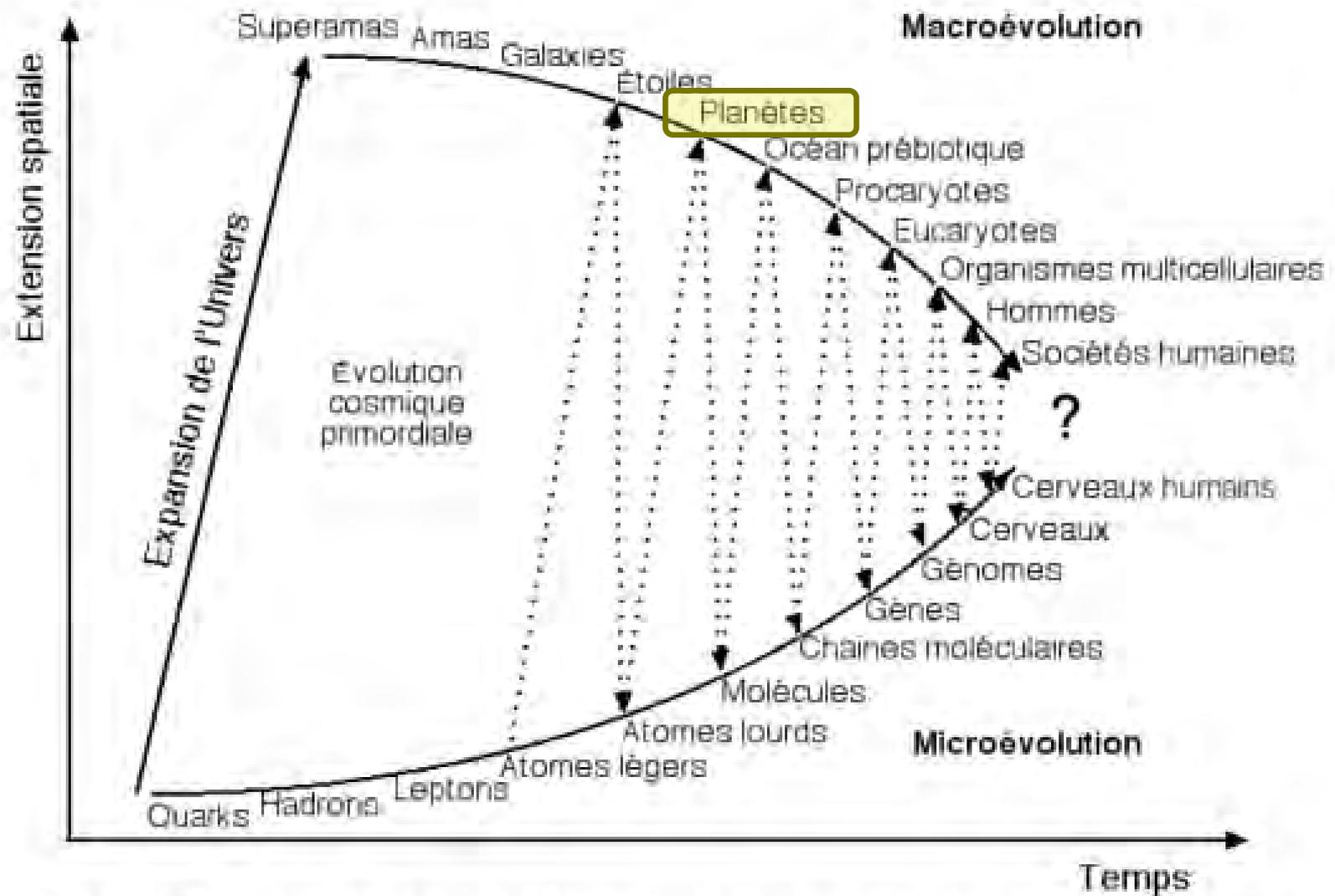
D'après Erich Jantsch, *The self-organizing universe*, Pergamon, 1980.



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



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



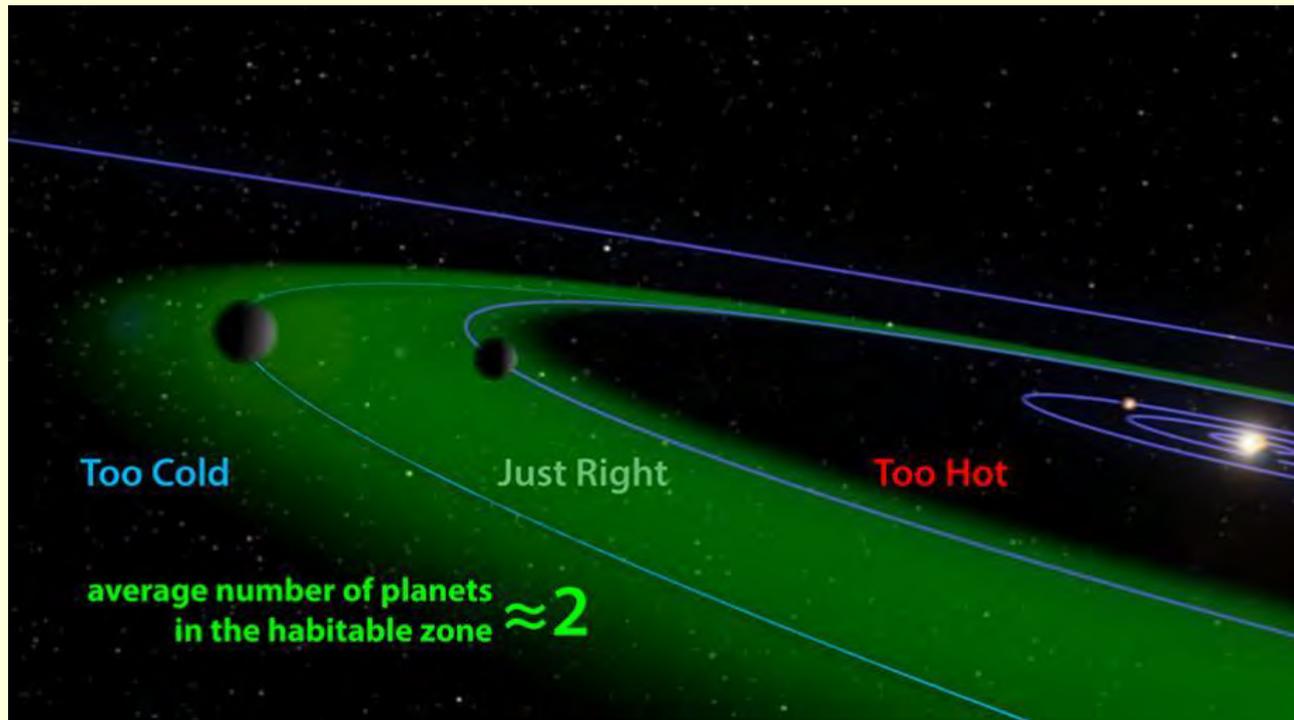
D'après Erich Jantsch, *The self-organizing universe*, Pergamon, 1980.

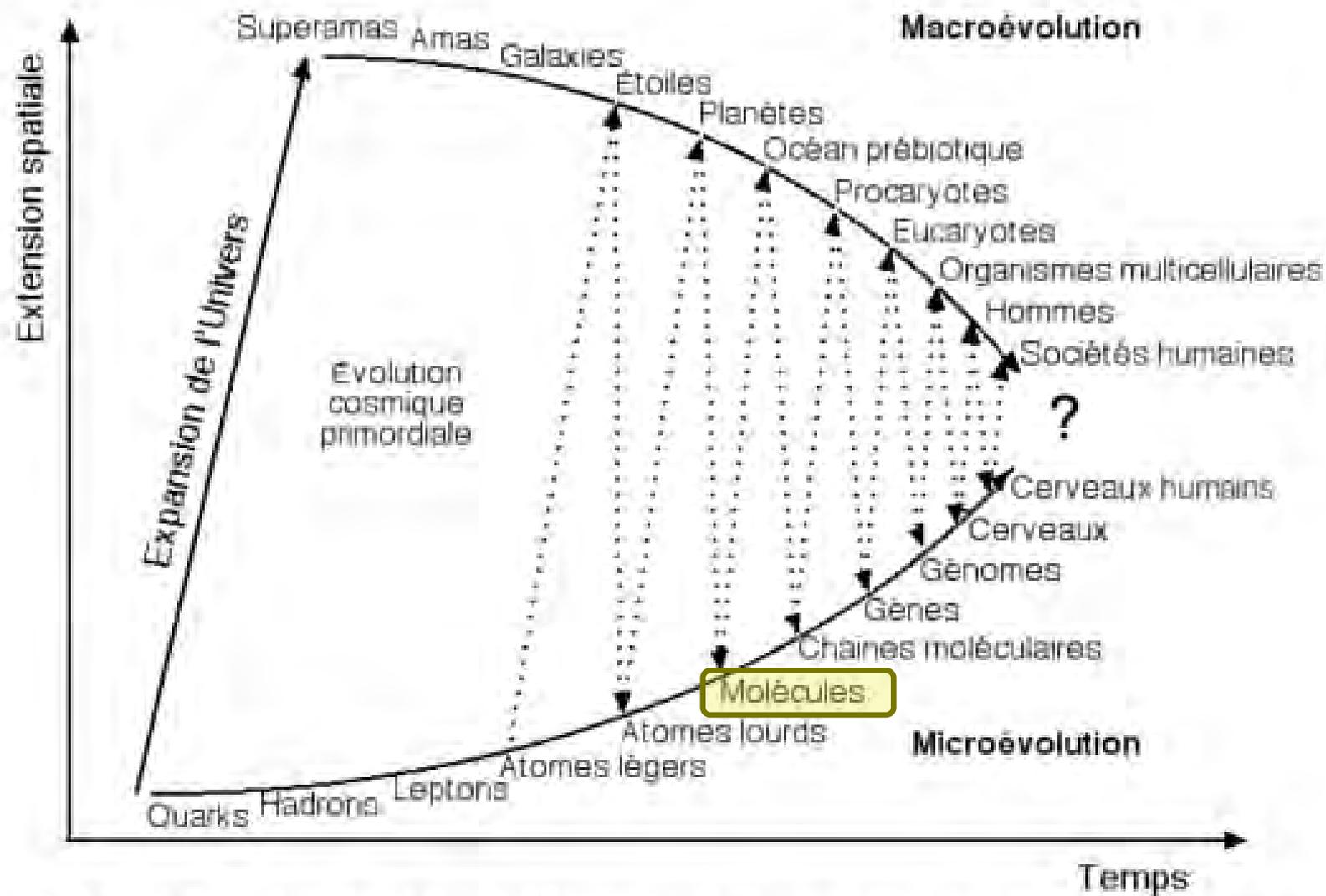
# Le nombre estimé de planètes « habitables » dans notre galaxie devient vertigineux

Par Erwan Lecomte

Publié le 6 février 2015

Dans une nouvelle publication basée sur les dernières données récoltées par le télescope Kepler, des chercheurs estiment qu'elles **se compteraient en "centaines de milliards"**. C'est bien plus que les dernière estimations.



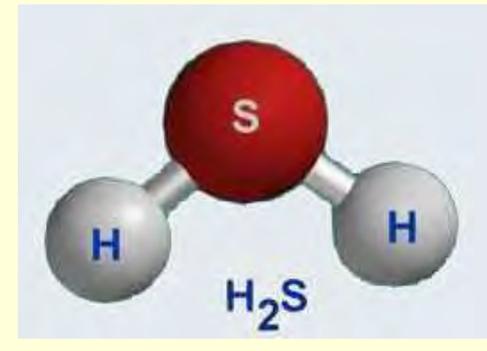
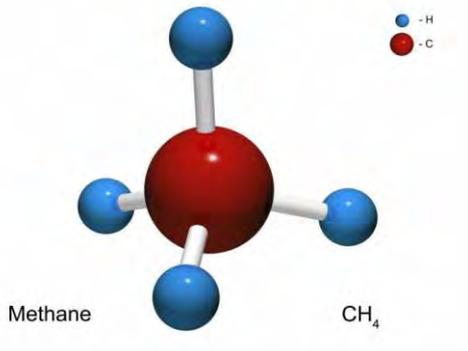
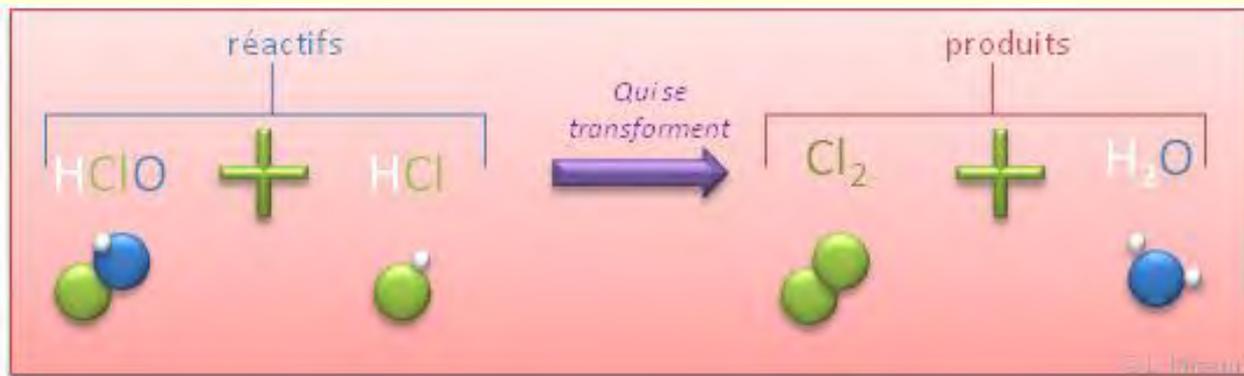


D'après Erich Jantsch, *The self-organizing universe*, Pergamon, 1980.

## Molécule :

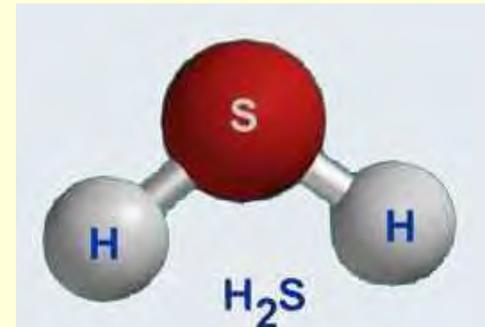
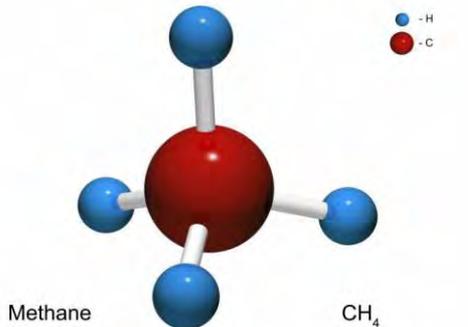
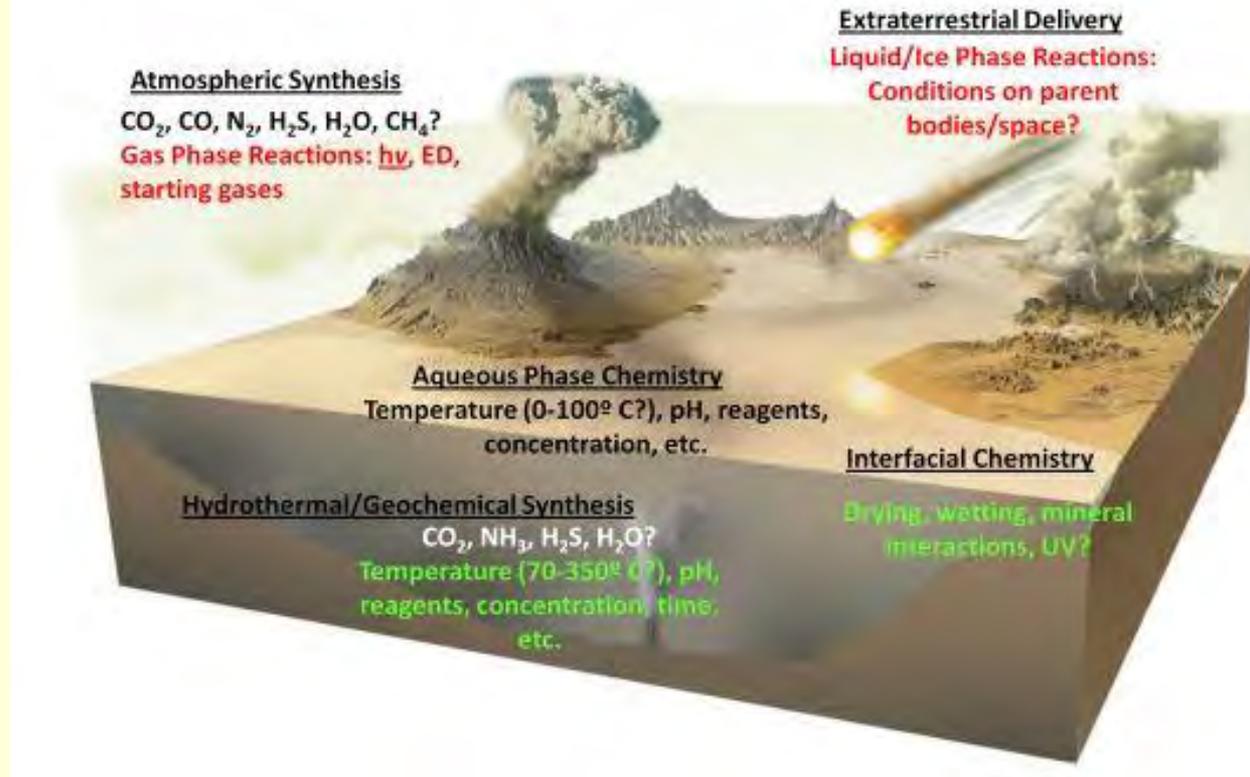
Les molécules constituent des **agrégats atomiques** liés par des liaisons dites « covalentes » d'au moins deux atomes, différents ou non.

L'assemblage d'atomes constituant une molécule **n'est pas définitif**. Il est susceptible de subir des modifications, c'est-à-dire de se transformer en une ou plusieurs autres molécules ; c'est ce qu'on appelle une **réaction chimique**.



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

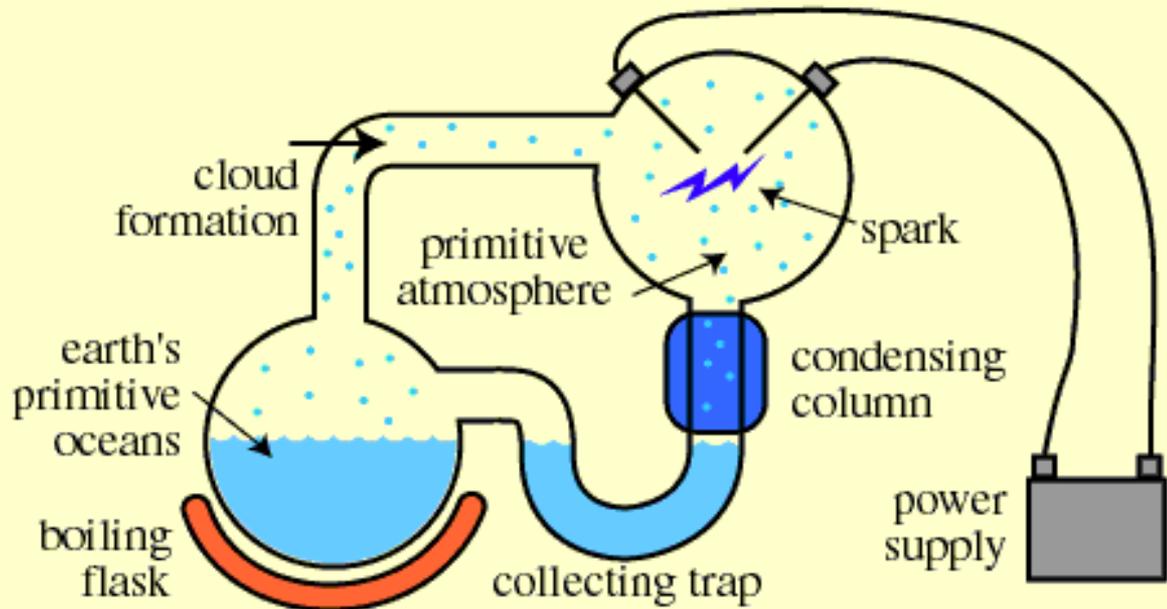


Ces molécules simples ont pu se complexifier jusqu'à un certain point dans les « **mares chaudes** » dont parlait déjà Darwin et qu'on a ensuite appelé « **soupe primitive** ».

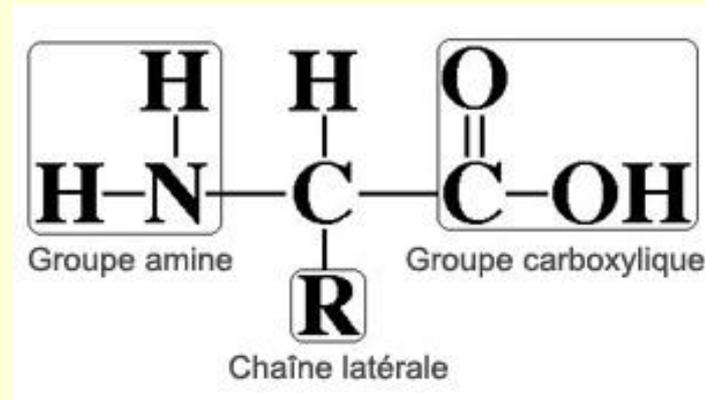


atmosphère et "soupe" primitive

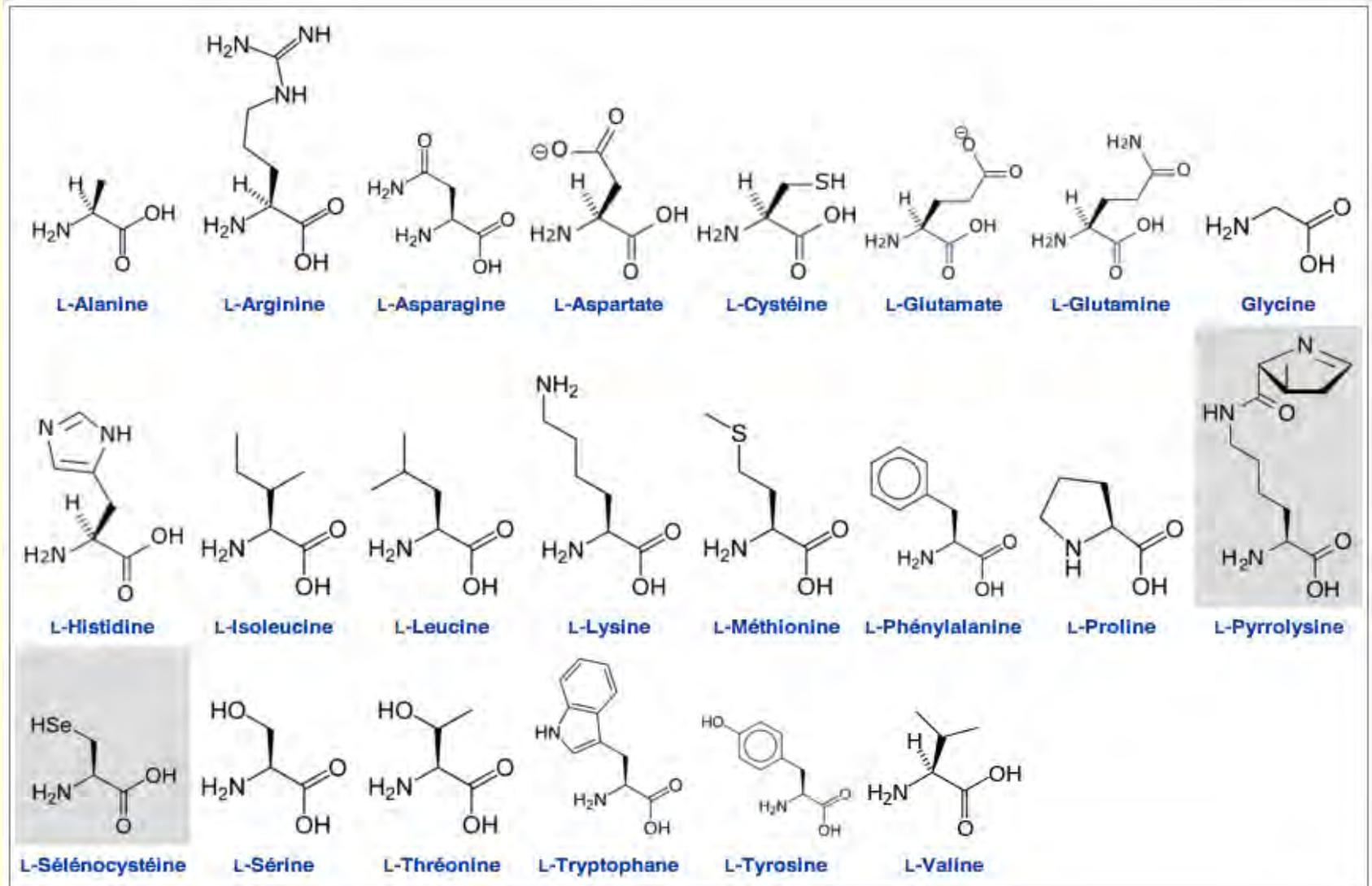
**1953, Miller et Urey :**  
confirment cette hypothèse par une célèbre expérience in vitro où des molécules organiques apparaissent  
(**acides aminés**, etc.)



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



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

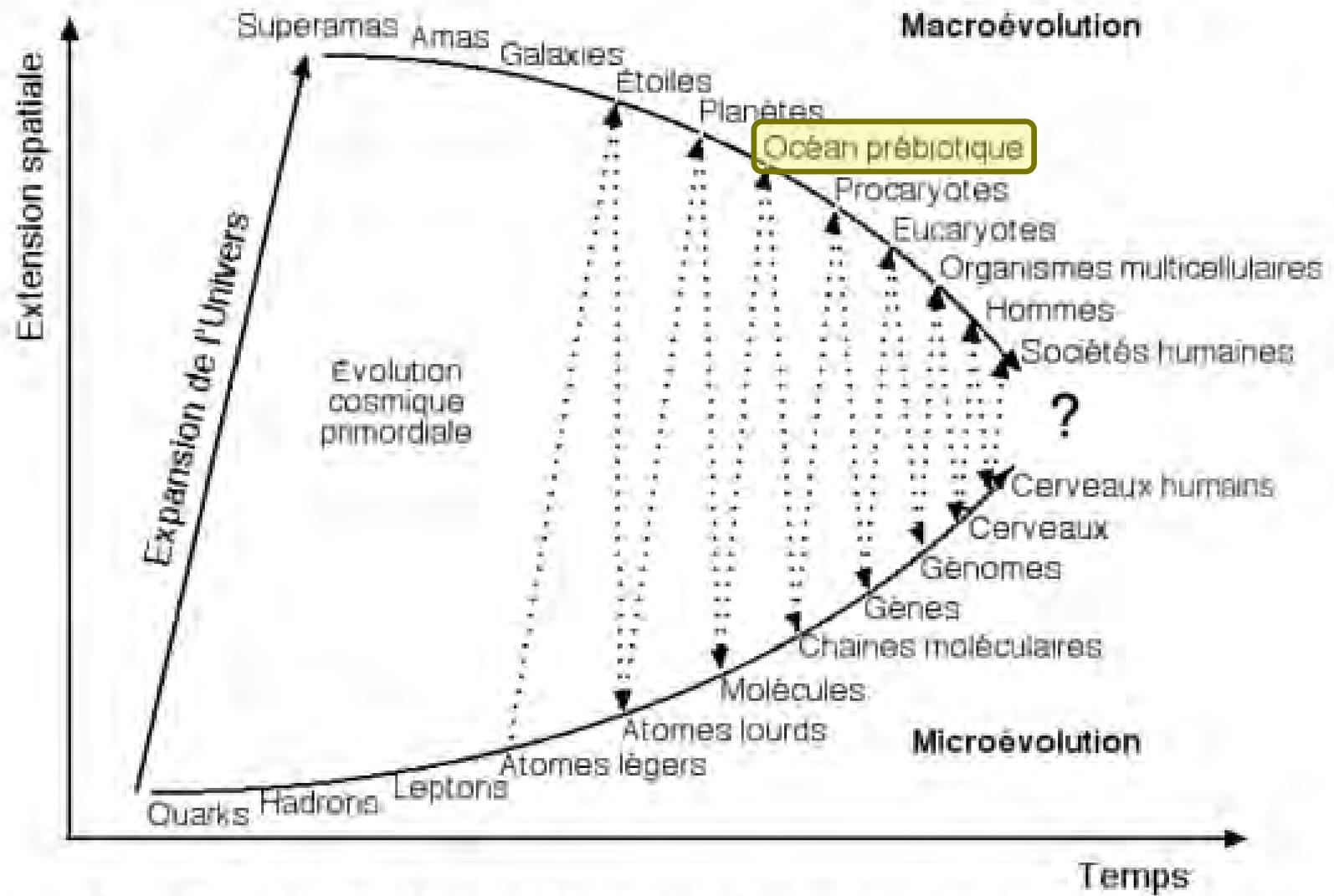


On peut donc dire que le passage de molécules simples vers des molécules organiques comme les acides aminés s'accompagne d'une **croissance de la complexité**.

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 se produisent "spontanément" sans l'intervention de forces extérieures si les bonnes conditions de départ sont réunies.

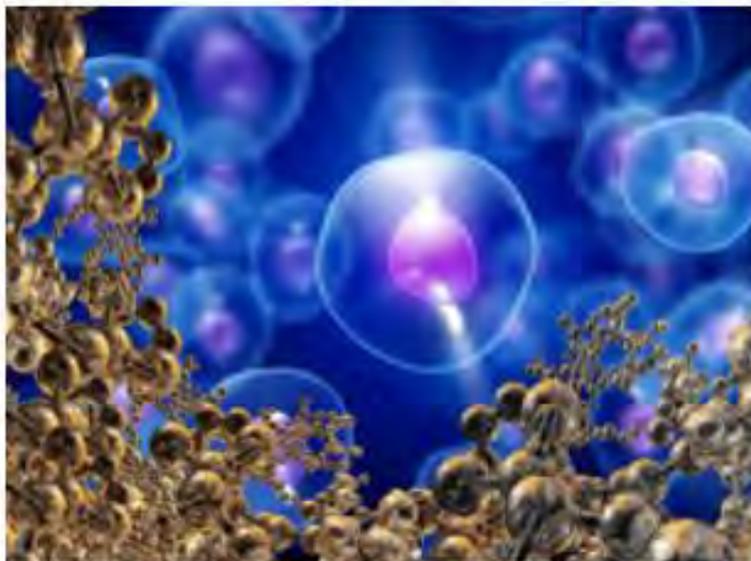


D'après Erich Jantsch, *The self-organizing universe*, Pergamon, 1980.

**CONFÉRENCE - AMPHITHÉÂTRE**

19 mars 2015 - 19h00

DU CHIMIQUE AU BIOLOGIQUE

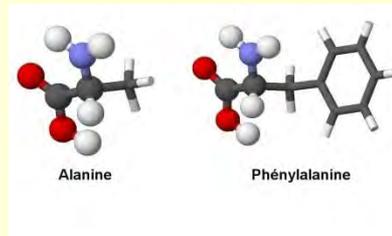
**AINSI VINT LA VIE!****Une conférence de Christophe Malaterre**

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

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

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

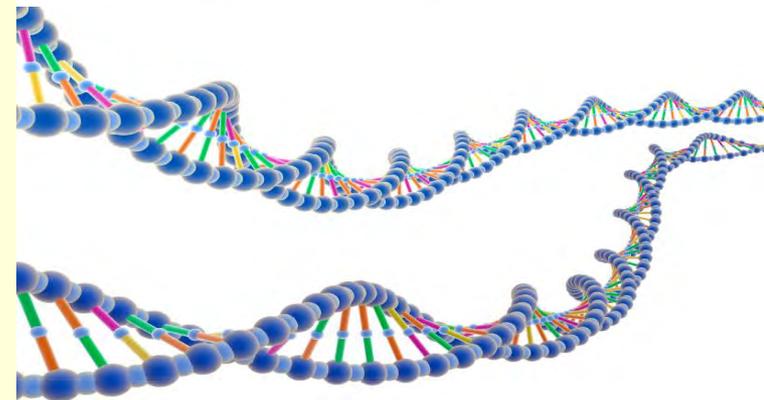
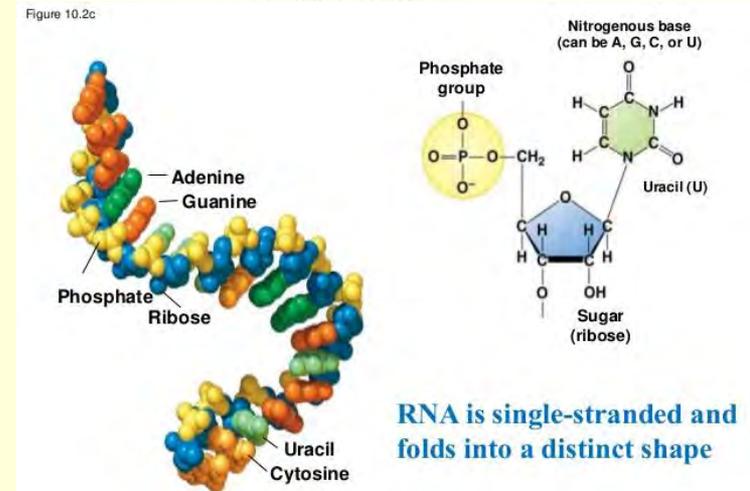
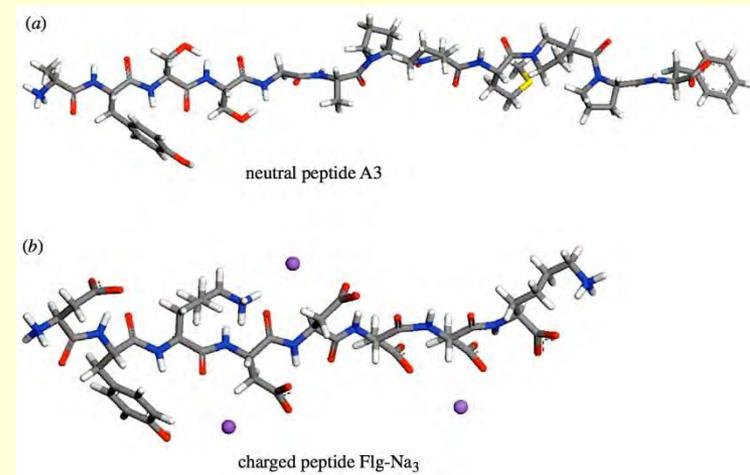
Comment passe-t-on de molécules organiques simples (acides aminés, etc.)...



...à des chaînes de molécules...

...comme de petits ARN...

...et éventuellement à de longues chaînes informationnelles comme l'ADN ?



La notion **d'évolution chimique** occupe actuellement une place centrale dans le débat scientifique sur les origines de la vie.

Certains chercheurs transposent dans le monde chimique le concept darwinien de **sélection naturelle**.

- ( 1- variations;
- 2- avantage de certaines variantes dans certains milieux en terme de survie et de reproduction;
- 3- transmission accrue (différentielle) de cette variante. )

La notion **d'évolution chimique** occupe actuellement une place centrale dans le débat scientifique sur les origines de la vie.

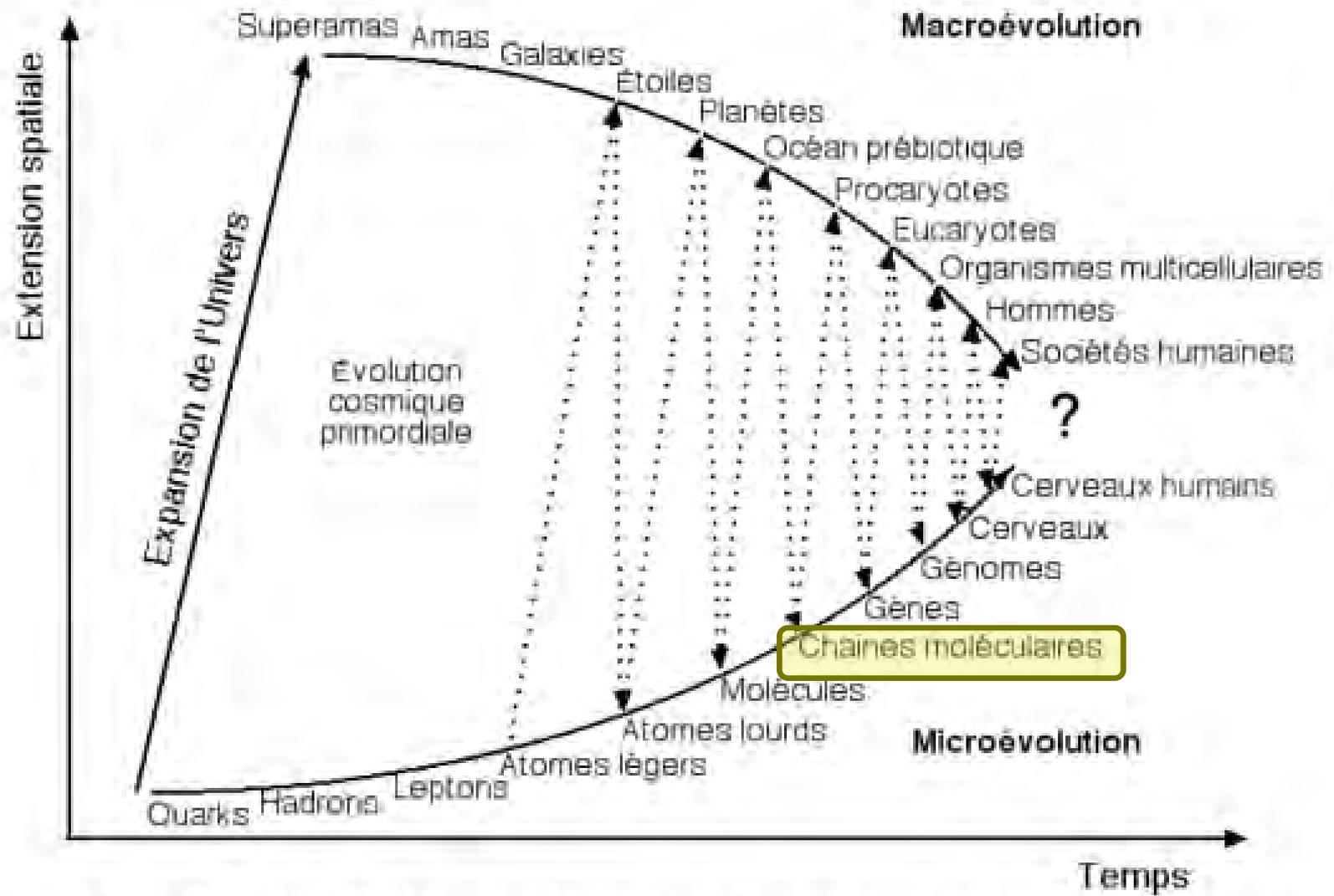
Certains chercheurs transposent dans le monde chimique le concept darwinien de **sélection naturelle**.

Et pensent que des ARN autocatalytiques peuvent donner lieu à de la **variation / sélection**.



D'autres considèrent que l'évolution chimique renvoie à des processus évolutifs différents,

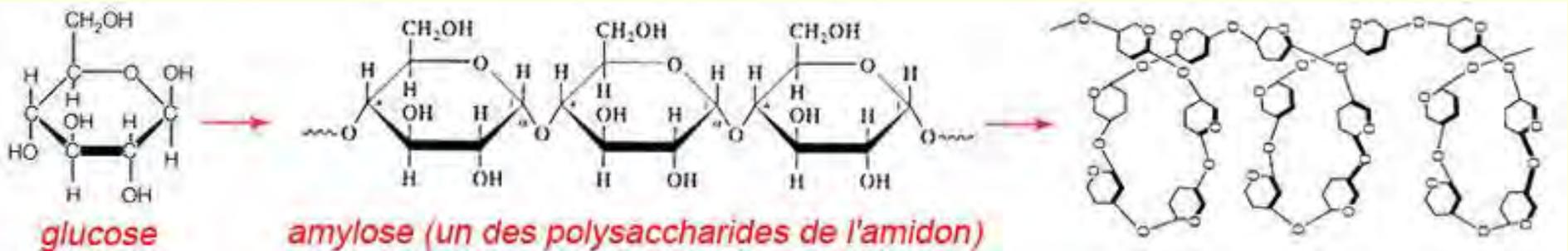
**la sélection naturelle n'étant pas le seul moteur ou mécanisme de l'évolution** (comme on le verra un peu plus loin...).



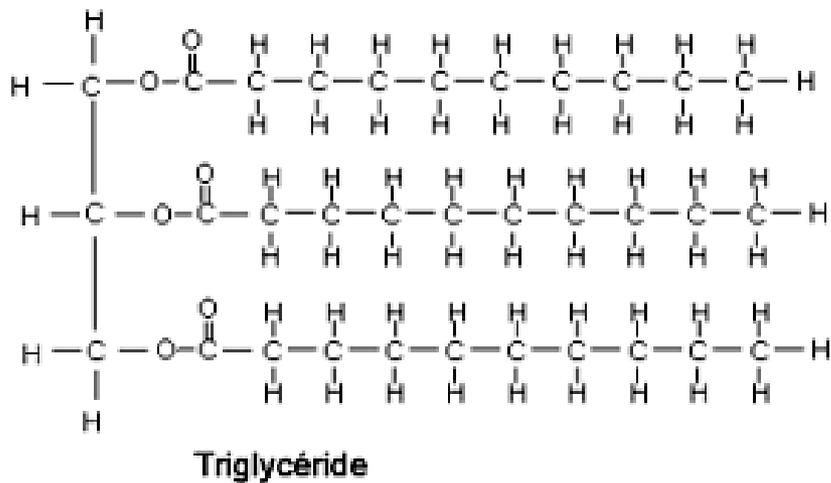
D'après Erich Jantsch, *The self-organizing universe*, Pergamon, 1980.

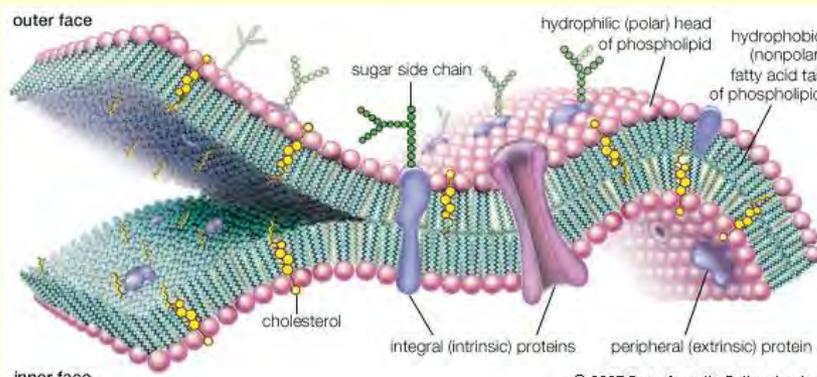
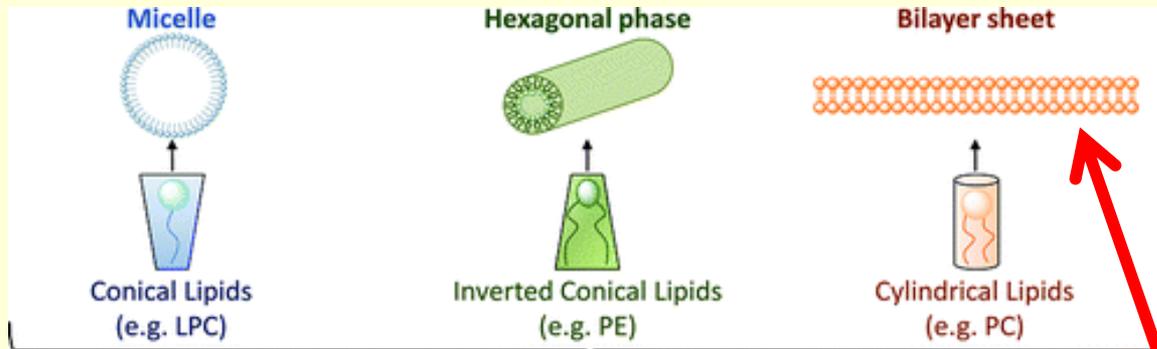
Quoi qu'il ait pu être ses mécanismes, cette évolution chimique va donner lieu à des chaînes moléculaires de :

- Glucides



- Lipides





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

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

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



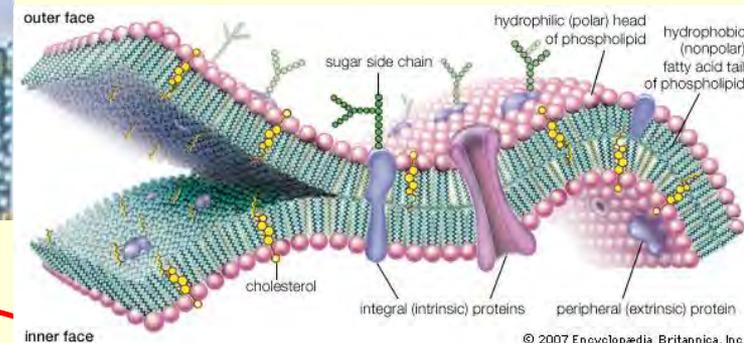
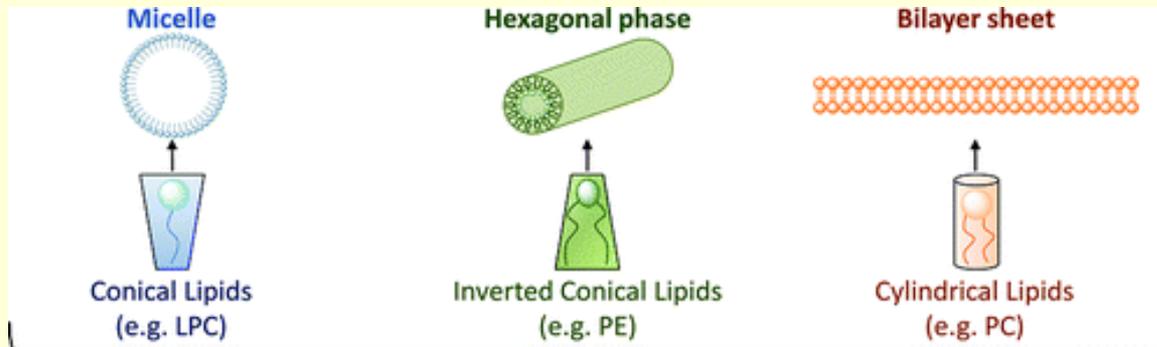
Ces chaînes de lipides vont donner lieu à des phénomènes **d'auto-organisation** mais cette fois-ci au niveau **supra-moléculaires** :

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

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

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

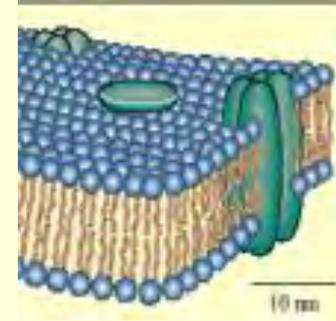
- The Systems View of Life



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

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

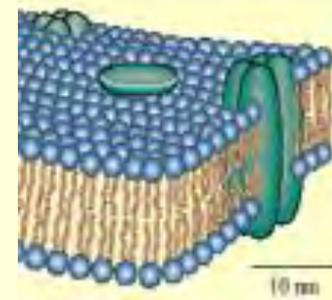
## Lumière sur les premières membranes cellulaires



« On n'a pas le choix que de supposer qu'à un moment donné au début de l'évolution, une réaction biochimique capable de fabriquer des membranes a pu être **catalysée** par une molécule non organique, c'est-à-dire n'étant pas issue du métabolisme d'une cellule vivante.



Rend possible ou accélère une réaction chimique...



## Lumière sur les premières membranes cellulaires

« On n'a pas le choix que de supposer qu'à un moment donné au début de l'évolution, une réaction biochimique capable de fabriquer des membranes a pu être **catalysée par une molécule non organique**, c'est-à-dire n'étant pas issue du métabolisme d'une cellule vivante.

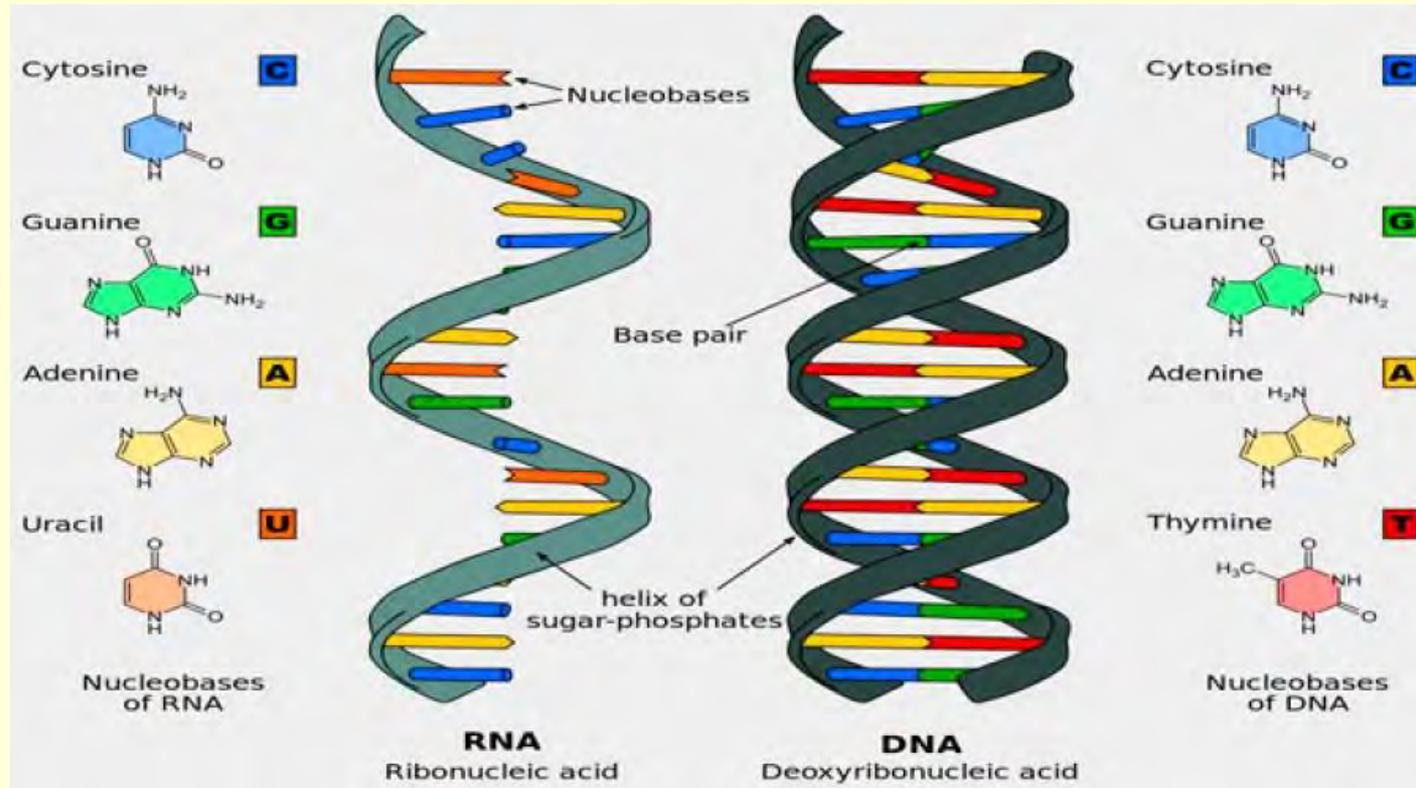
C'est justement ce que viennent de réaliser (**janvier 2012**) les chimistes Neal Devaraj et Itay Budin en utilisant des **ingrédients simples** (eau, huile, détergent) et de simples **ions de cuivre comme catalyseur** pour unir les deux chaînes lipidiques »

<http://www.blog-lecerveau.org/blog/2012/02/06/lumiere-sur-les-premieres-membranes-cellulaires/>

A screenshot of the website 'Le BLOGUE du CERVEAU À TOUS LES NIVEAUX'. The page is orange and white. At the top, there are navigation tabs for 'débutant', 'intermédiaire', and 'avancé'. The main content area is divided into several sections. On the left, there is a sidebar with 'Le CERVEAU À TOUS LES NIVEAUX!' and a list of categories. The main content area features a central article titled 'L'intelligence collective des groupes humains' dated 'Lundi, 28 janvier 2013'. To the right of this article, there are two columns of 'Fonctions cérébrales' with icons and brief descriptions. At the bottom, there is a 'Archives' section with dates from 2013 to 2010. A red circle highlights the central article and the sidebar.

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

- Glucides
- Lipides
- **Bases nucléiques**

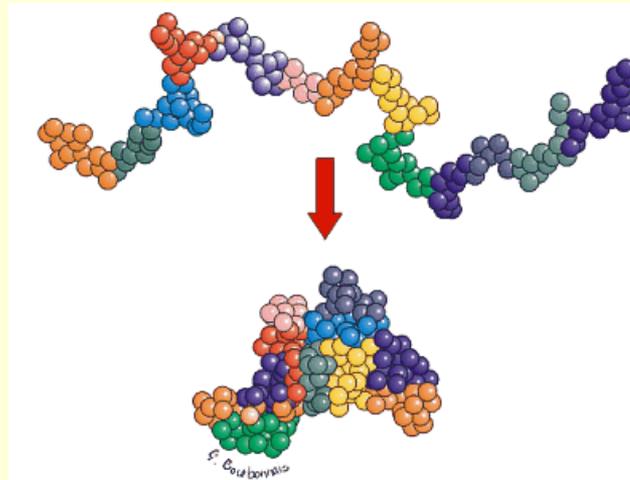
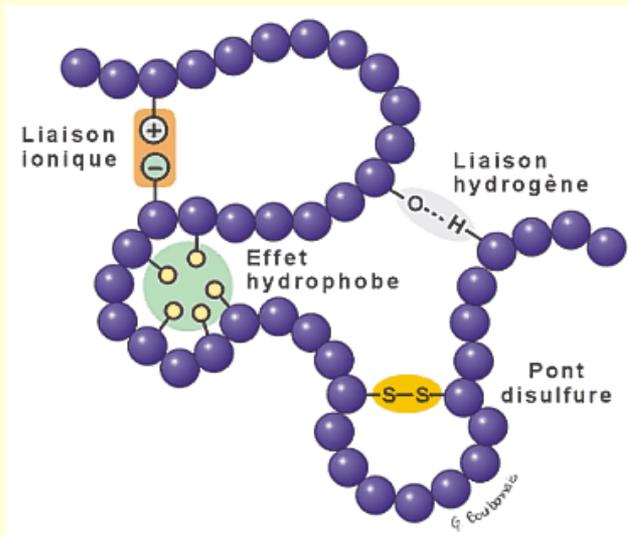
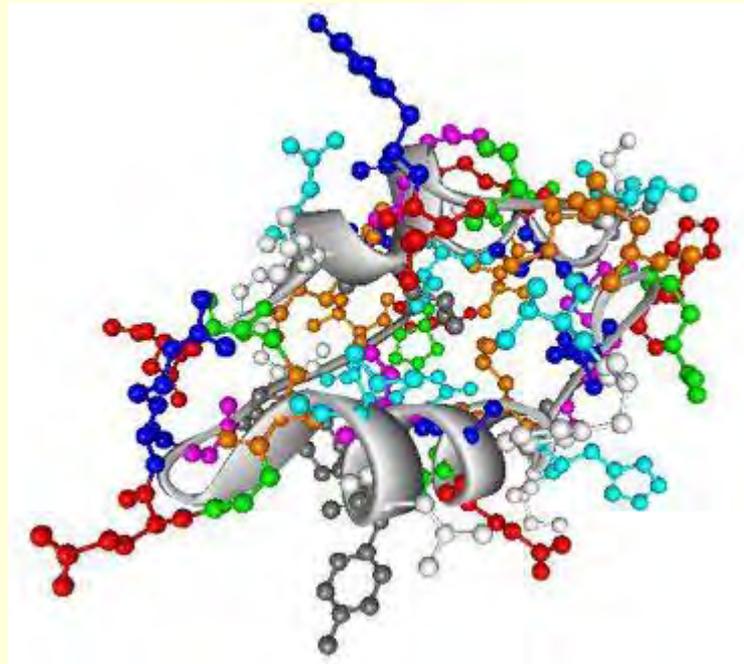


**Même principe d'organisation que pour les lipides:**

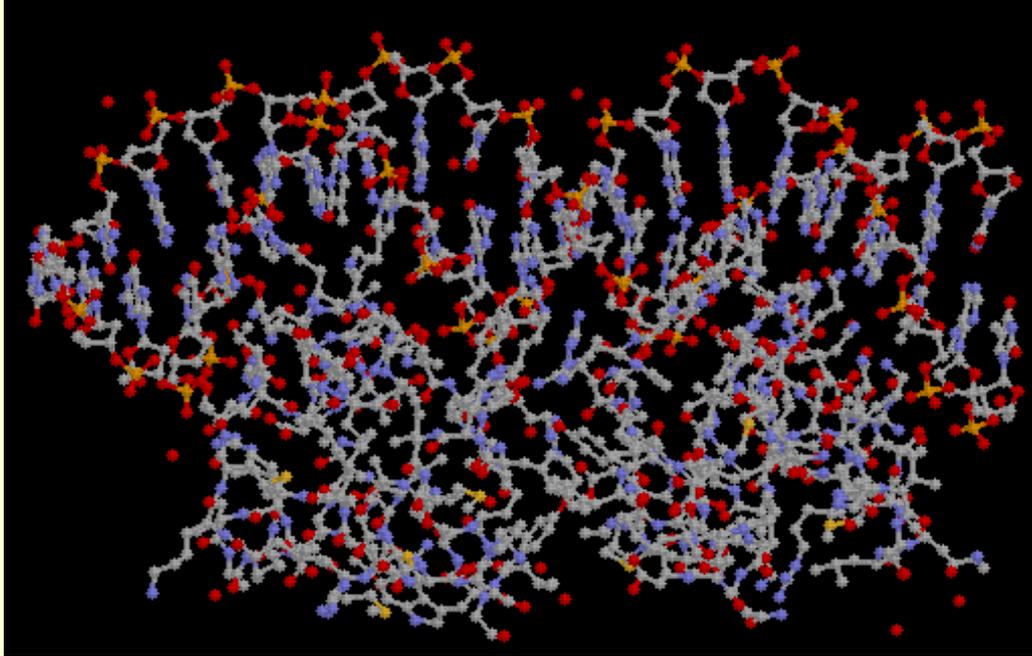
les deux brins complémentaires d'AND forment un duplex dans lequel les bases nucléiques hydrophobiques complémentaires fuient le contact de l'eau, laissant les "doigts" hydrophiliques des groupes phosphates s'occuper de la solubilité avec l'eau...

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

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



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



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

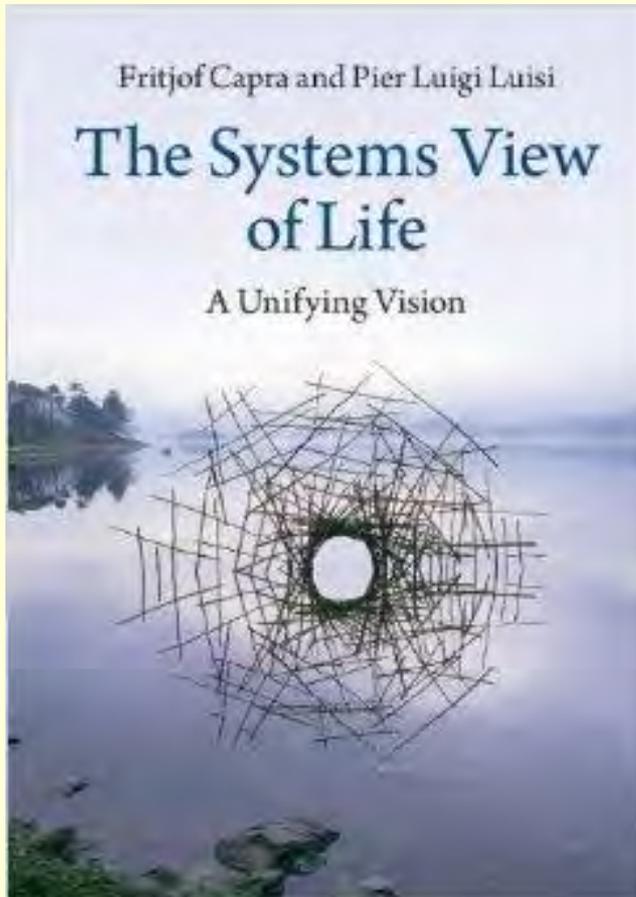
Et Chris Anfinsen a démontré en 1954 que ce repliement spontané à partir de la structure primaire de la protéine est aussi le plus stable thermodynamiquement parlant.

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

Rappel :

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

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

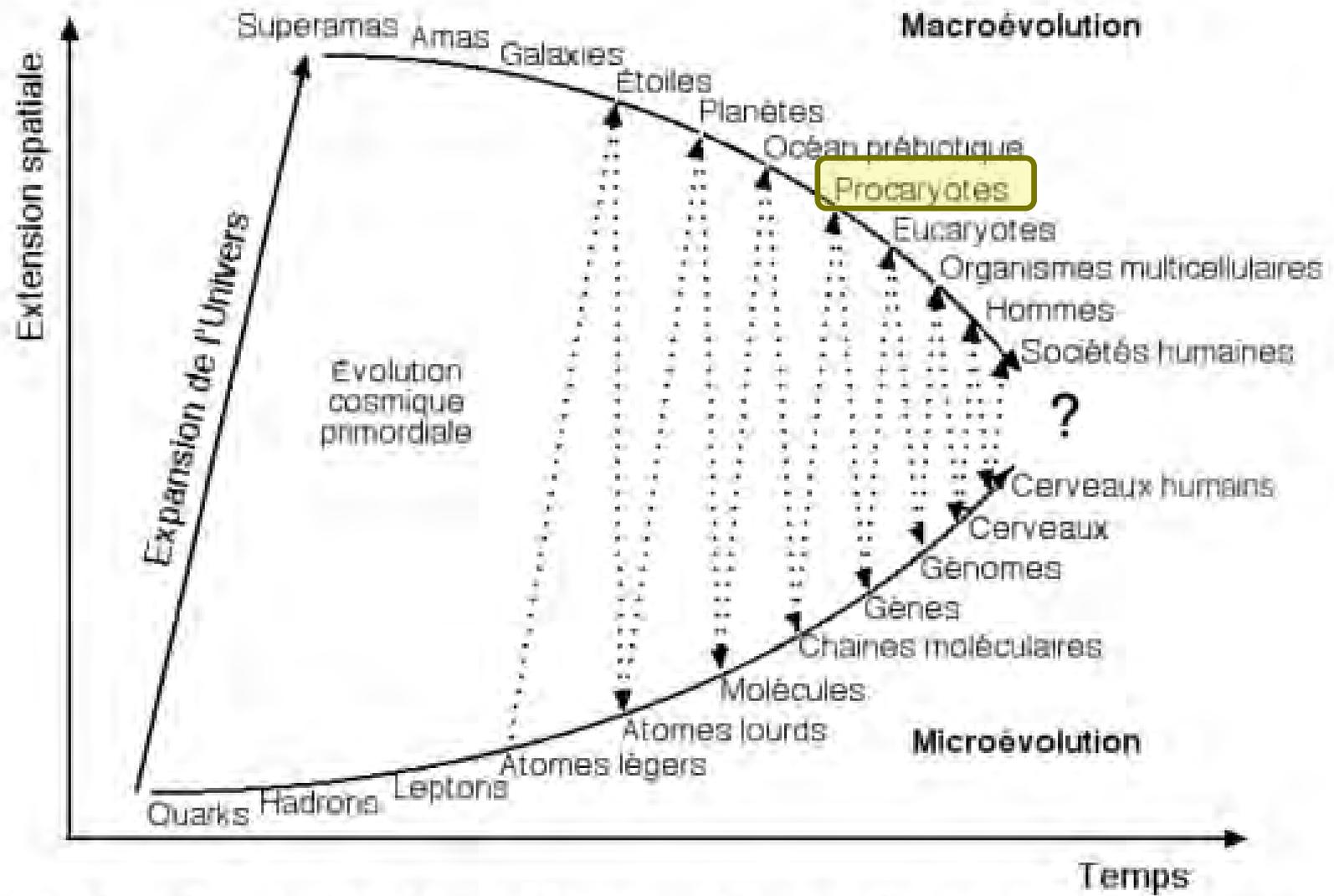


Durant l'histoire occidentale de la science et de la philosophie, il y a eu une tension entre 2 perspectives :

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

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

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



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

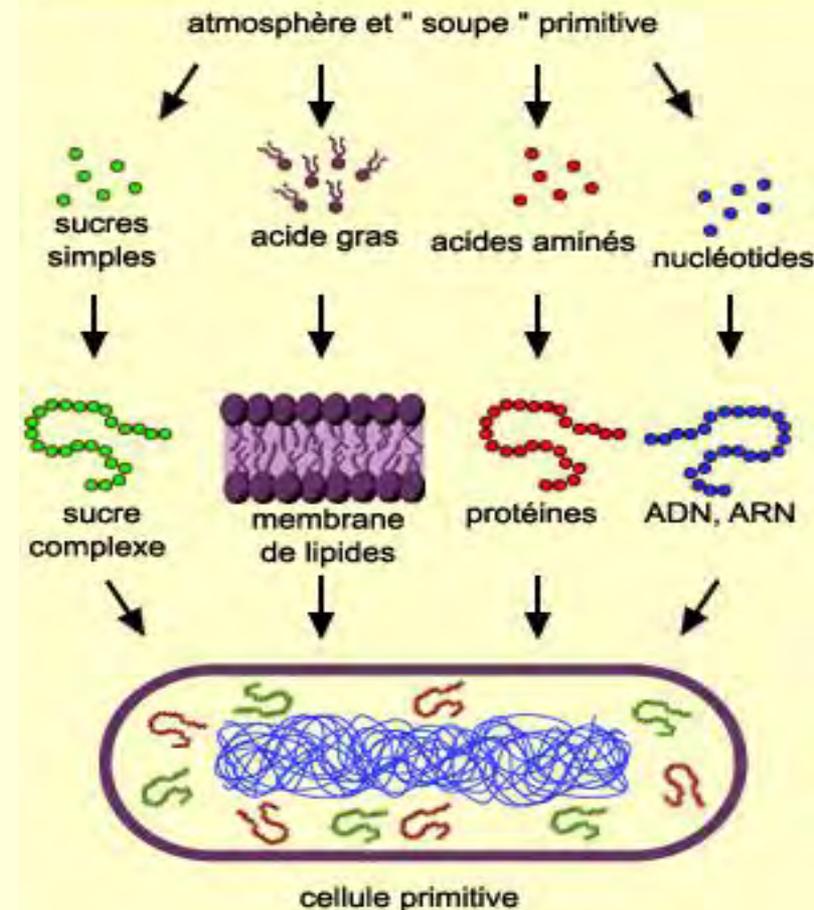
Dans ce passage de l'évolution chimique à l'évolution biologique,

quand apparaît la vie ?

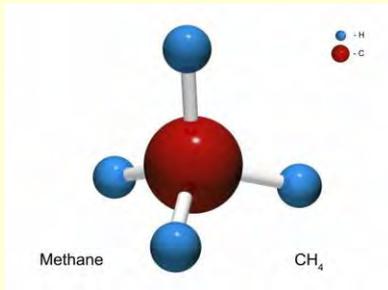
**Les définitions** de la vie (on va y revenir...) sont souvent des listes de critères comprenant des éléments comme :

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

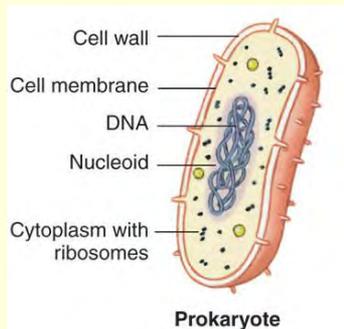
Le biologiste Radu Popa a listé plus de 300 définitions de la vie...dont aucune ne fait l'unanimité !



Dans ce passage de l'évolution chimique à l'évolution biologique, quand apparaît la vie ?



+ ou – vivants de différentes manières...

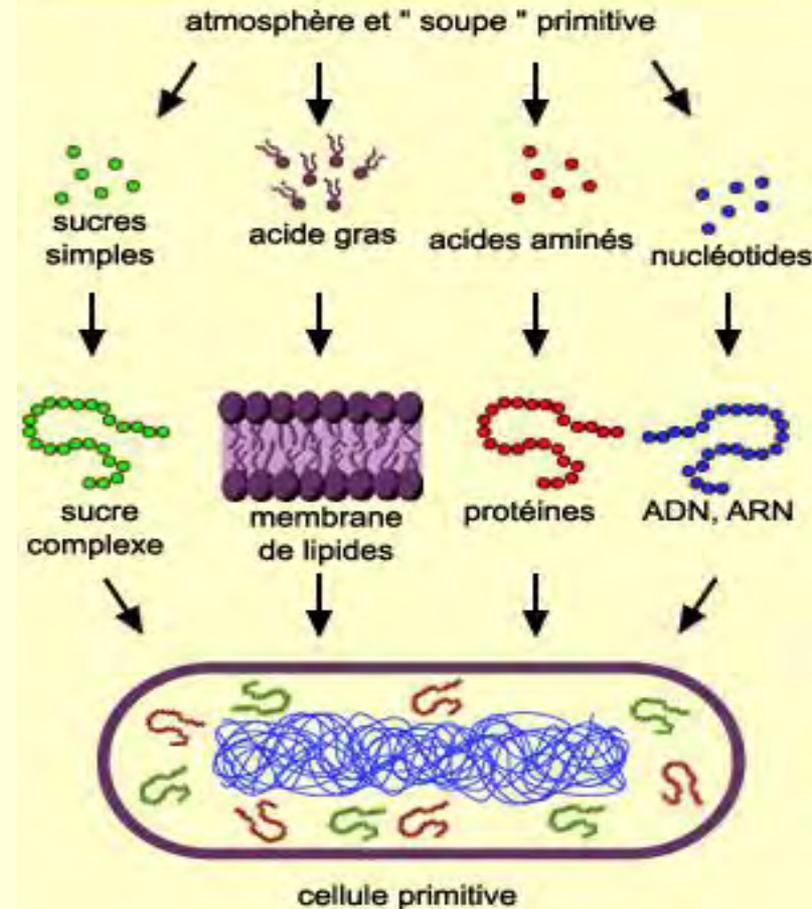


Non



Oui

un gradient





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

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

Développement ou croissance + ou -

Métabolisme + ou -

Motilité + ou -

Reproduction + ou -

Réponse à des stimuli + ou -

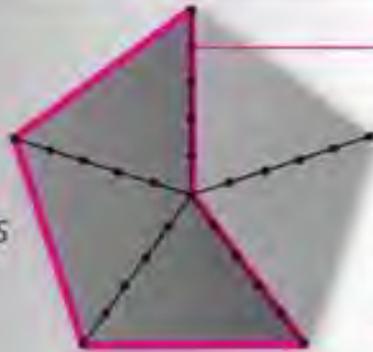
# Différentes « signature de vie »



# Différentes « signature de vie »

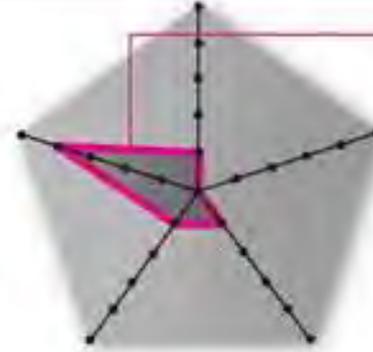
mais des organismes à mi-chemin entre les deux

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.



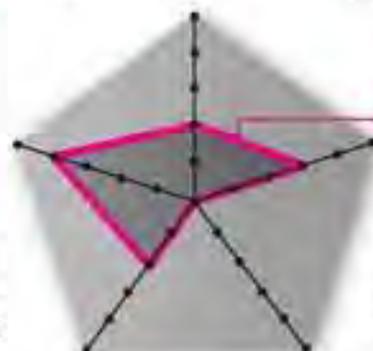
## Prion

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



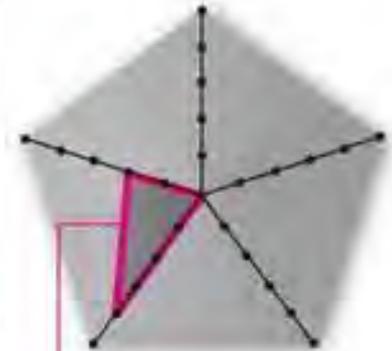
## Pepsine

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.

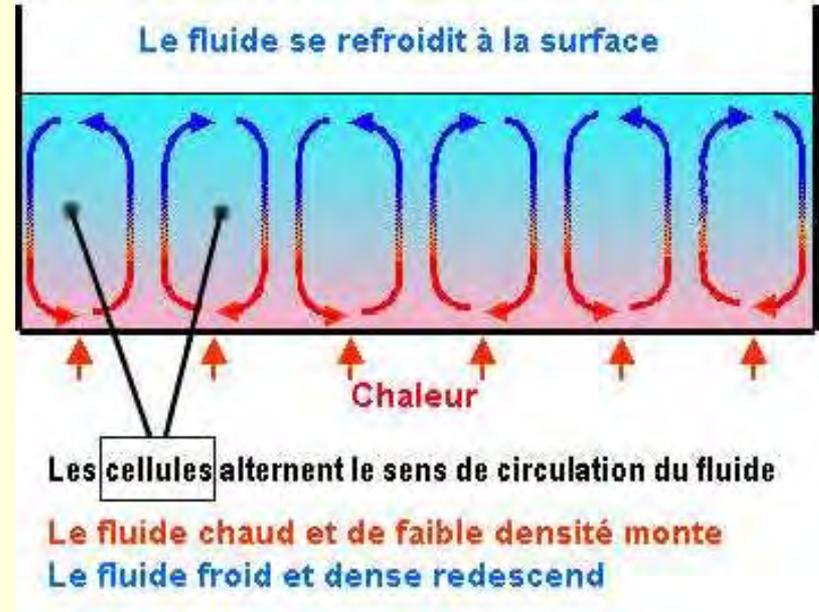
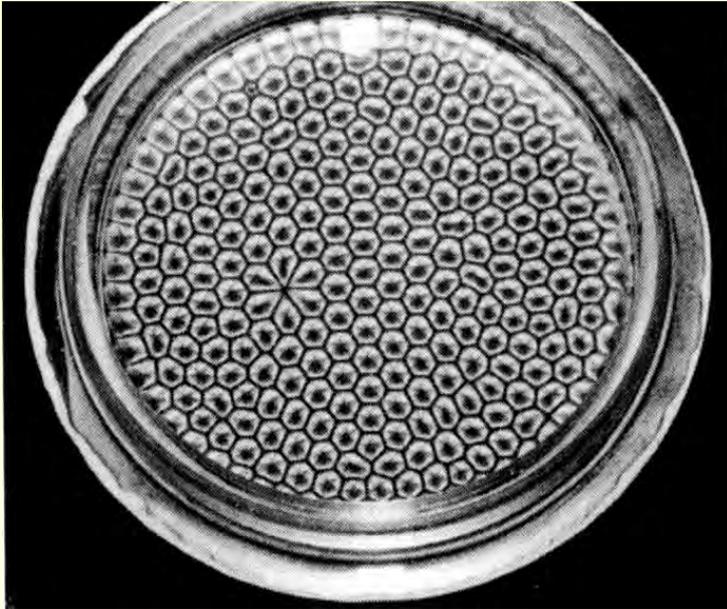
On peut aussi se demander (comme un enfant fatigant!),  
**pourquoi apparaît la vie ?**

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

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

Un exemple de phénomène **dissipatif auto-organisé** :

les **cellules de Bénard**



**Des cellules presque vivantes.**

<http://www.francois-roddier.fr/?p=109>

Lundi, 29 décembre 2014

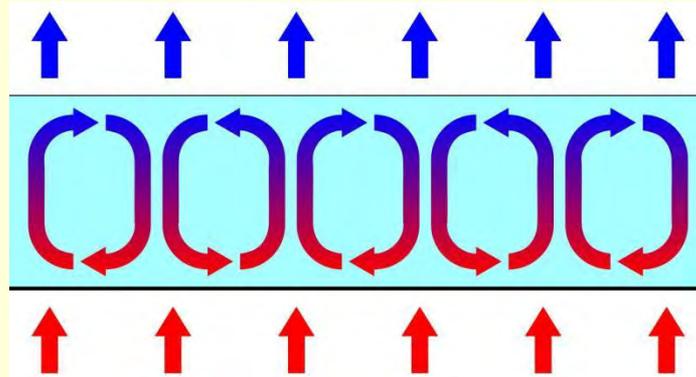
## Des « liens-cadeaux » pour finir l'année 2014

Jeremy England, physicien de 31 ans, pense que les organismes vivants existent parce qu'ils ont simplement tendance à **mieux capturer l'énergie de leur environnement et à la dissiper sous forme de chaleur**, conformément au deuxième principe de la thermodynamique.



La démonstration mathématique de England montre que :

« quand un groupe d'atomes est entraîné par une source d'énergie externe (comme le soleil ou des carburants chimiques) et entouré par un bain de chaleur (comme l'océan ou l'atmosphère), **il se restructure progressivement afin de dissiper de plus en plus d'énergie.**



La démonstration mathématique de England montre que :

« quand un groupe d'atomes est entraîné par une source d'énergie externe (comme le soleil ou des carburants chimiques) et entouré par un bain de chaleur (comme l'océan ou l'atmosphère), **il se restructure progressivement afin de dissiper de plus en plus d'énergie.**

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

Qualifiée de spéculative mais prometteuse par plusieurs de ses collègues, cette idée est en voie d'être mise à l'épreuve empiriquement. Affaire à suivre en 2015, donc...

**Pourquoi la vie existe-t-elle ?** Ce physicien a développé une théorie qui pourrait bouleverser les fondements actuels

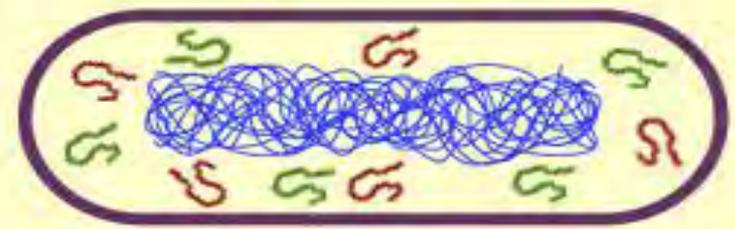
<http://soocurious.com/fr/physicien-idee-revolutionne-raison-origine-vie-terre-science/>

(incluant une présentation vidéo d'une heure de England)

**A New Physics Theory of Life**

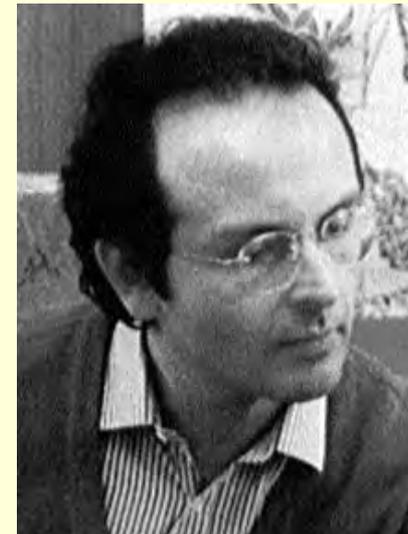
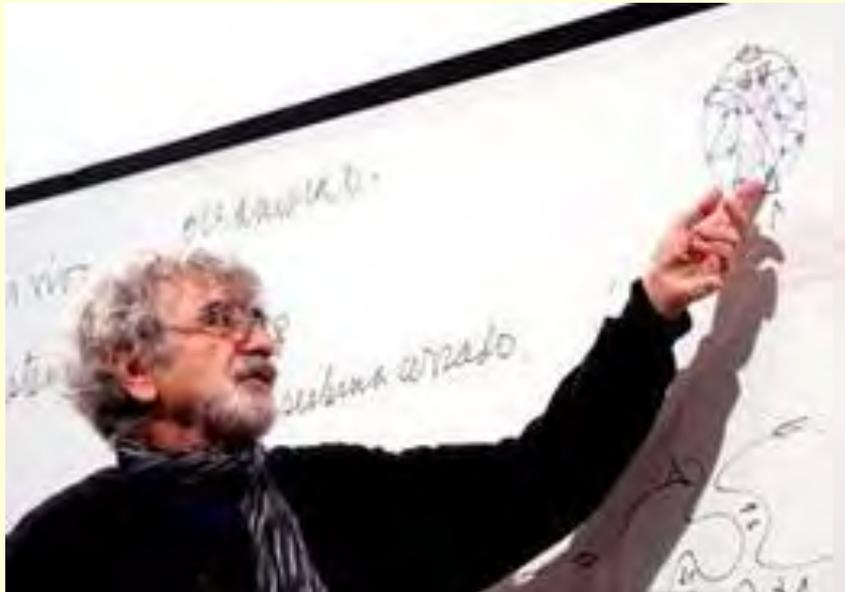
<https://www.quantamagazine.org/20140122-a-new-physics-theory-of-life/>

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

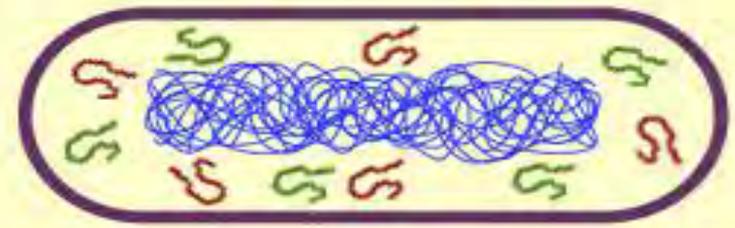


cellule primitive

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



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

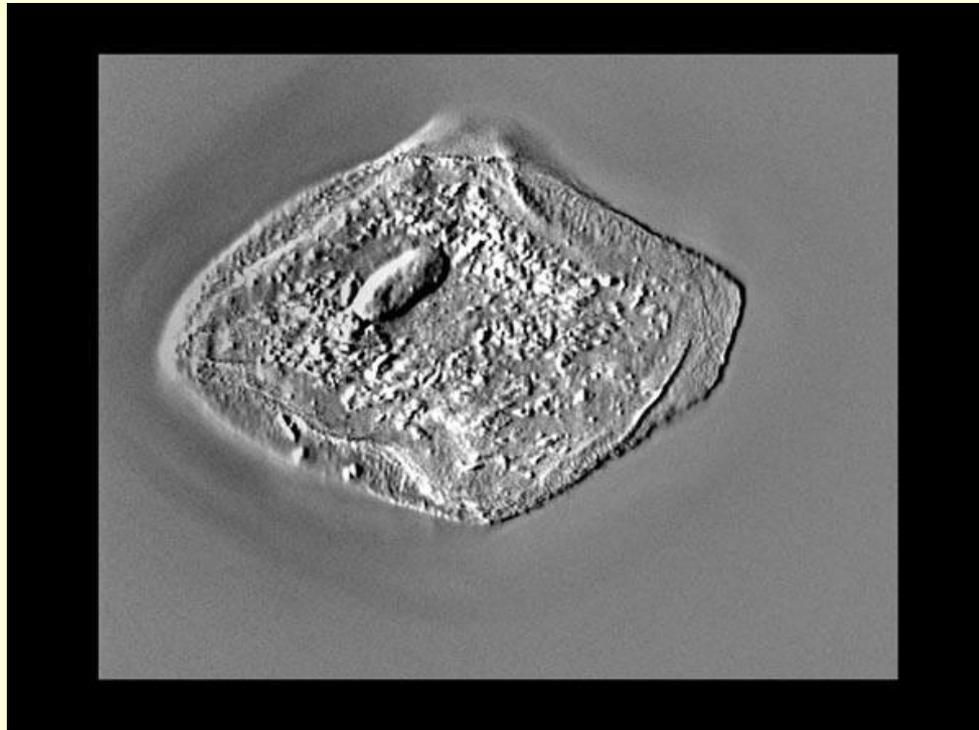


une notion très utile est celle **d'autopoïèse**,  
élaborée par Humberto Maturana et Francisco Varela  
dans les années 1970.

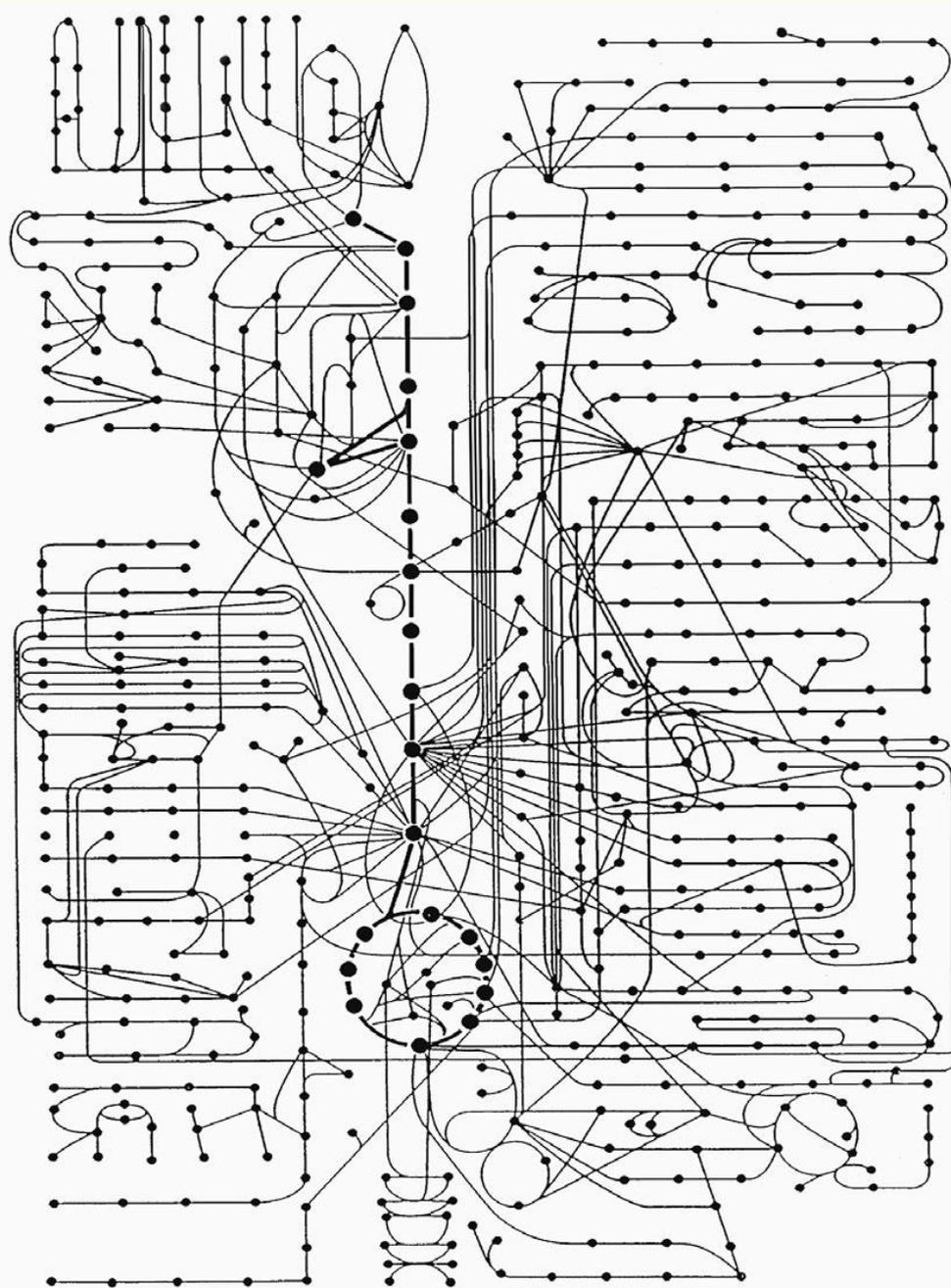
« Notre proposition est que les être vivants sont caractérisés par le fait que, littéralement, ils sont continuellement en train de **s'auto-produire**. »

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

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



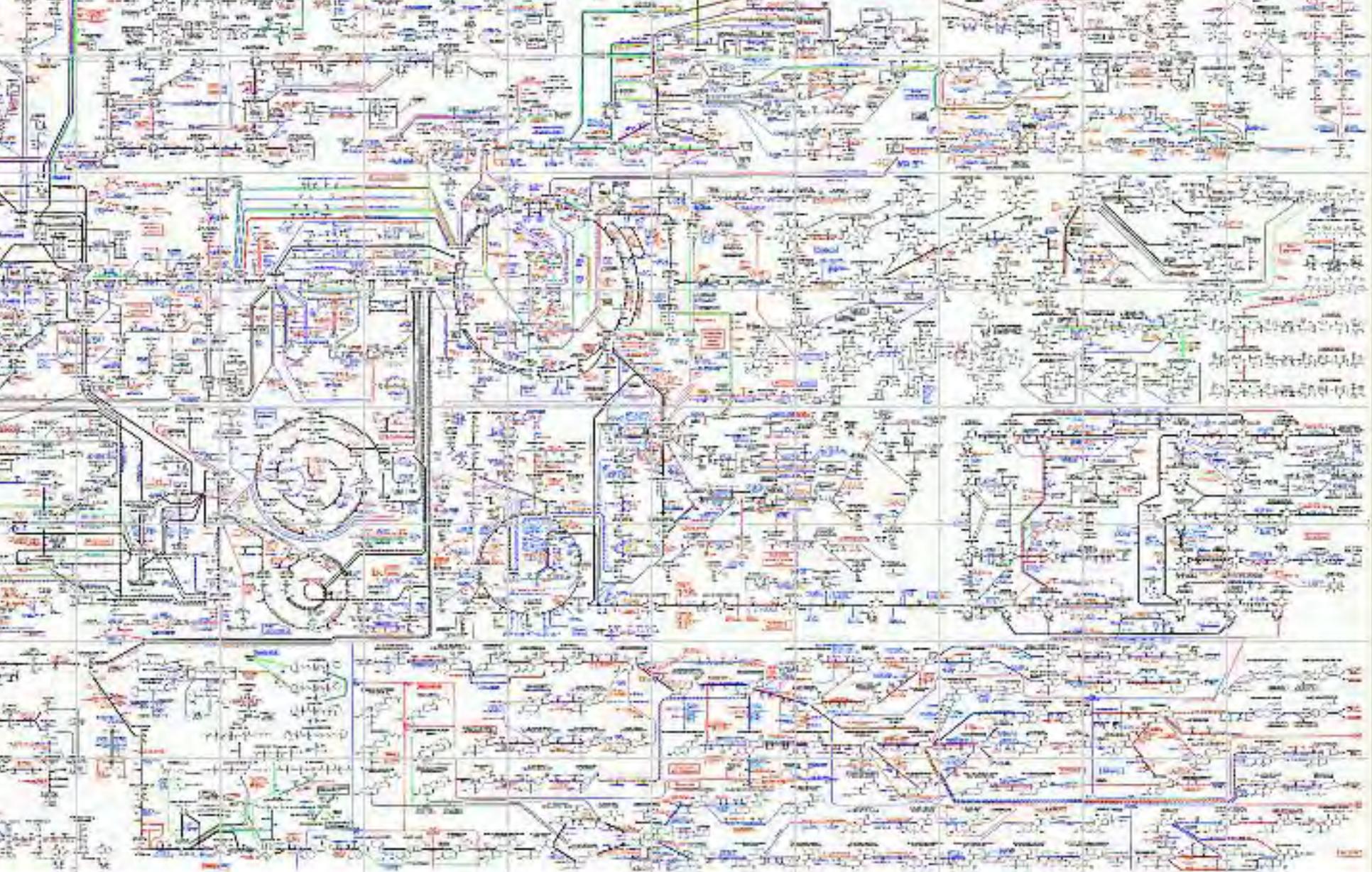
An image of a human buccal epithelial cell obtained using Differential Interference Contrast (DIC) microscopy  
([www.canisius.edu/biology/cell\\_imaging/gallery.asp](http://www.canisius.edu/biology/cell_imaging/gallery.asp))



« un réseau »...

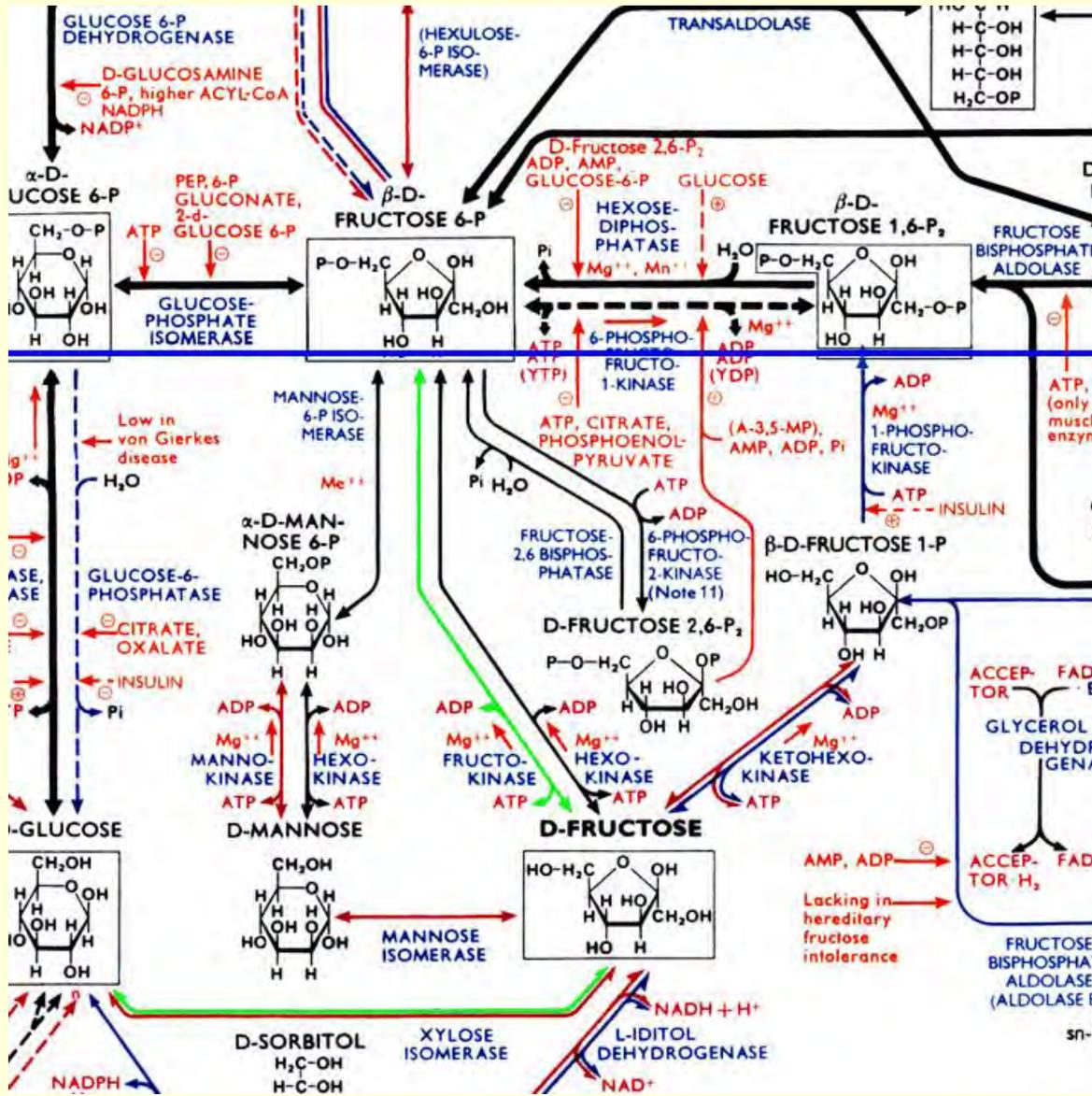
= des éléments qui entretiennent  
des relations

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



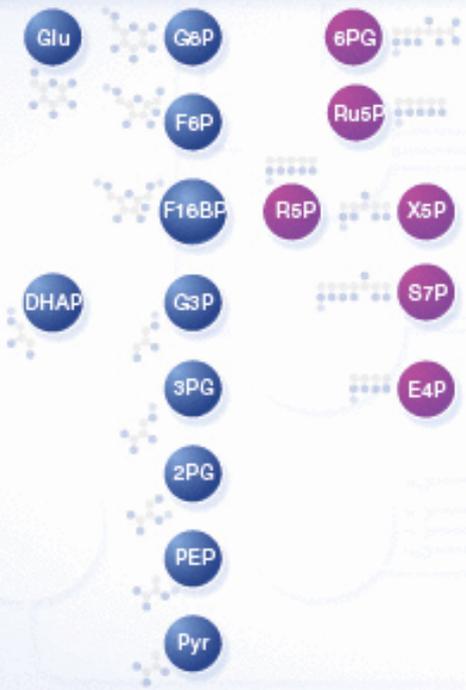
« un réseau complexe »... = cascades de réactions biochimiques dans une cellule

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

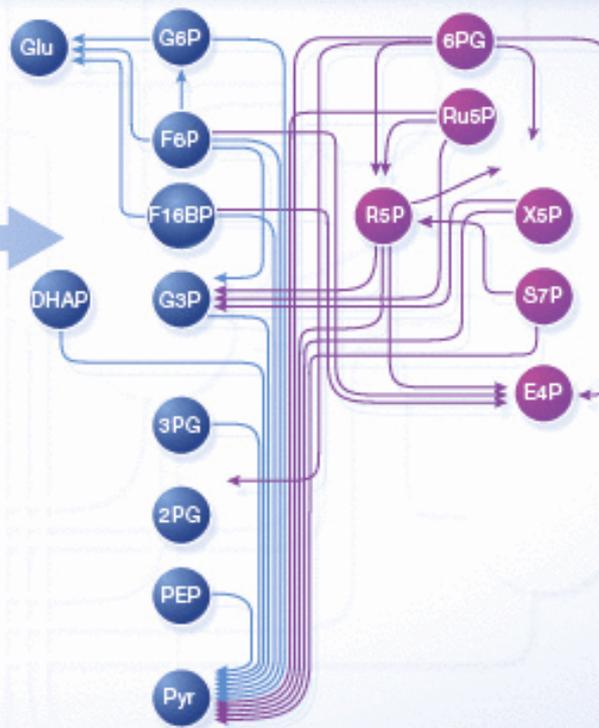


..qui régénèrent constamment, par leurs interactions et transformations, le réseau qui les a produits.

## Glycolysis and PPP intermediates



## Enzyme-free reaction cascade



Non-enzymatic glycolysis and pentose phosphate pathway-like reactions in a plausible Archean ocean

Markus A Keller,  
Alexandra V Turchyn,  
Markus Ralser

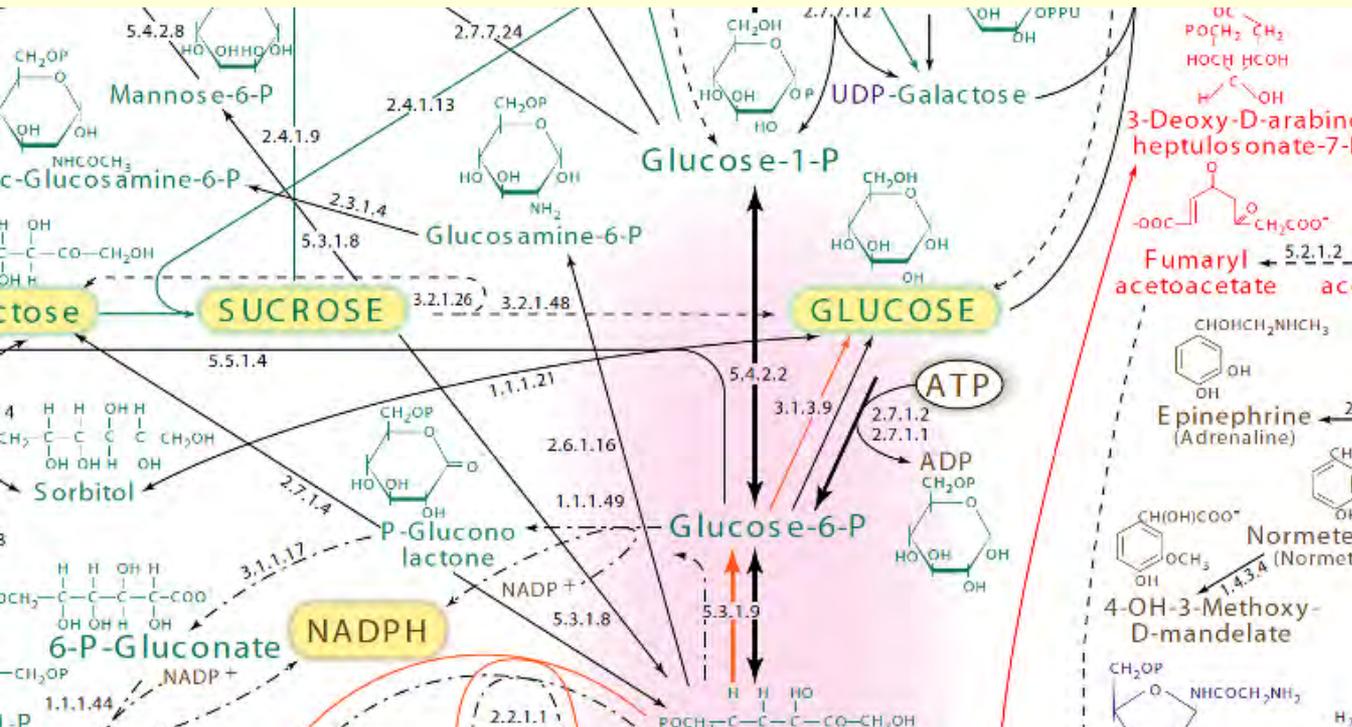
Published

**25.04.2014**

<http://msb.embopress.org/content/10/4/725>

**« metabolism could be of prebiotic origin. »**

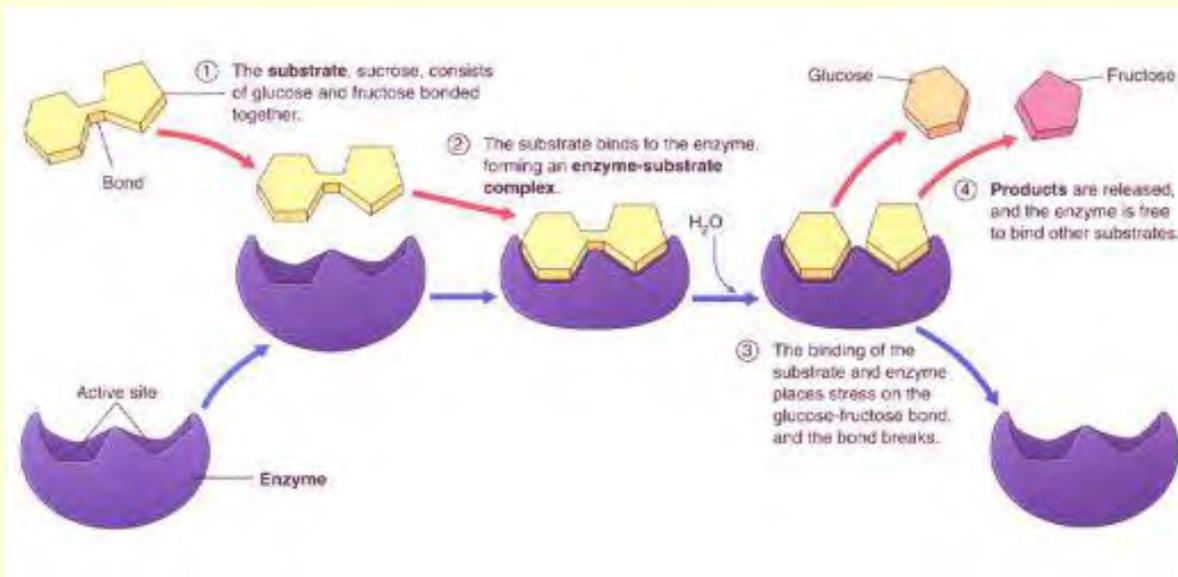
« un réseau complexe d'éléments »... : enzymes (protéines), ADN, etc.



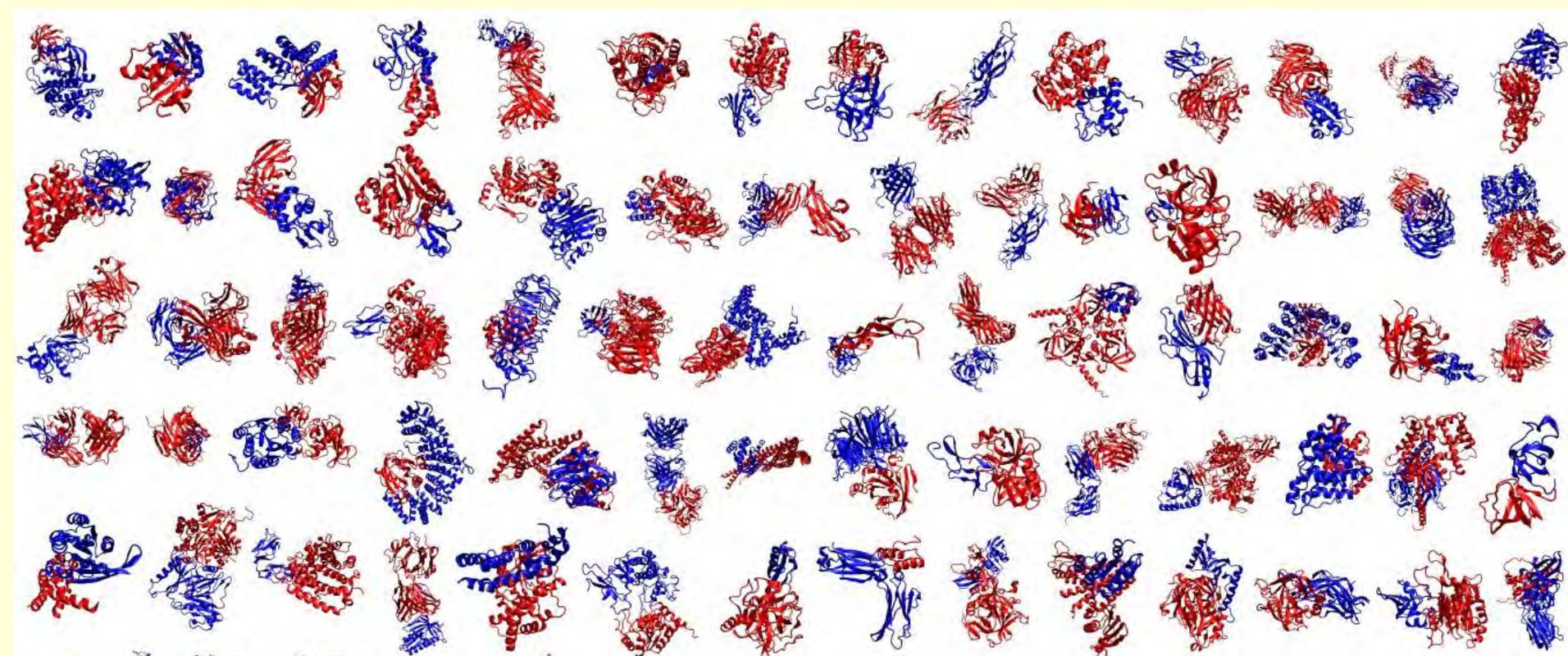
..qui régénèrent constamment, par leurs interactions et transformations, le réseau qui les a produits.

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

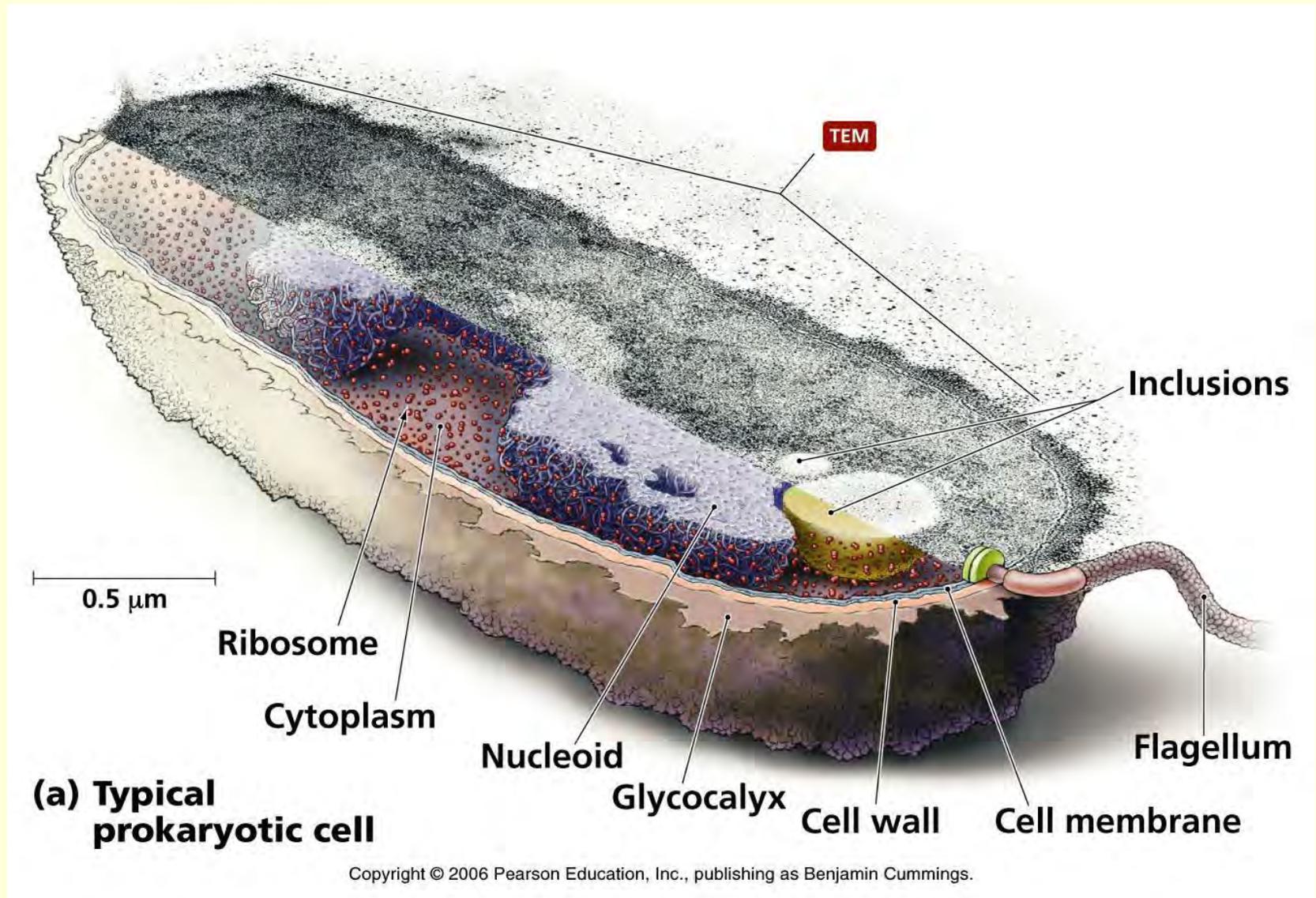
Car encore aujourd'hui, chaque cellule de votre cerveau a un tel métabolisme.

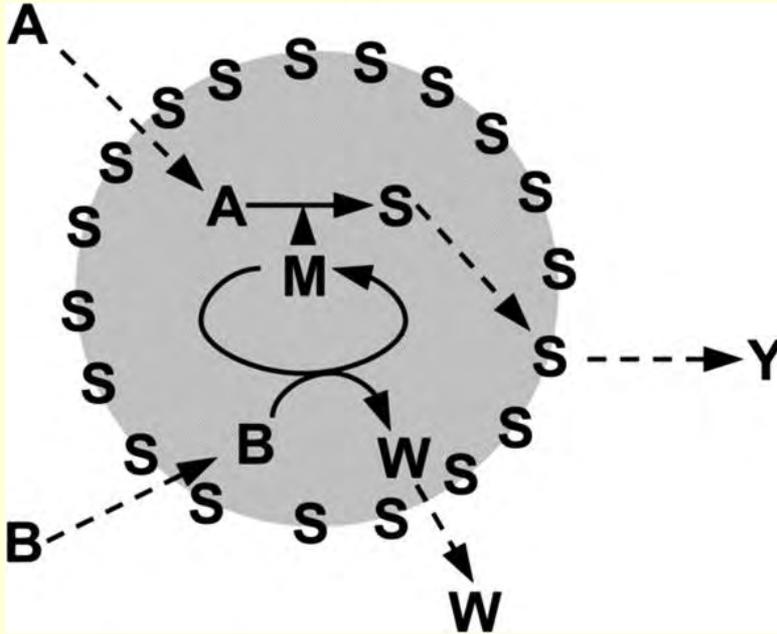


**..qui régénèrent constamment, par leurs interactions et transformations, le réseau qui les a produits.**



# Les premières cellules vivante sont déjà infiniment complexes !





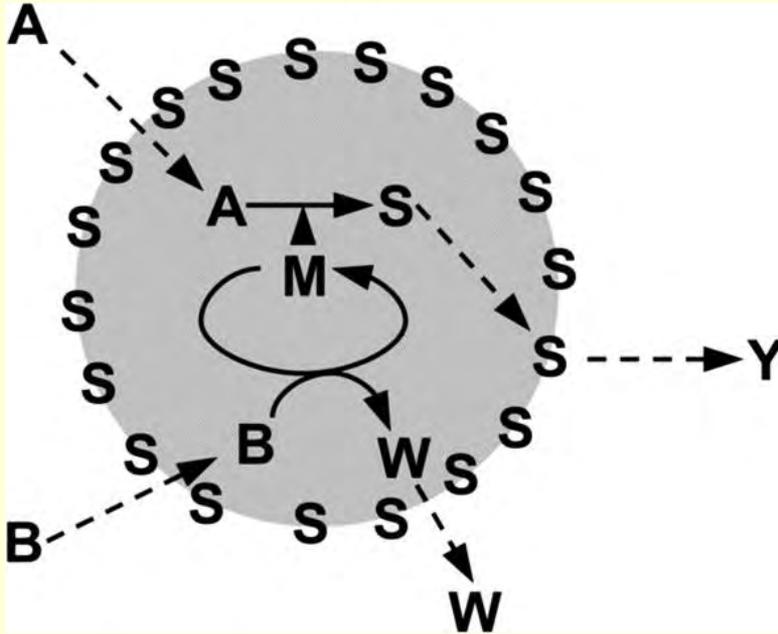
<http://www.humphath.com/spip.php?article17459>

Toute cellule est donc un **système ouvert** qui :

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

“Indeed, the most interesting self-organizing systems, including many centrally important to the life of the cell, are **dynamic**;

that is, they are **nonequilibrium systems** that form their characteristic order while **dissipating entropy**.” (System Views of Life)

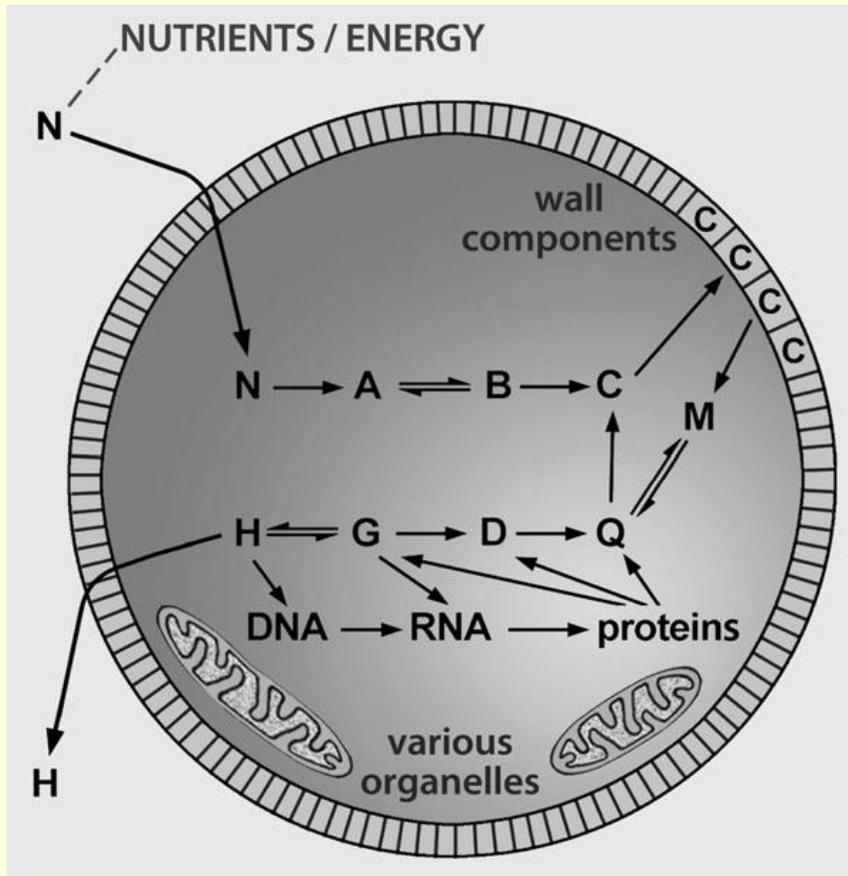


<http://www.humphath.com/spip.php?article17459>

Toute cellule est donc un **système ouvert** qui :

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

“ Life is a factory that makes itself from within. “



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

Car la vie n'est pas localisée.

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

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

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

# Exemple de propriétés émergentes en chimie



Sodium (Na)  
(métal hautement inflammable)

+



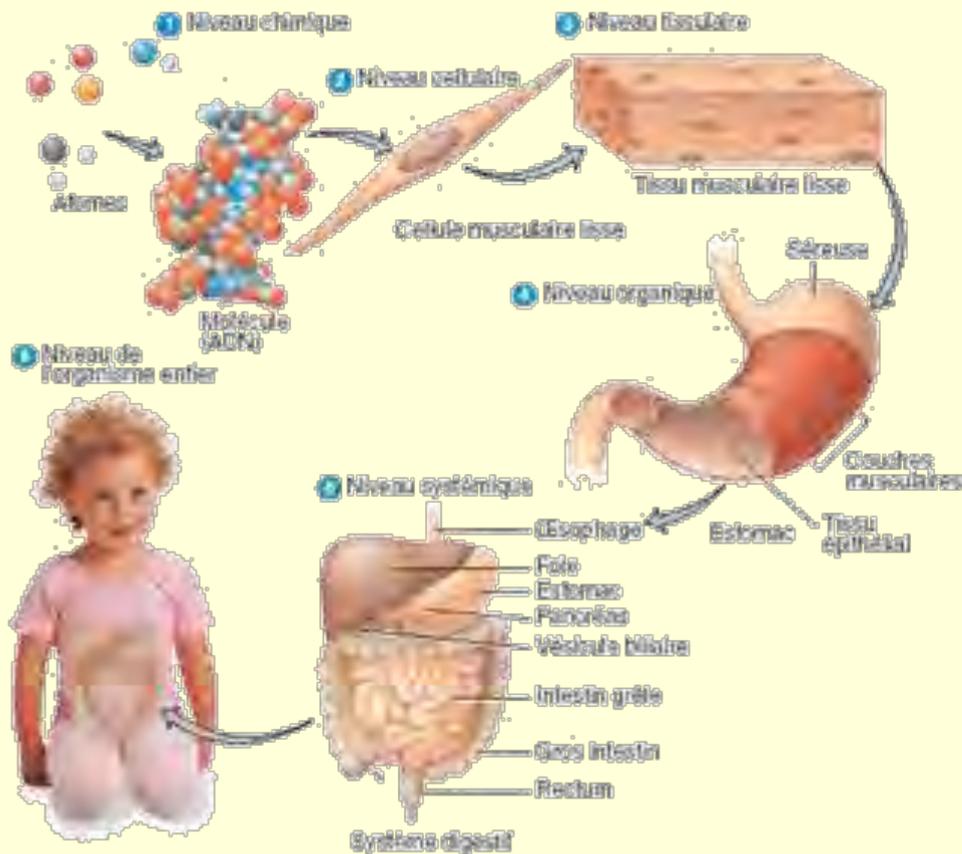
Chlore (Cl)  
(gaz très toxique)

=



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

Organisation structurale du corps humain (Figure 1.1)



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

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

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

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

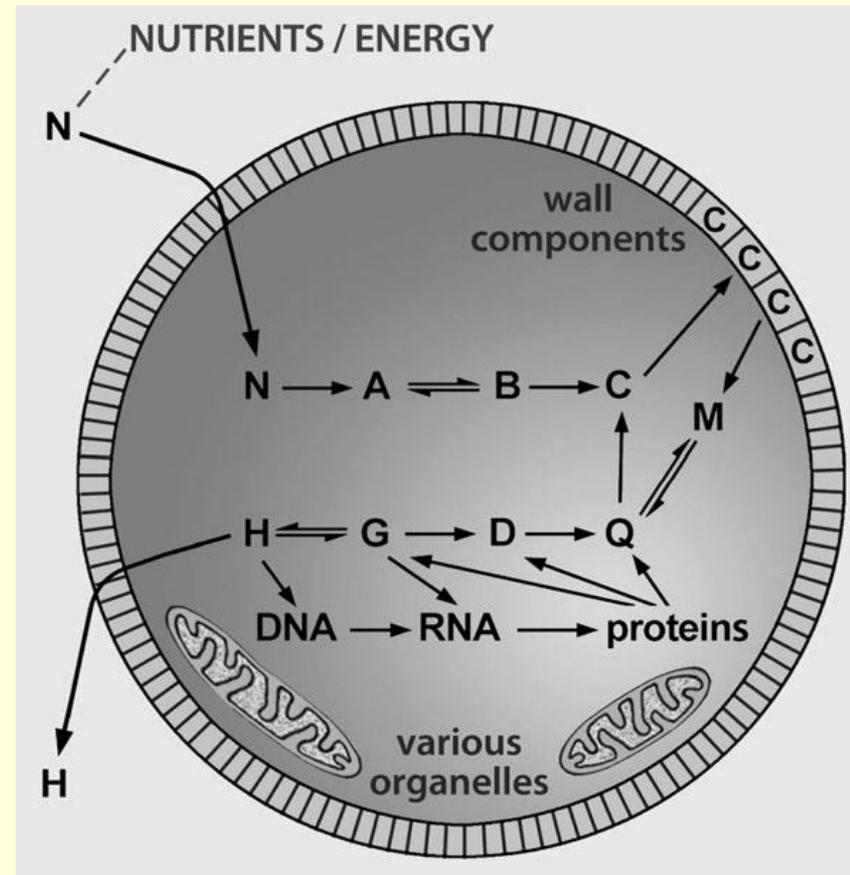
En biologie, c'est donc la 2<sup>e</sup> question qui va nous intéresser :

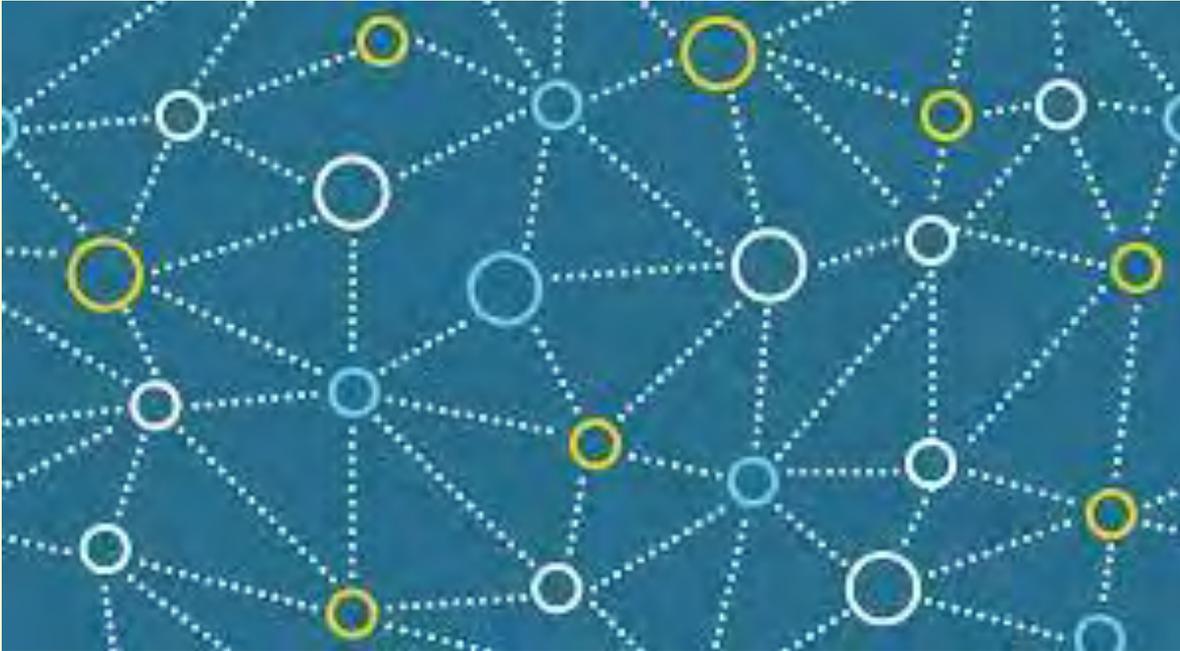
l'étude de la **forme** : quel est le pattern ?

Est-ce qu'il y a un pattern commun qu'on peut associer à tous les systèmes vivants?

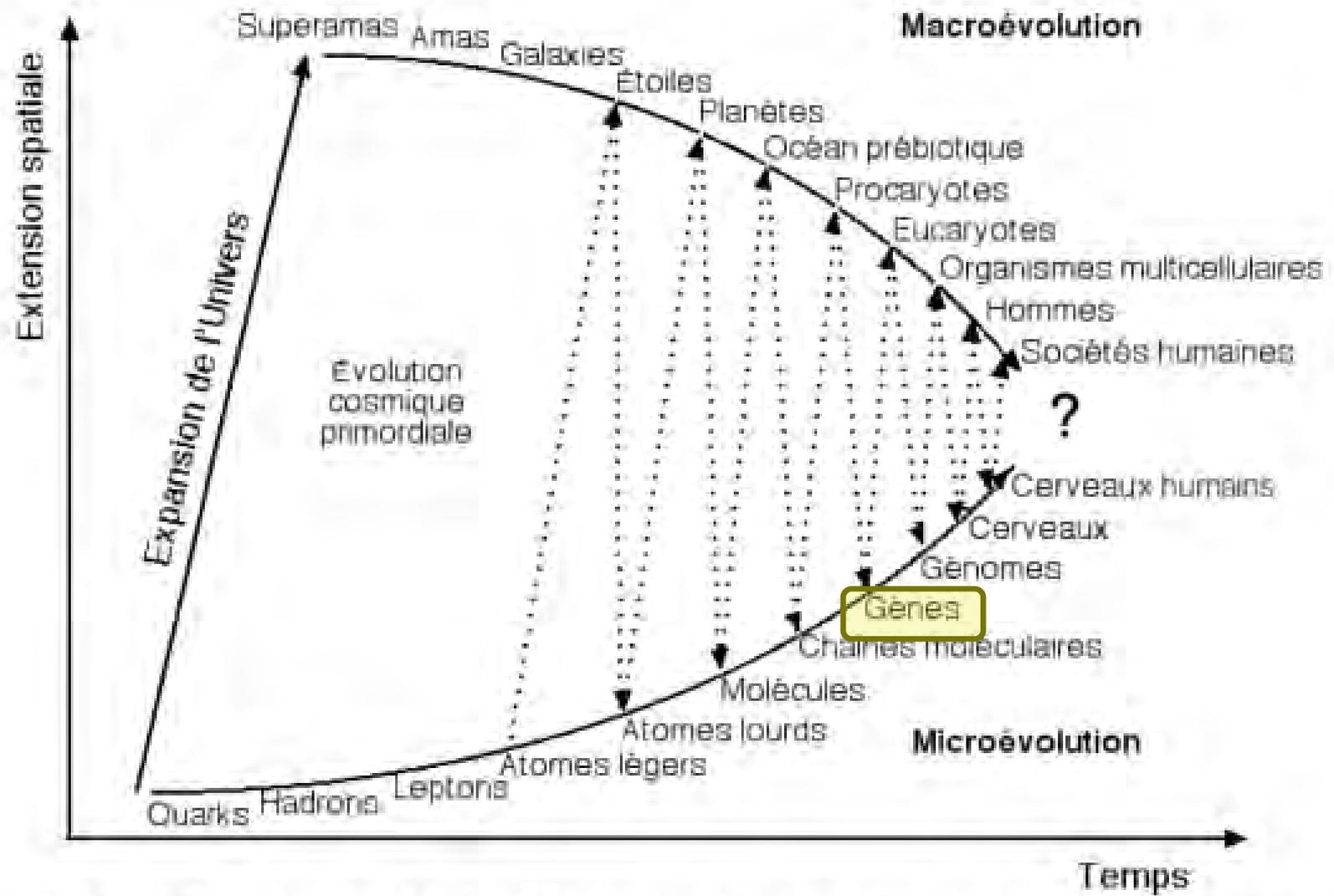
Je vous donne tout de suite le punch :

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



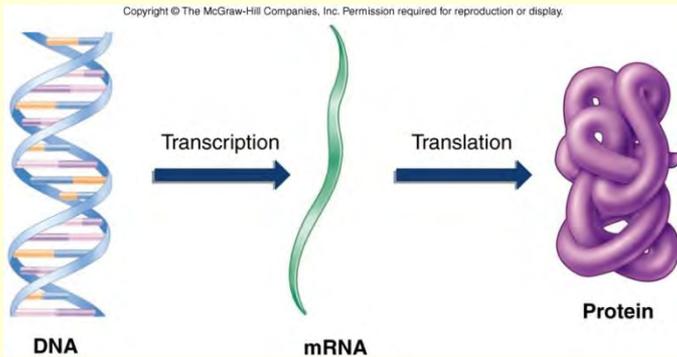


**« Whenever we look at life,  
we look at networks. »**



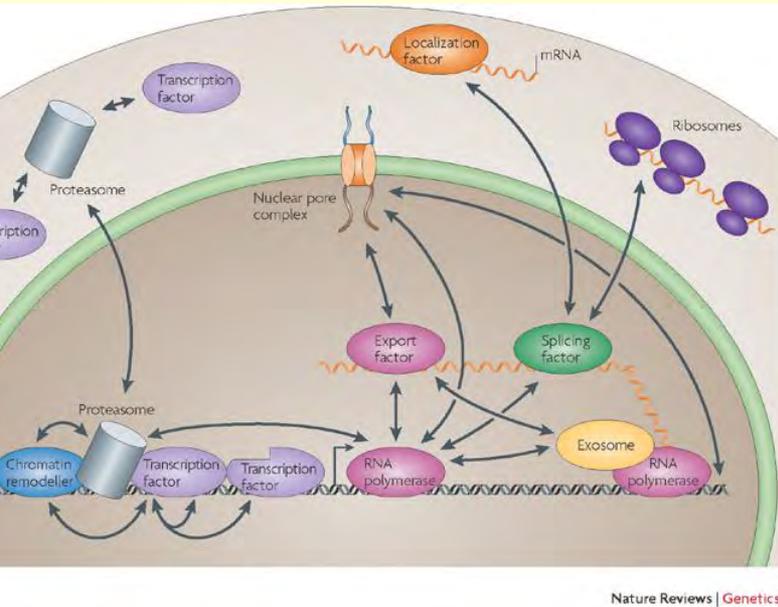
D'après Erich Jantsch, *The self-organizing universe*, Pergamon, 1980.

Et ça se vérifie déjà au niveau du gène...

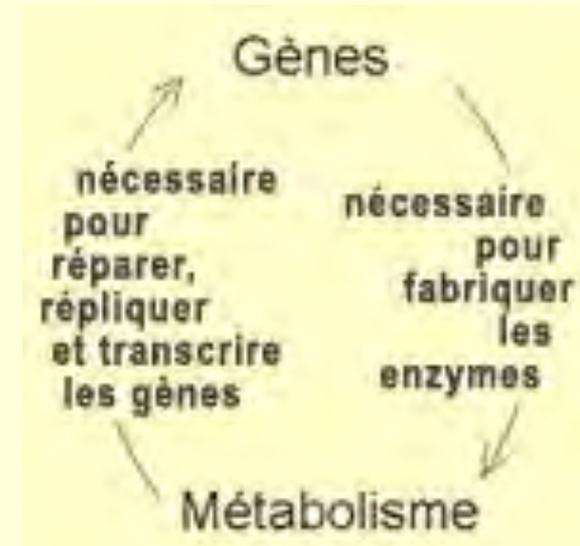


On a longtemps pensé que les gènes n'étaient que les « plans » pour fabriquer nos protéines.

Mais on sait maintenant que certains gènes servent à fabriquer des enzymes qui vont revenir se fixer sur d'autres gènes et en influencer l'expression.



Dans l'autopoïèse, le **métabolisme** et les **gènes** forment ensemble un réseau.



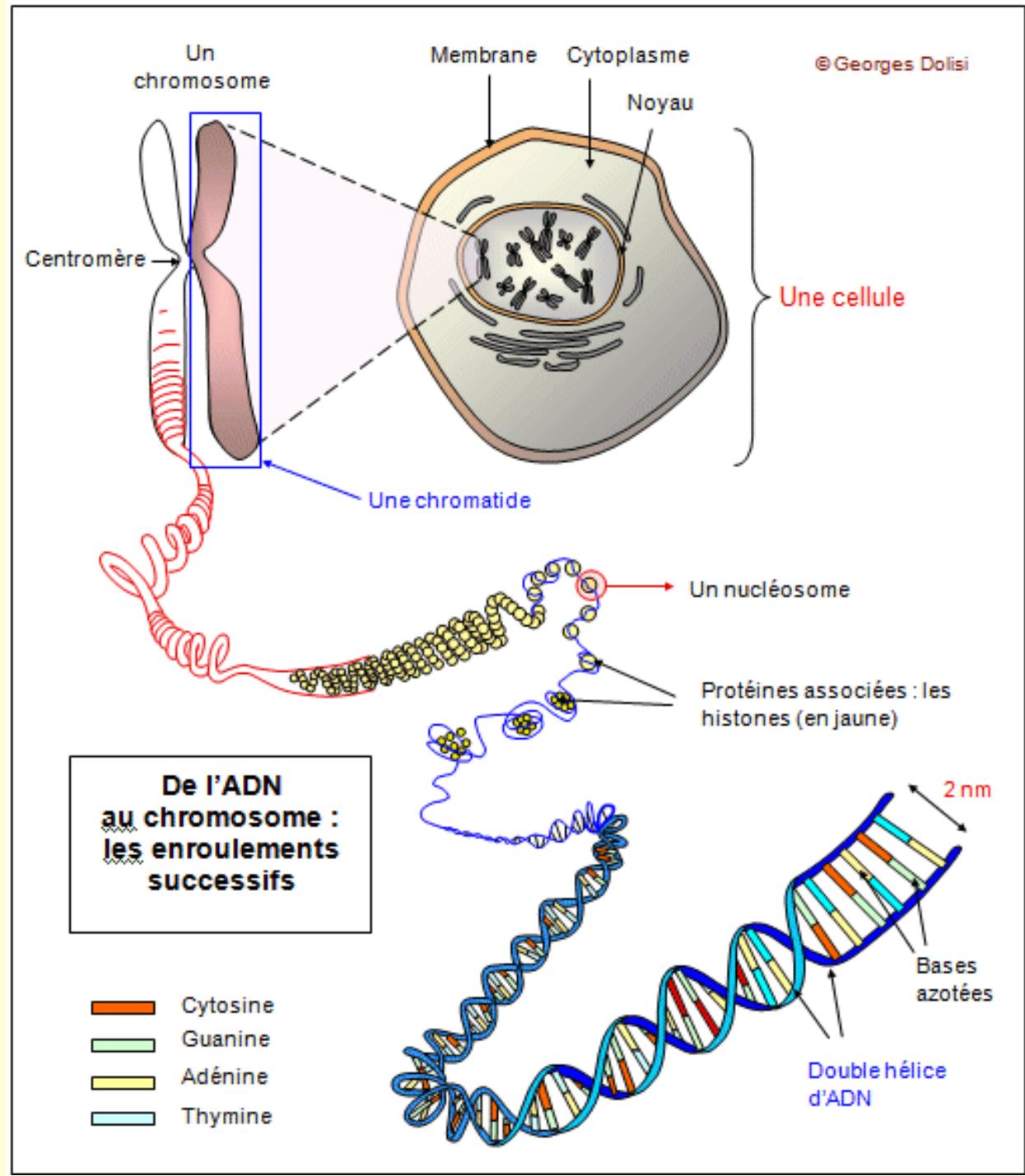
Ces réseaux doivent cependant réussir à se **reproduire** en faisant des copies d'eux-mêmes.

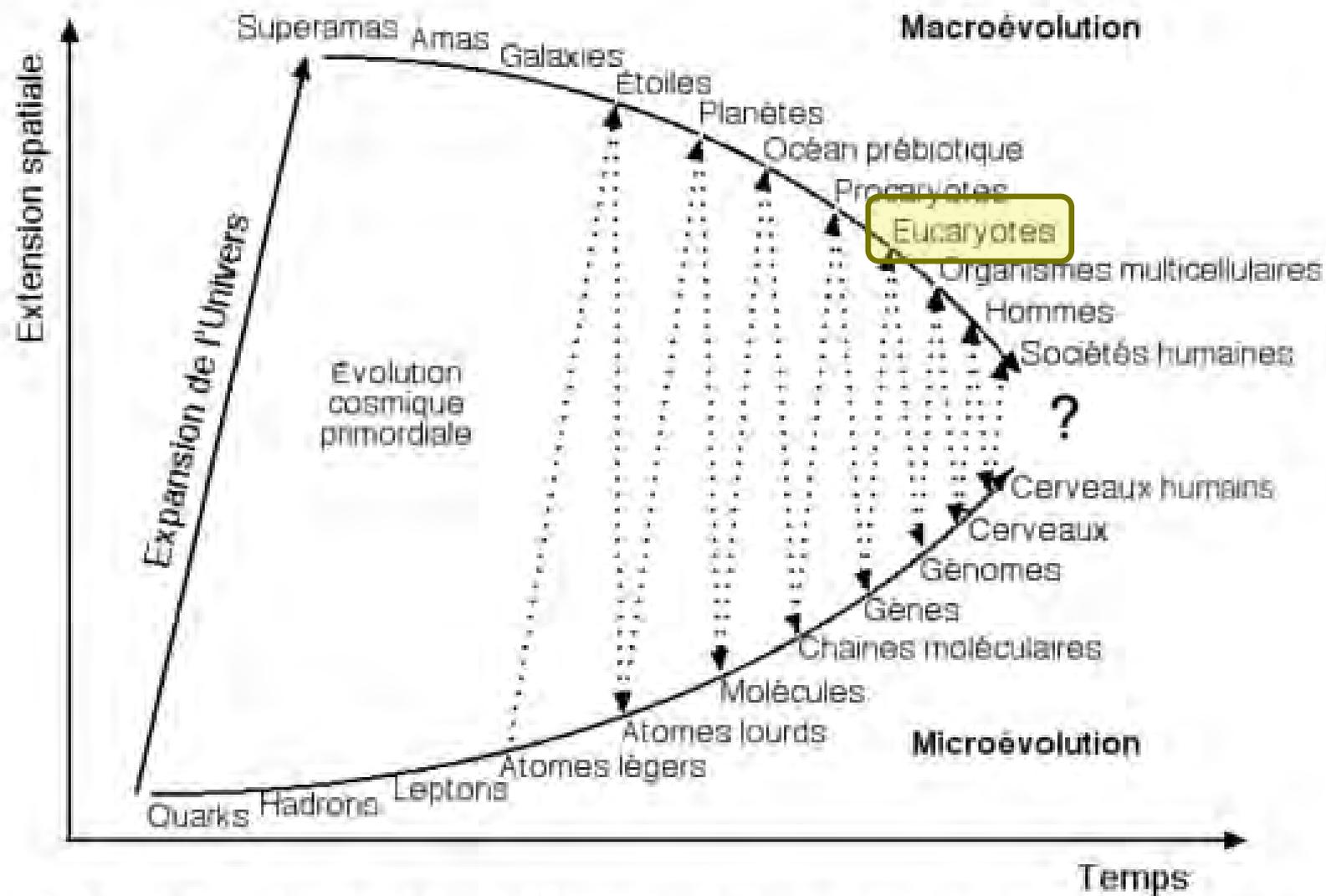
Car la vie implique aussi une capacité de **mémoire** pour retenir les bons coups du hasard.

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

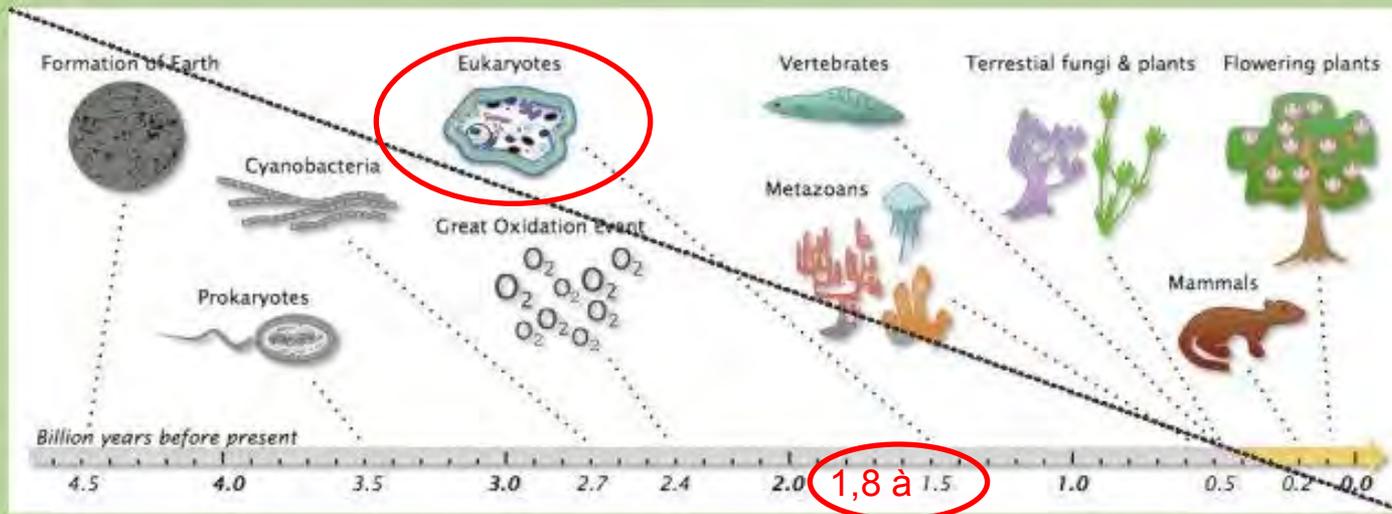
Mais cette stabilité ne lui confère pas un statut particulier vis-à-vis des autres molécules :

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

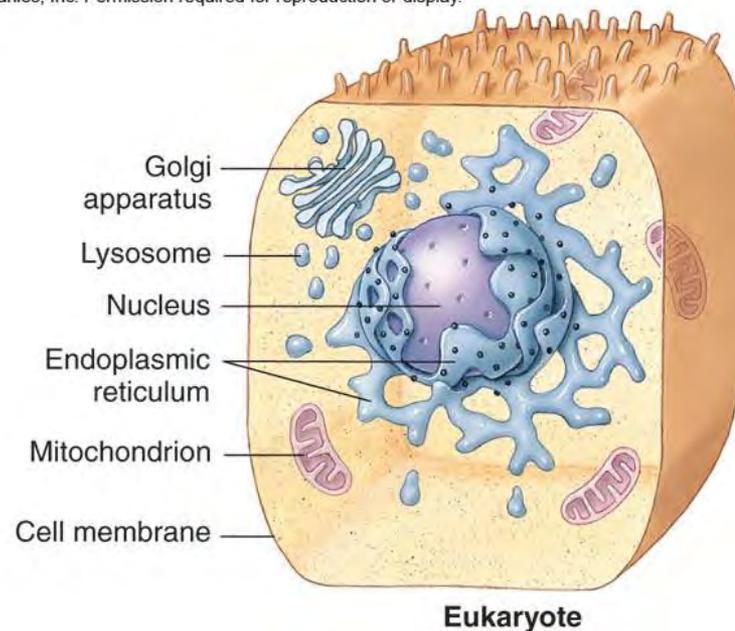
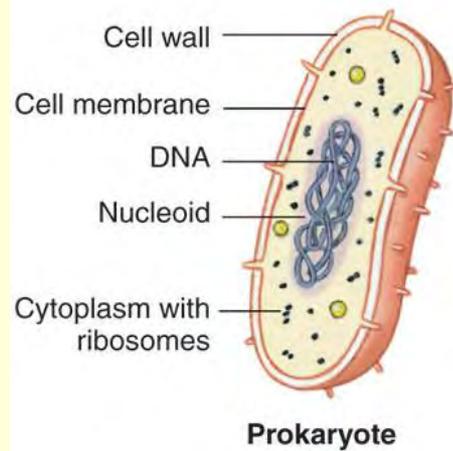




D'après Erich Jantsch, *The self-organizing universe*, Pergamon, 1980.



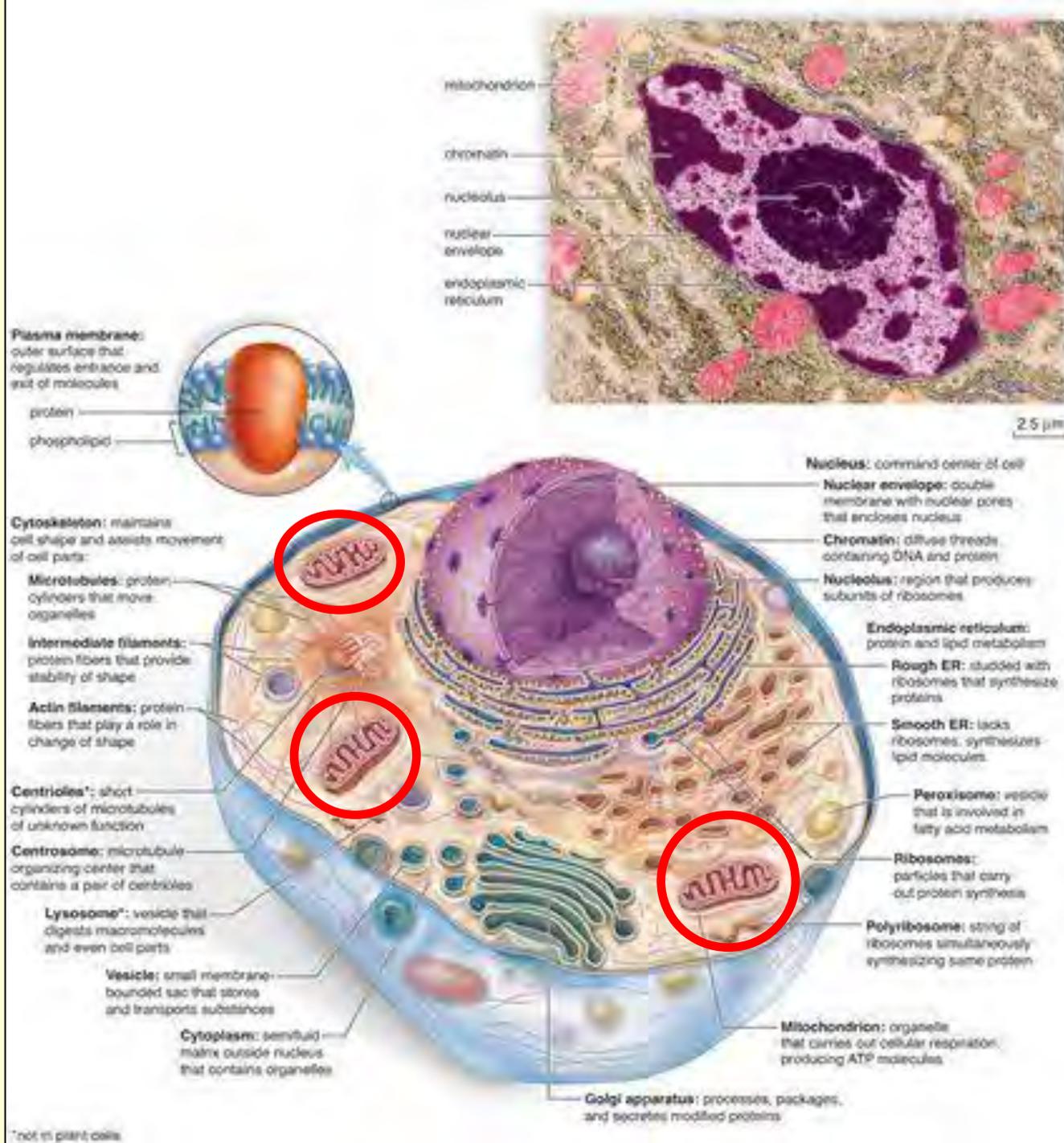
Copyright © The McGraw-Hill Companies, Inc. Permission required for reproduction or display.



Les réseaux complexes se « compartimentalisent »

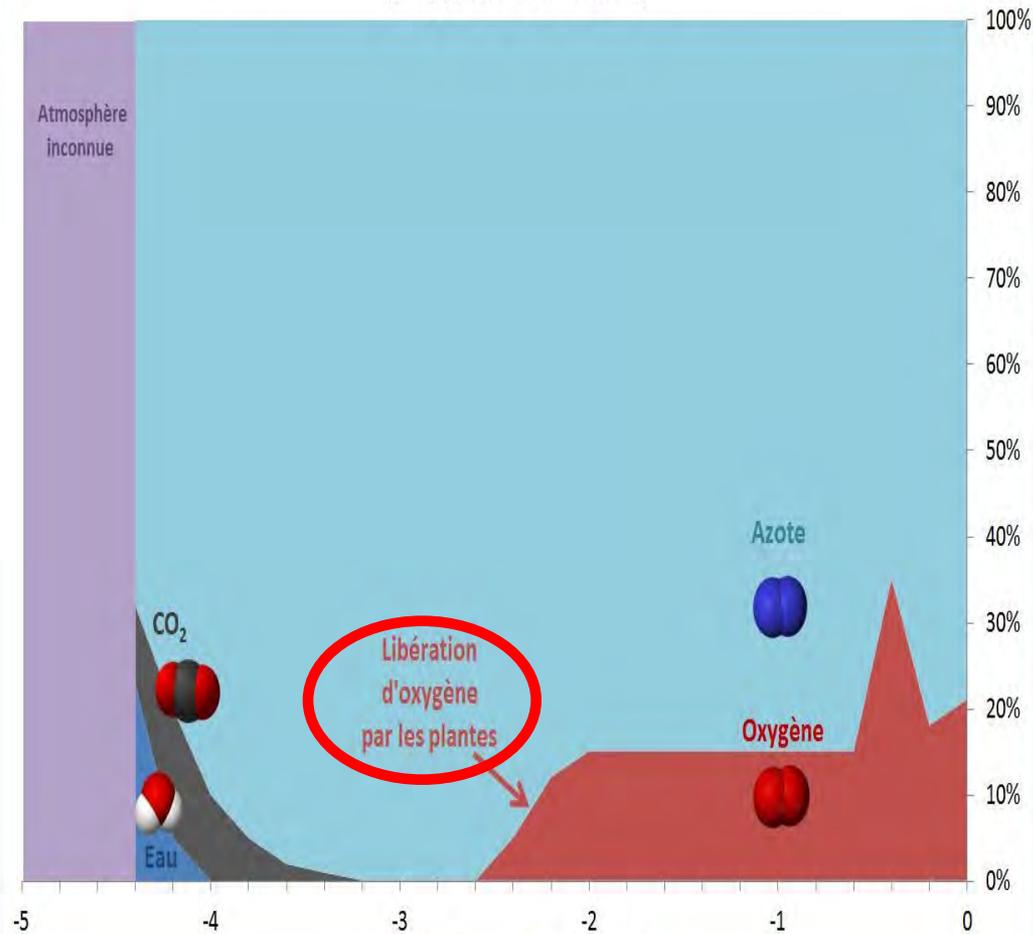
Dans le **noyau**, où se retrouve l'ADN.

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

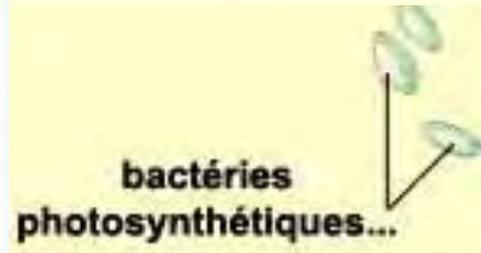


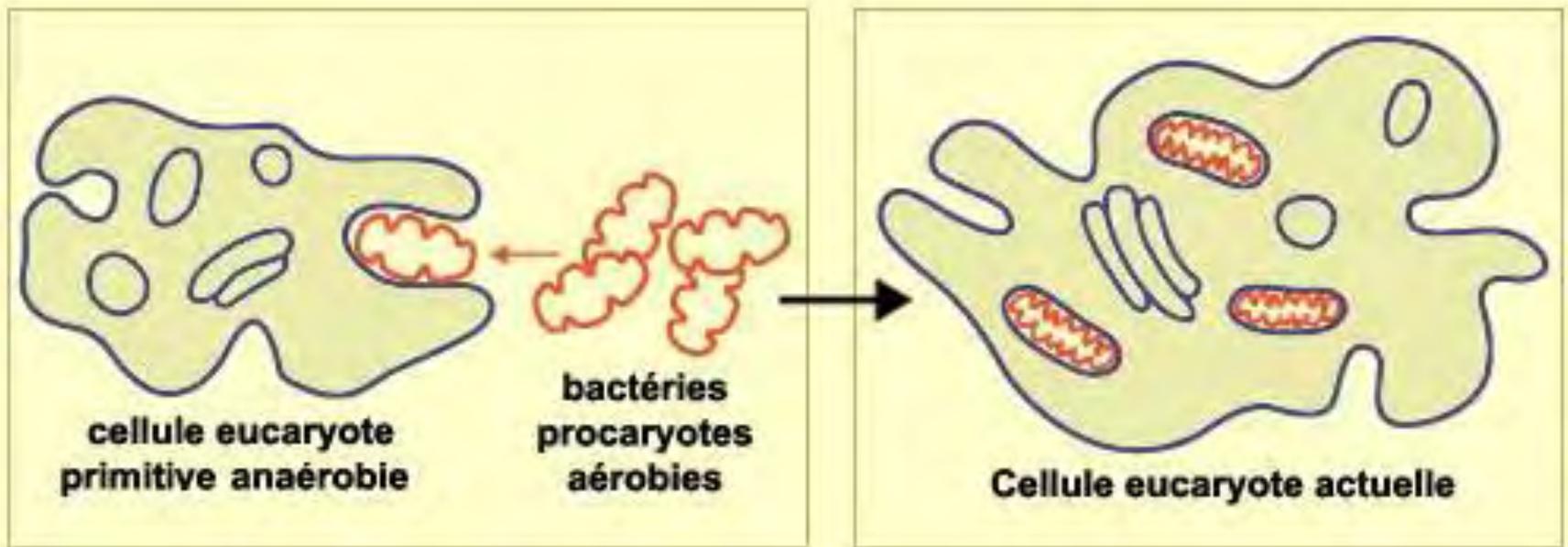
## Composition de l'atmosphère depuis 5 milliards d'années

(en %) (Source : Pour la Science)



© Olivier Berruyer, [www.les-crises.fr](http://www.les-crises.fr)



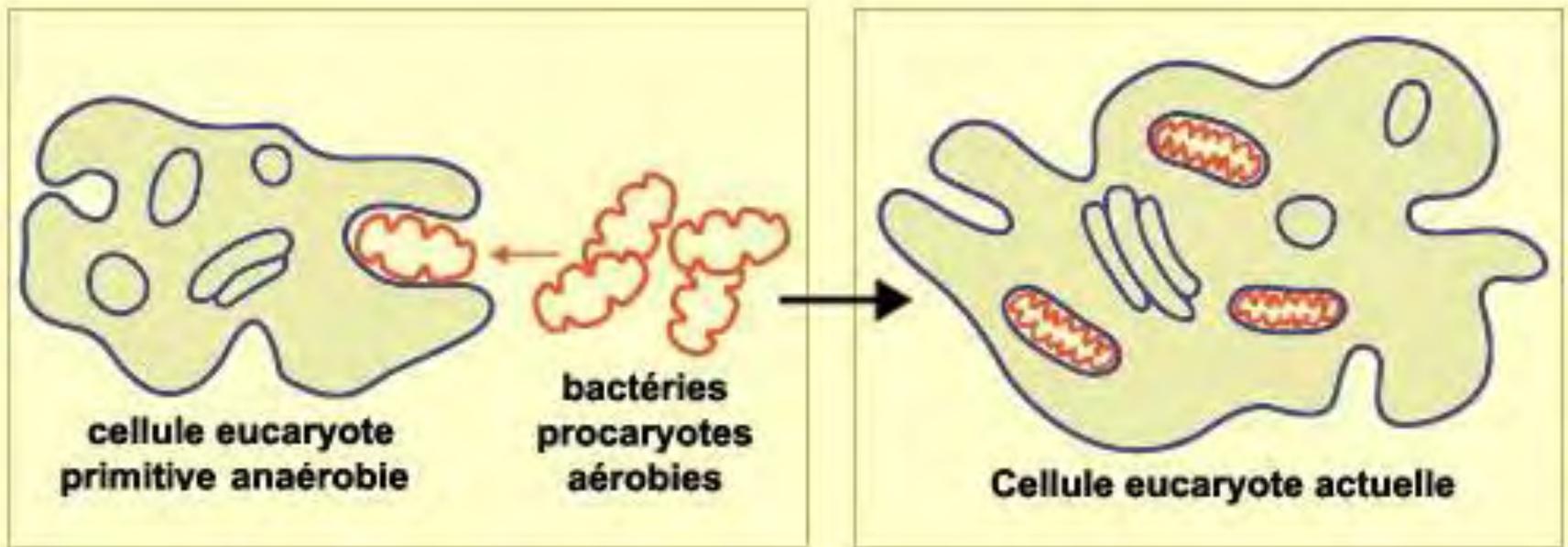


Avant, avec seulement la glycolyse : le **glucose** sera transformé en absence d'oxygène, en alcool éthylique qui sert d'accepteur interne pour les électrons.

**Bilan énergétique : 2 ATP**

Avec la mitochondrie, la molécule d'oxygène est utilisée comme accepteur final d'électrons et permet une oxydation complète de la molécule de glucose qui sera complètement transformée en CO<sub>2</sub> et H<sub>2</sub>O.

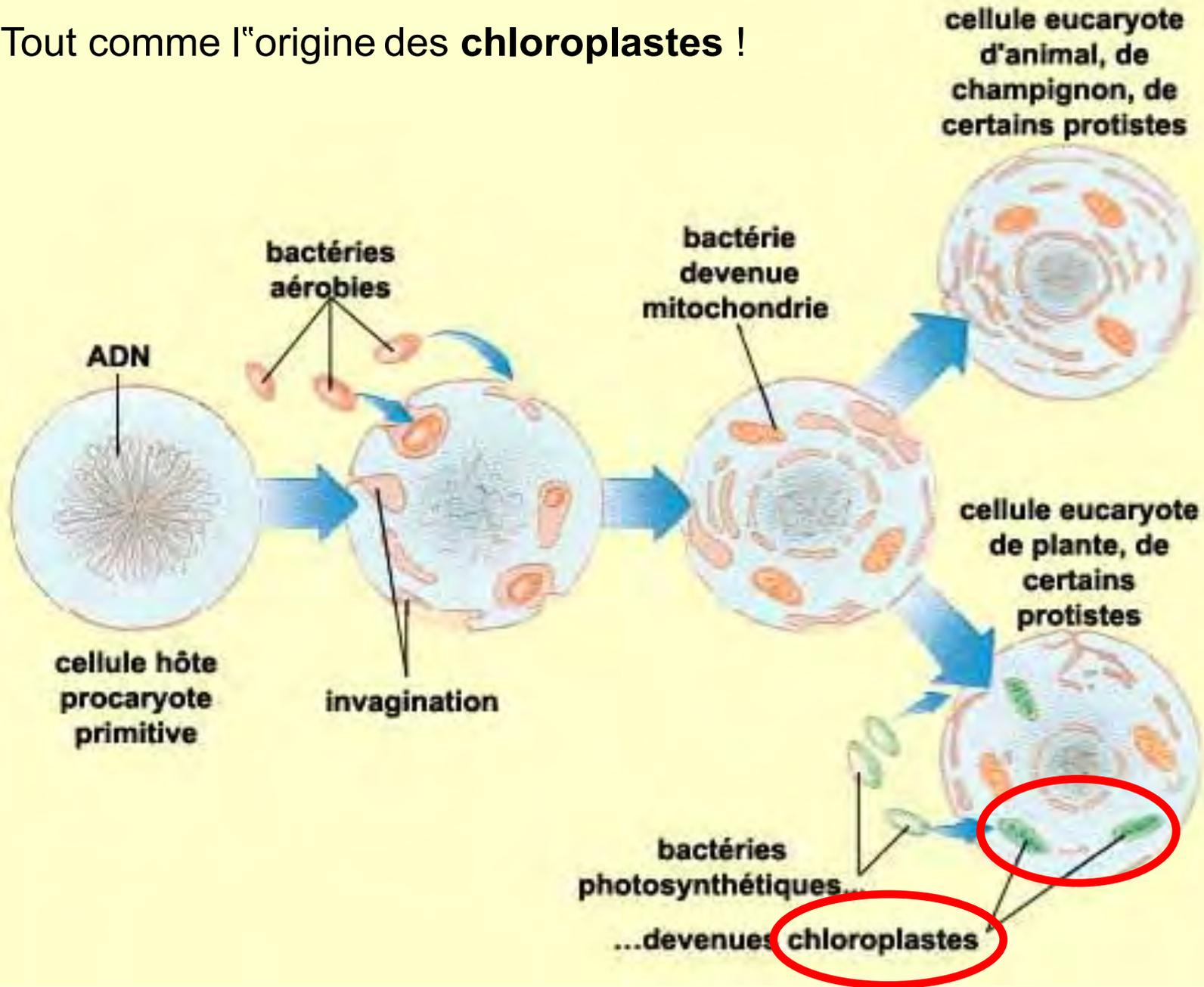
**Bilan énergétique : 38 ATP,**  
soit 19 fois plus que la glycolyse !



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

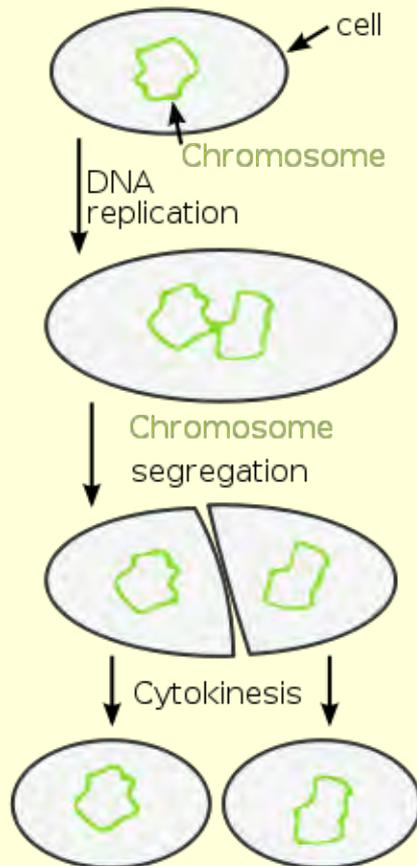
Car encore aujourd'hui, chaque cellule de votre cerveau possède des mitochondries.

Tout comme l'origine des **chloroplastes** !

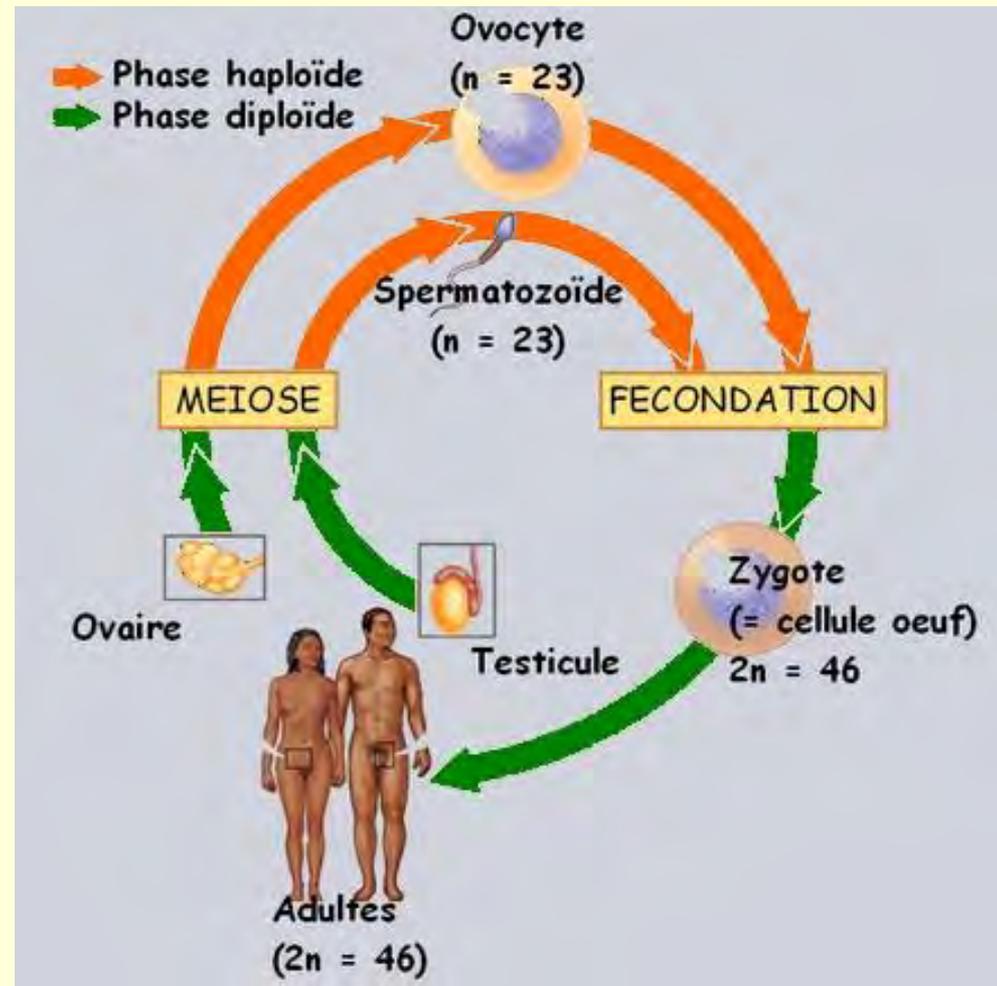


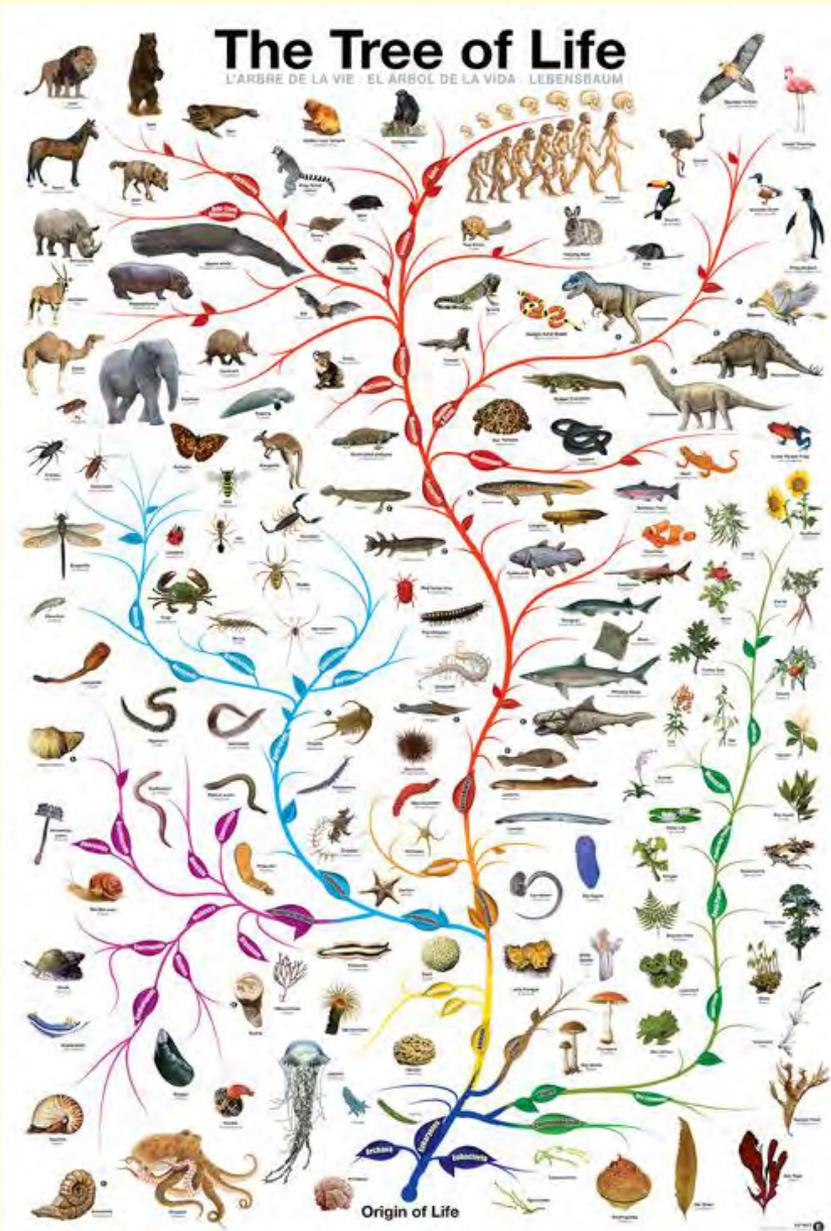
Autre étape importante : apparition de la **reproduction sexuée**, vraisemblablement avec les premiers eucaryotes.

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

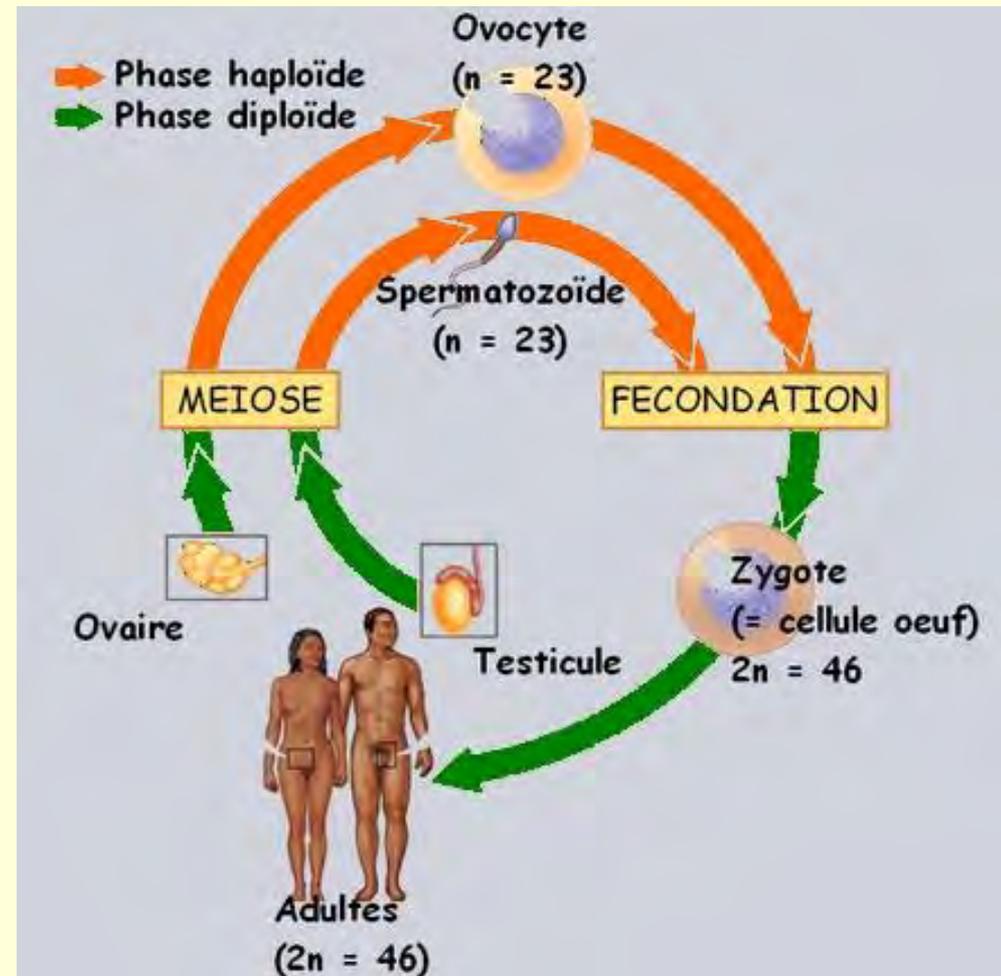


La sexualité : **deux** « parent » se mettent ensemble pour faire **un** individu toujours **différent** grâce au **brassage** du patrimoine génétique (crée beaucoup plus de **diversité**)



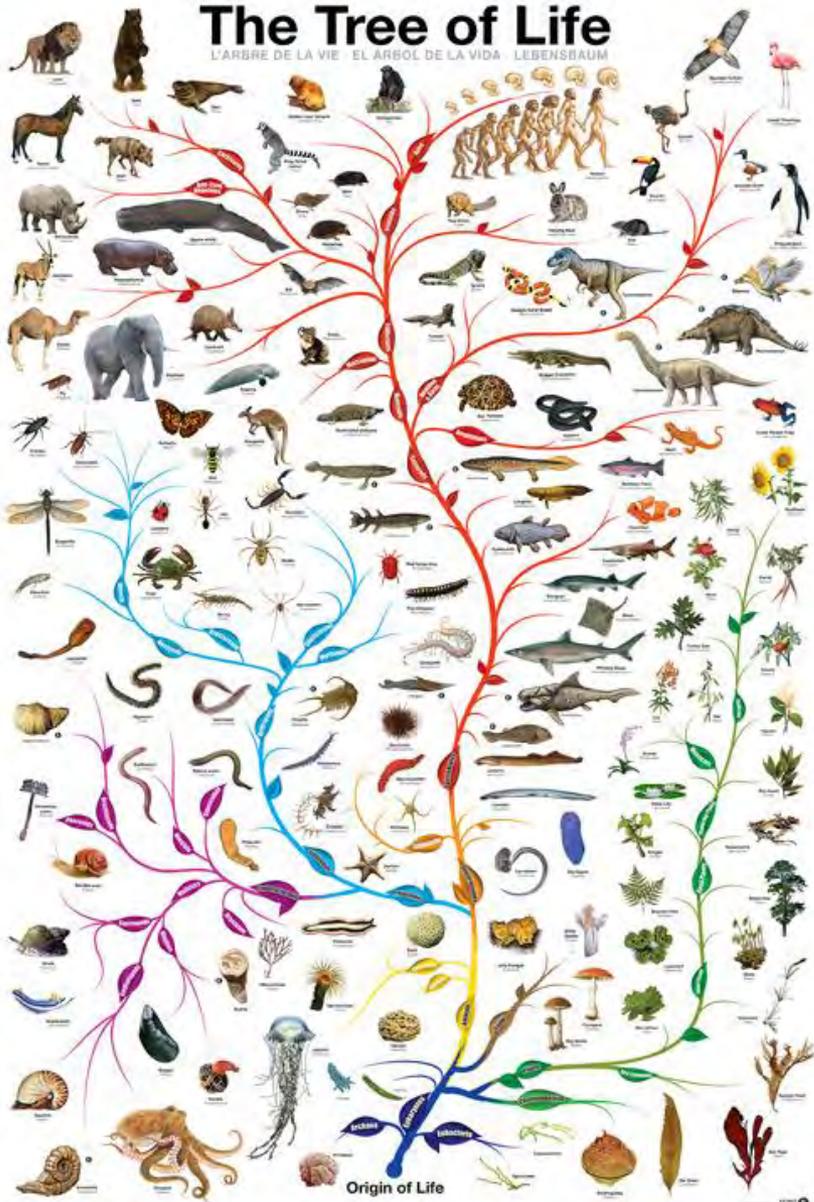


La sexualité : deux « parent » se mettent ensemble pour faire un individu toujours différent grâce au brassage du patrimoine génétique (crée beaucoup plus de **diversité**)



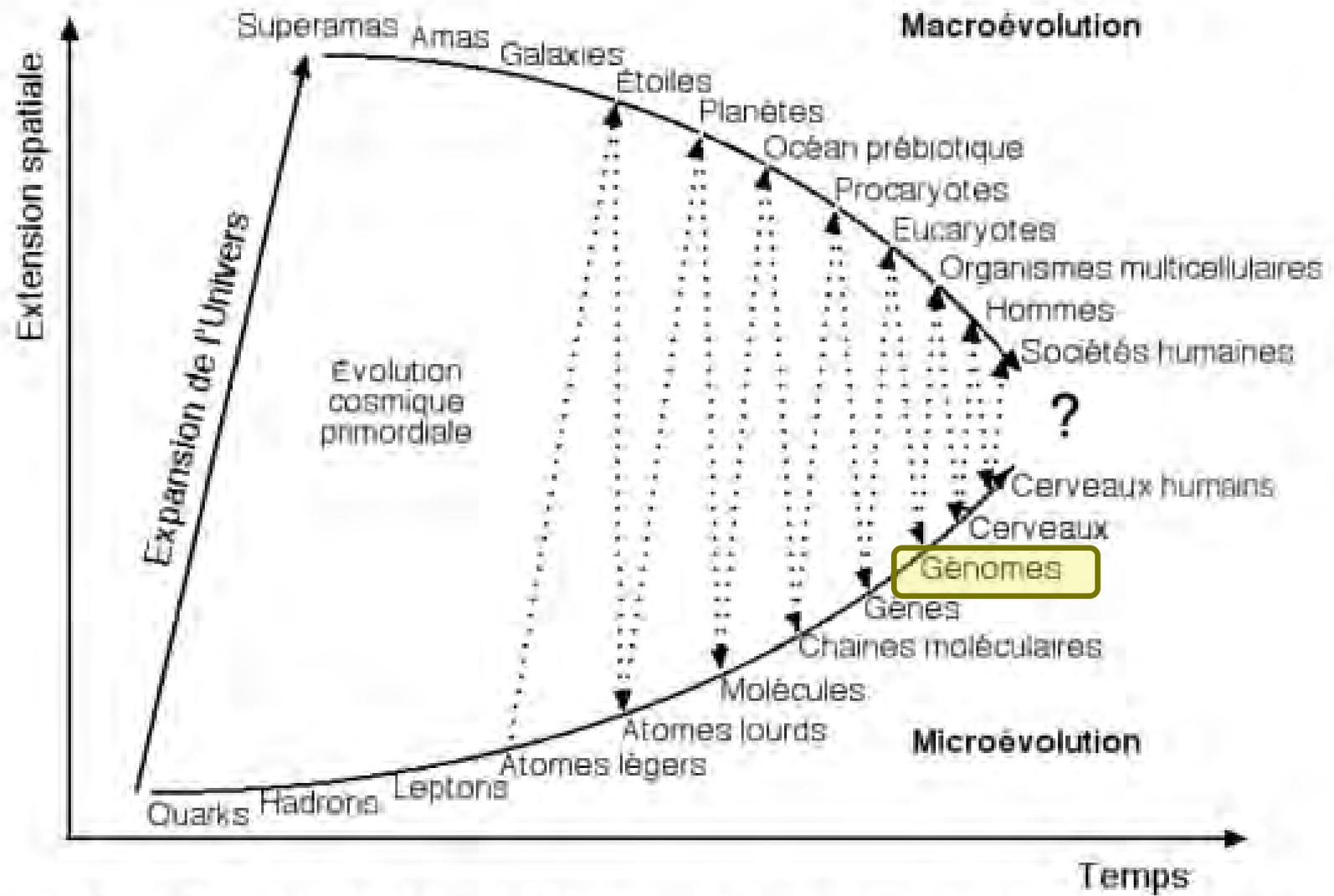
# The Tree of Life

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



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

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



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

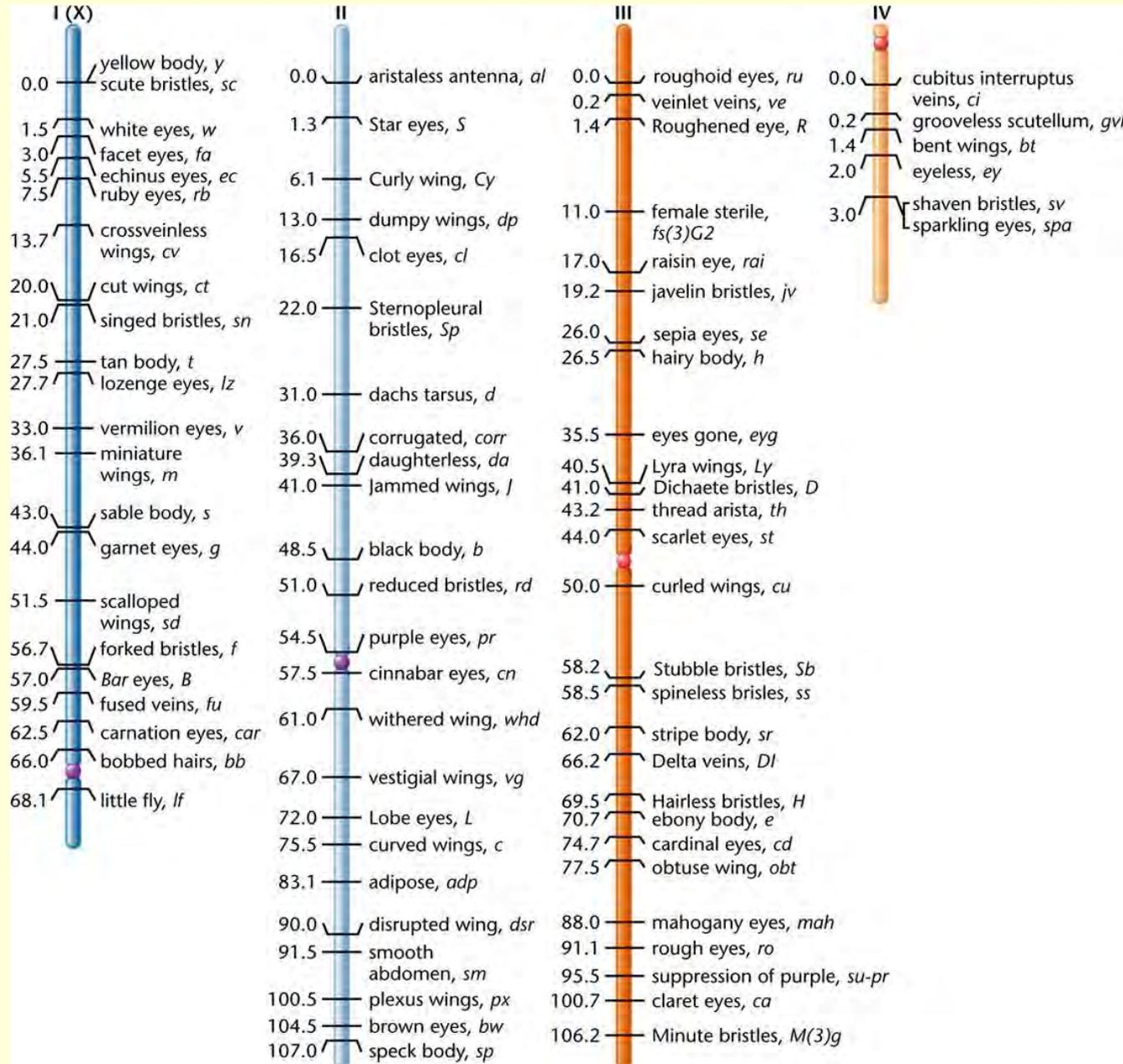
**Mouche mutante**

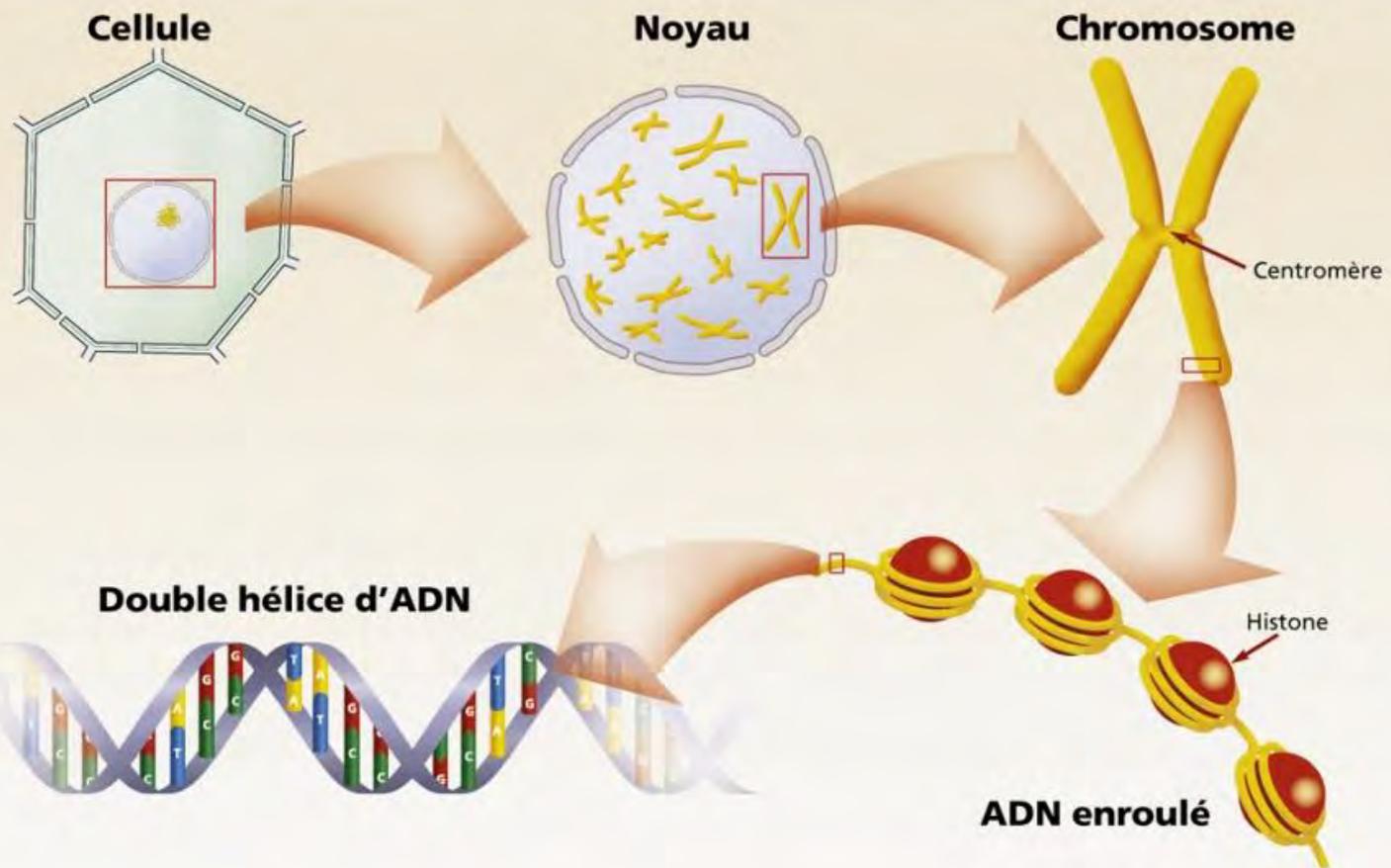


**Mouche normale**



La mouche drosophile a un génome constitué de 13 000 gènes porté sur **4 paires de chromosomes**

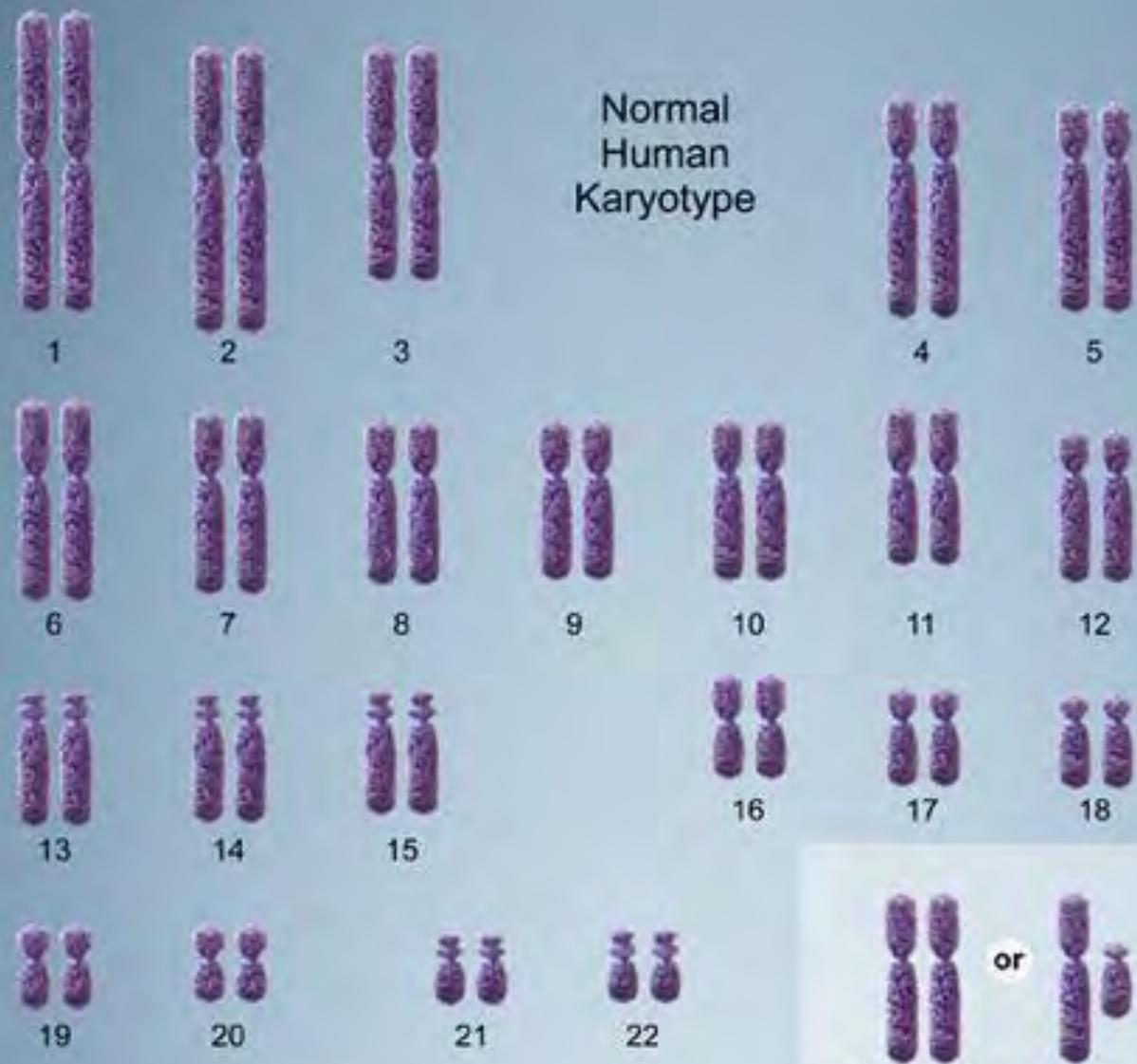




9

On estime le nombre de gènes codant une protéine chez l'Homme à environ **20 000**, ce qui correspond à 3,2 milliards de paires de nucléotides. Ainsi chaque cellule humaine contient 2 mètres d'ADN environ.

Normal  
Human  
Karyotype



Autosomes

XX (female) XY (male)

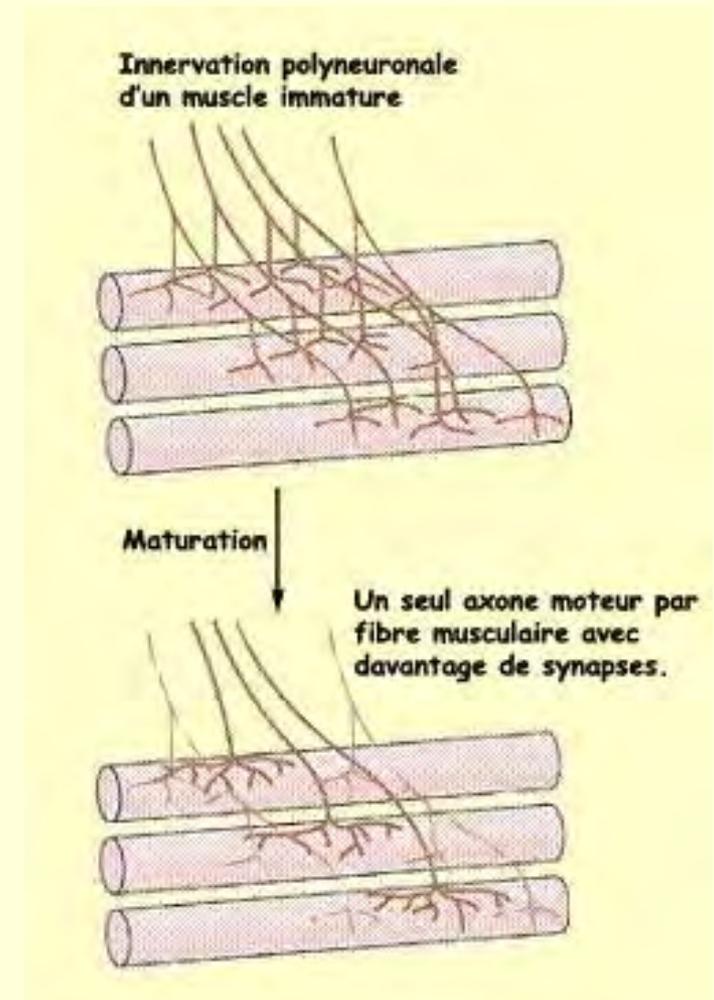
Sex Chromosomes

20 000 gènes pour spécifier l'emplacement de 85 milliards de neurones et de leur 1000 ou 10 000 connexions chacun, c'est pas assez !

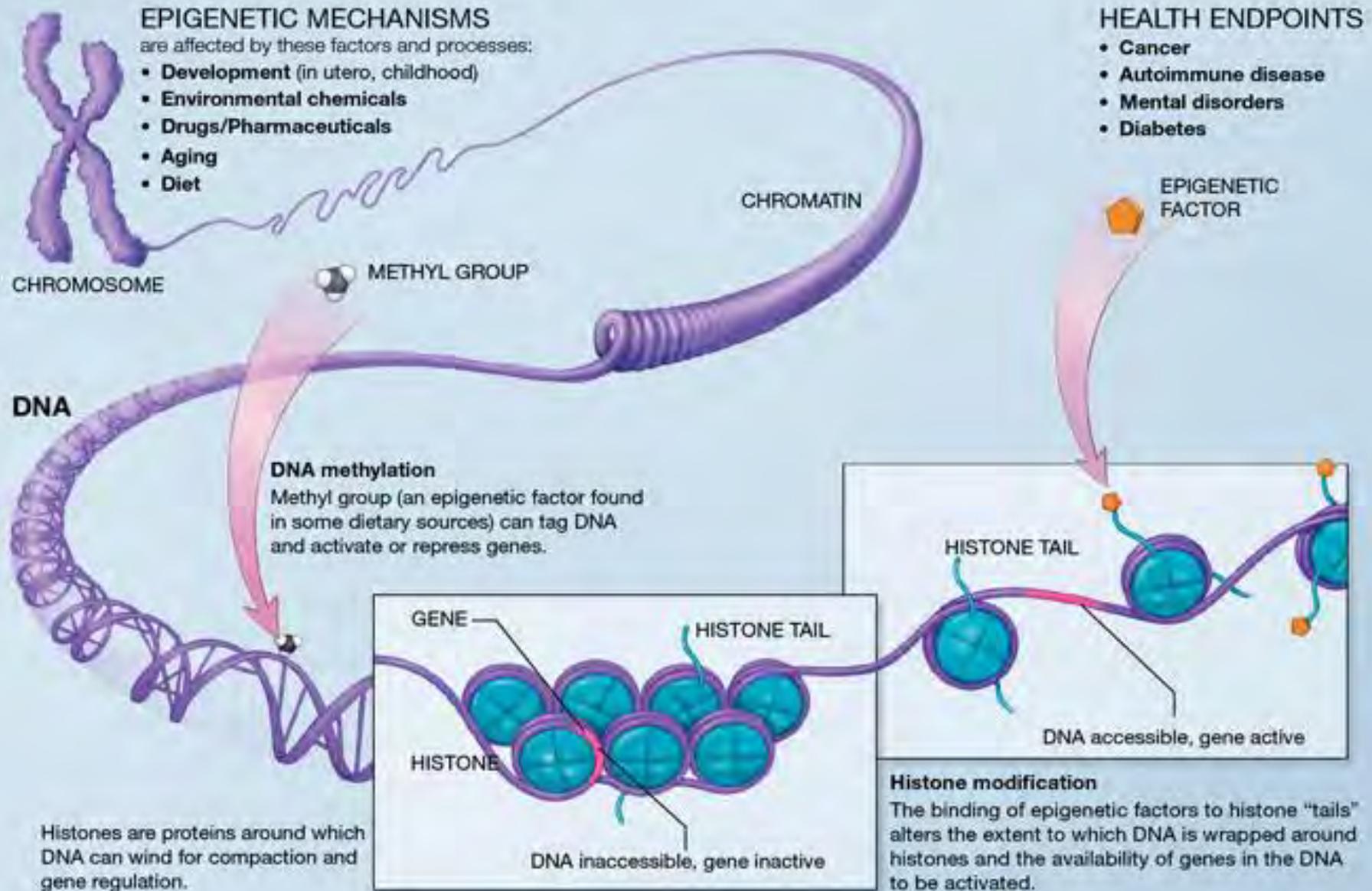
Il va donc devoir y avoir des choses qui se passent « après les gènes », durant le développement.

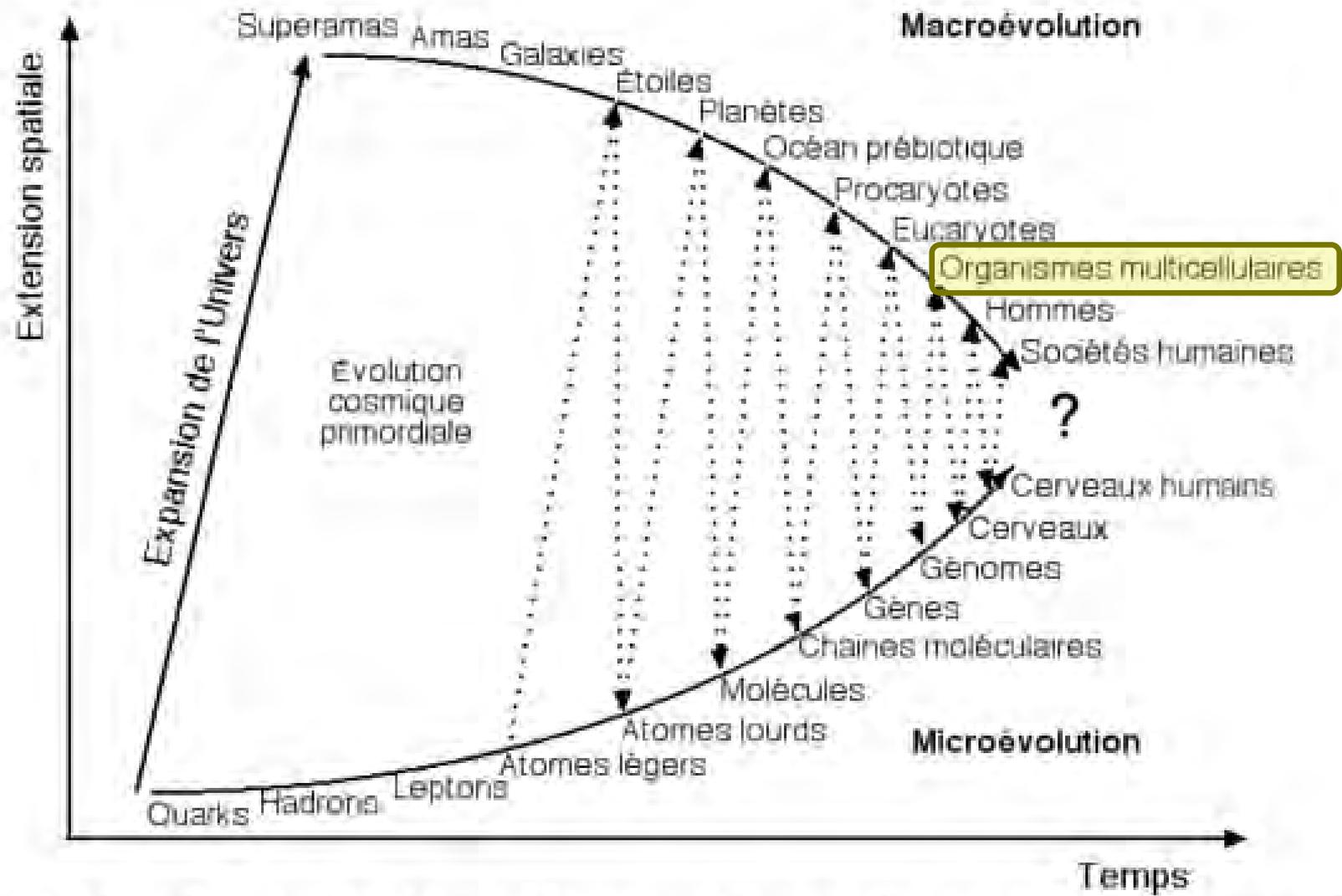
Ces phénomènes **épigénétiques** », qui surviennent donc après la naissance, ont été déjà observés vers 1972 par J-P Changeux et son équipe (rapportés dans l'*Homme neuronal*, 1983),

sont sous le contrôle de l'activité du réseau et se font sur le mode "darwinien" de **compétition** et **d'élimination** de synapses.

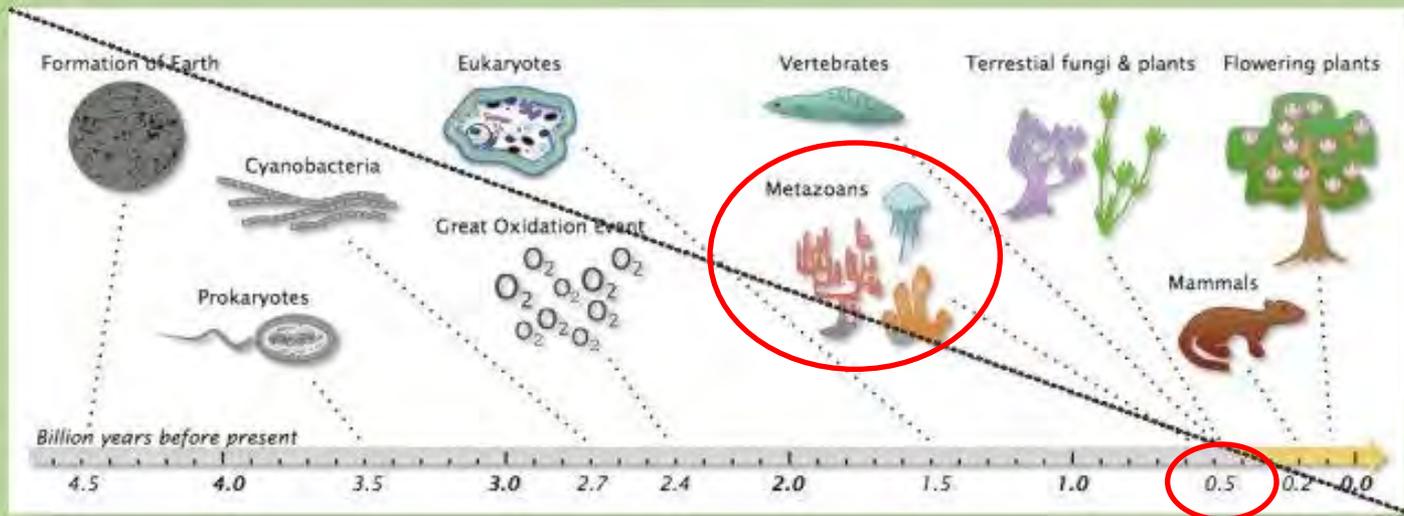


Le spectre des phénomènes **épigénétiques** s'est beaucoup élargi et on connaît maintenant certains mécanismes moléculaires qui les sous-tendent.

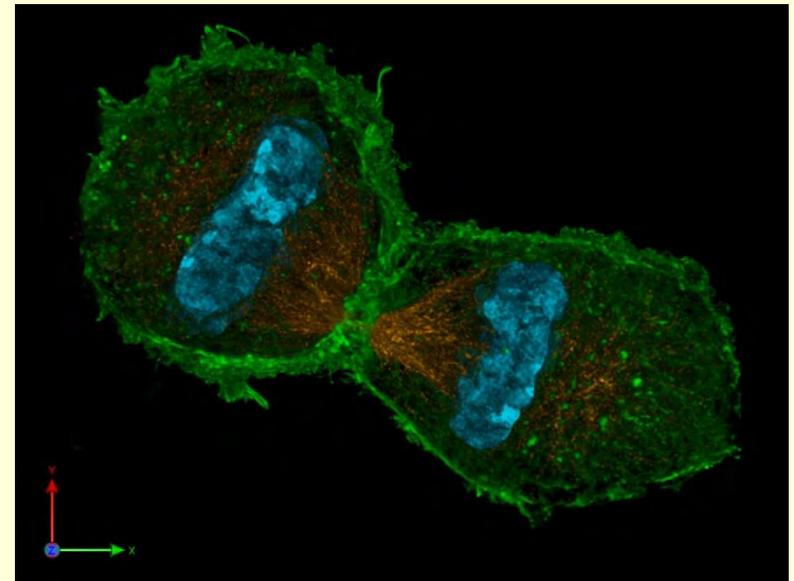
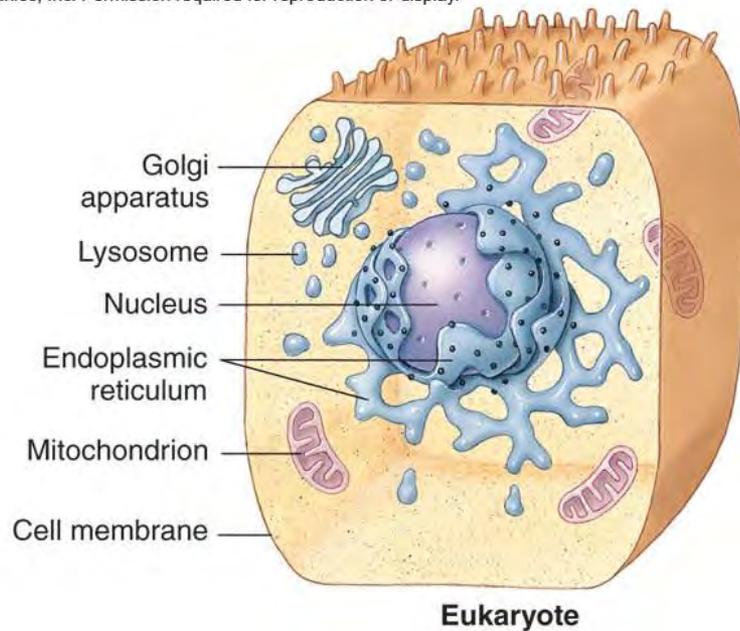


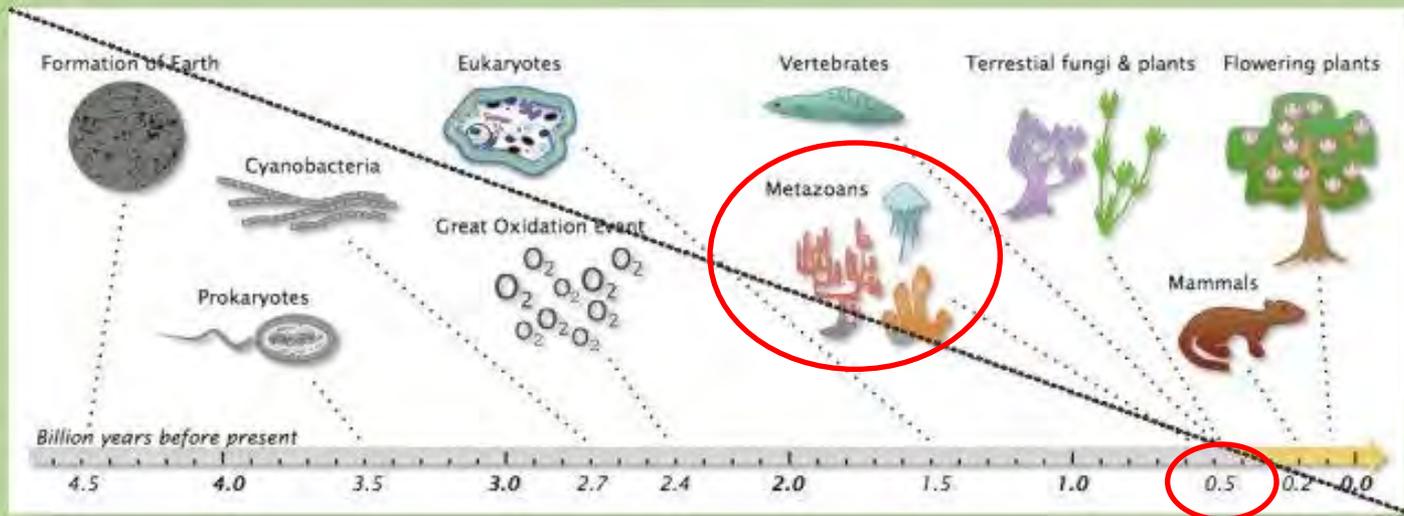


D'après Erich Jantsch, *The self-organizing universe*, Pergamon, 1980.

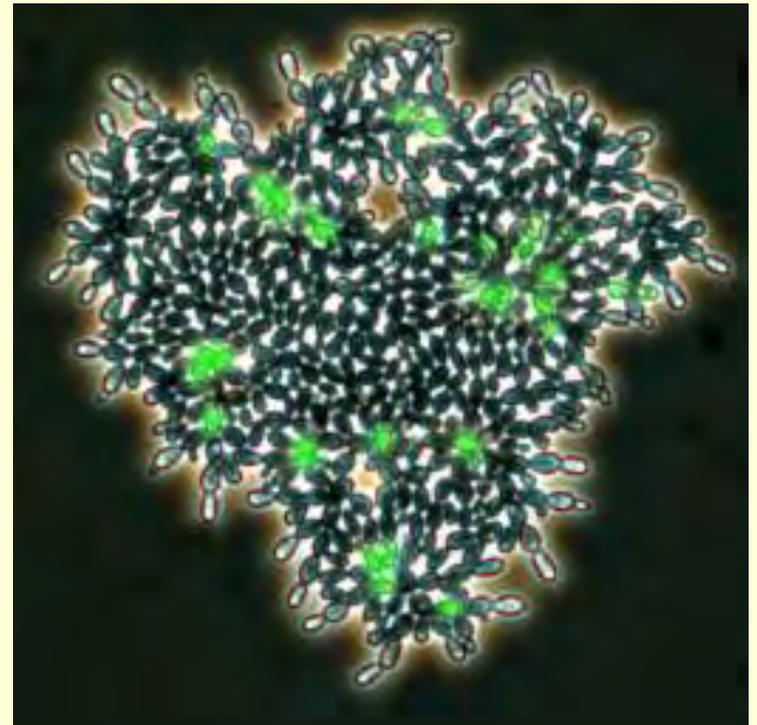
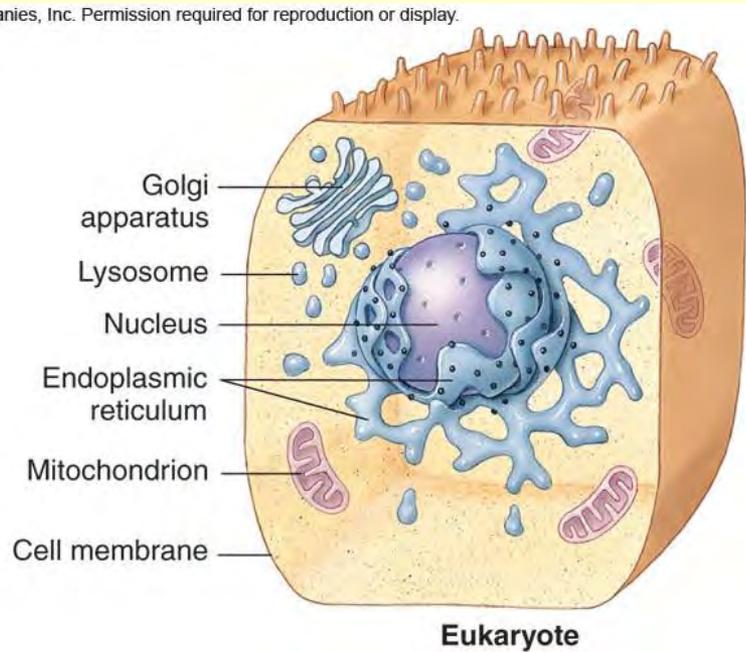


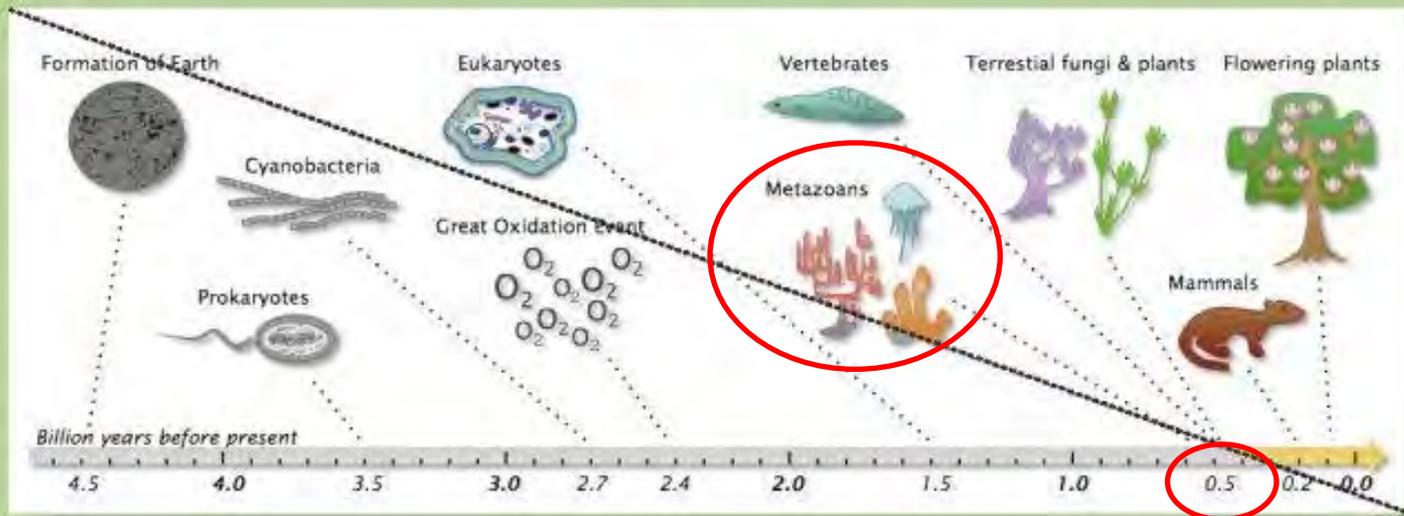
© 2007 McGraw-Hill Companies, Inc. Permission required for reproduction or display.





Copyright © 2008 McGraw-Hill Companies, Inc. Permission required for reproduction or display.





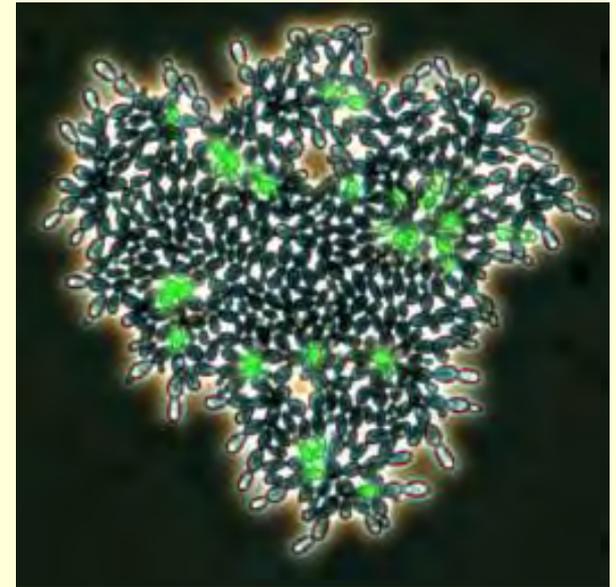
## Scientists replicate key evolutionary step in life on earth

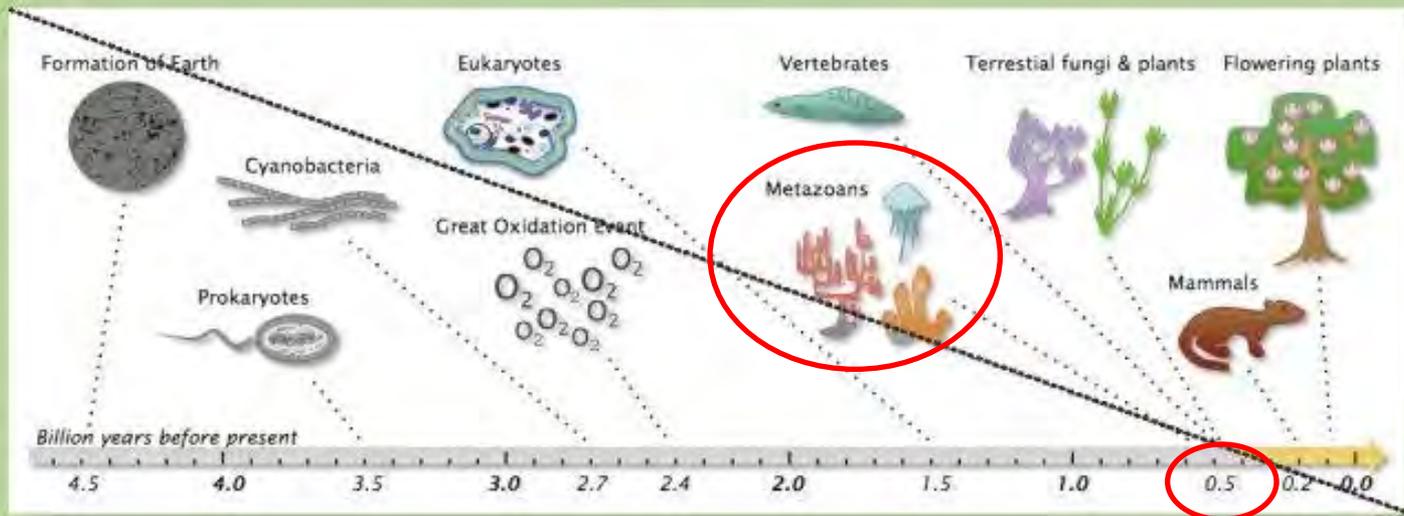
Jan 16, 2012

<http://phys.org/news/2012-01-scientists-replicate-key-evolutionary-life.html#iCp>

"This study is the **first to experimentally observe that transition** [the switch to living as a group, as multi-celled organisms]"

Pas seulement un groupe de cellules attaché au hasard, mais des cellules (de levure) **qui restent attachées ensemble après leur division.**



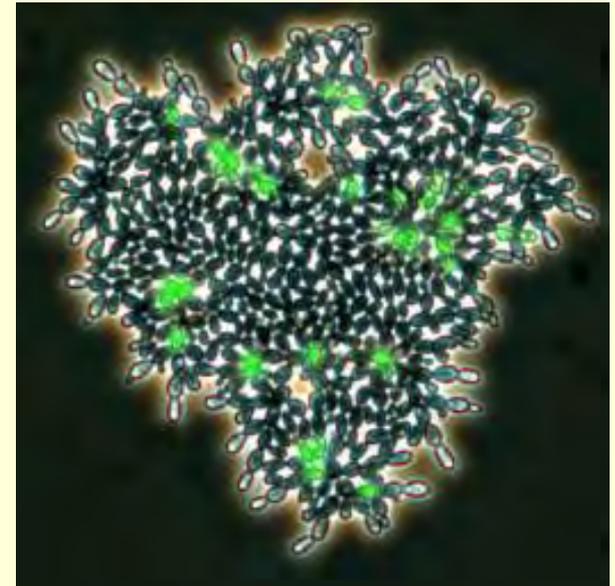


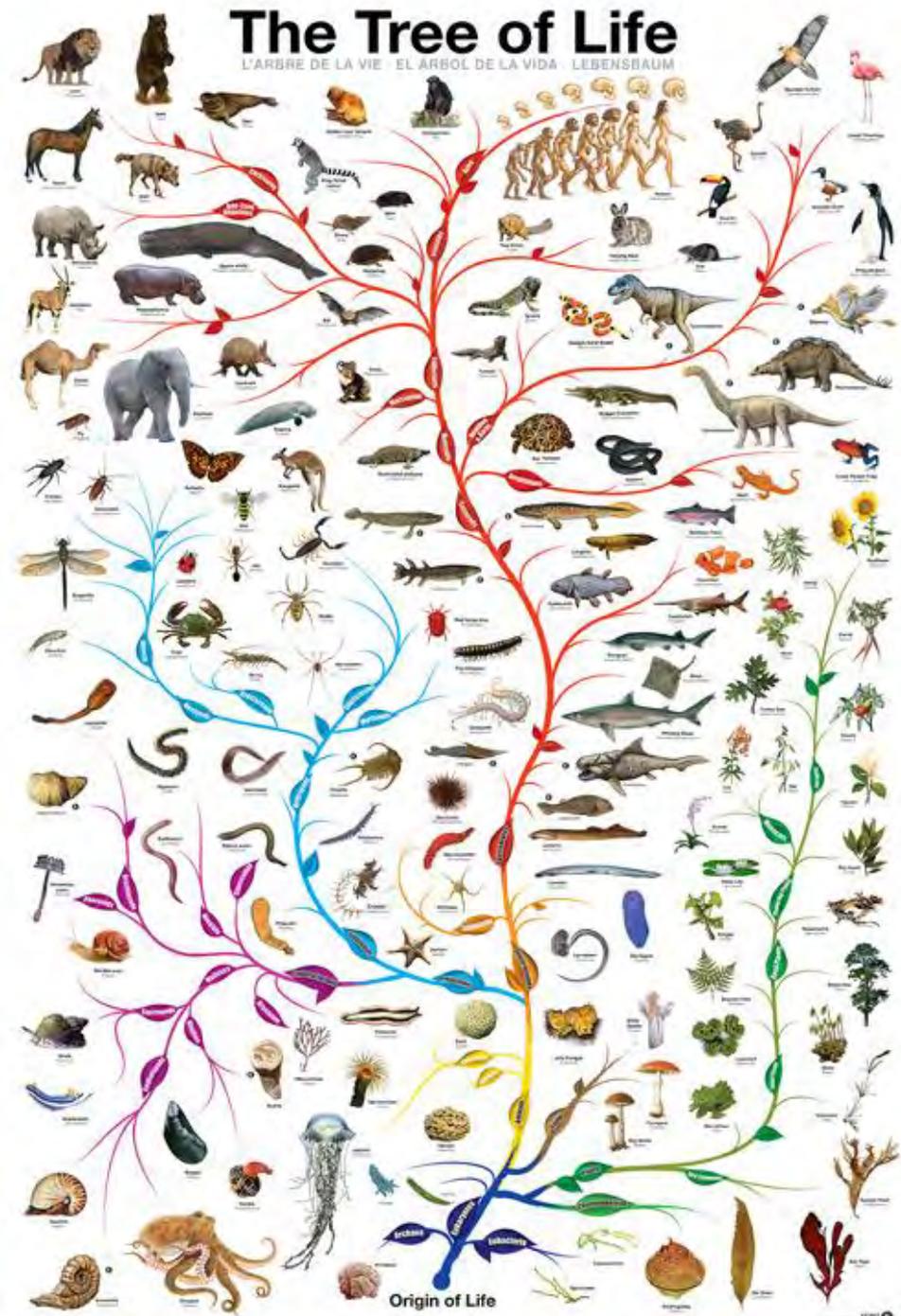
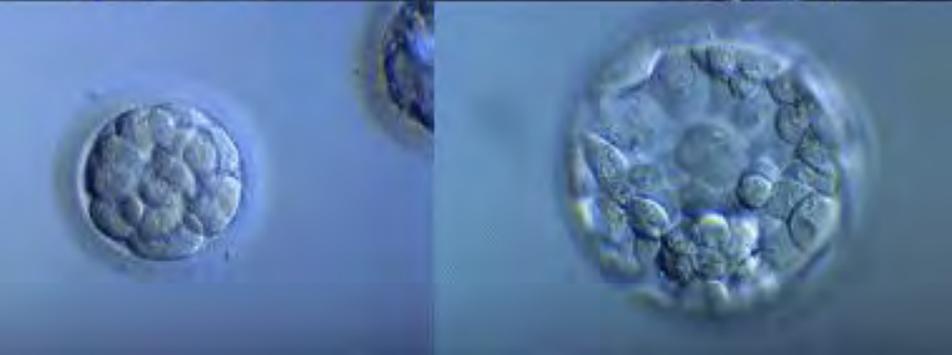
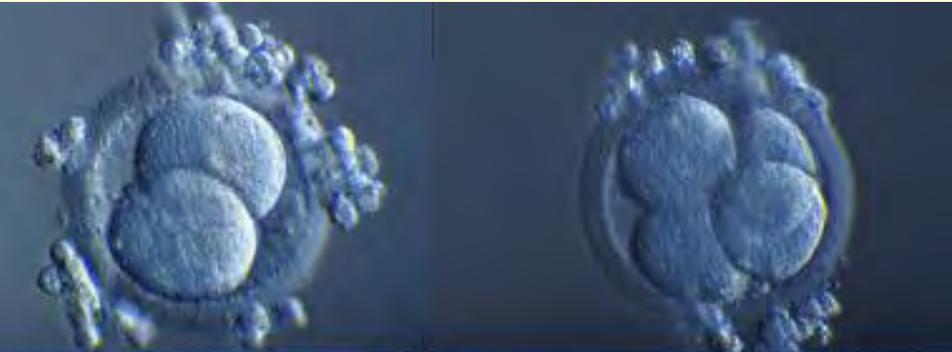
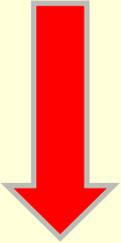
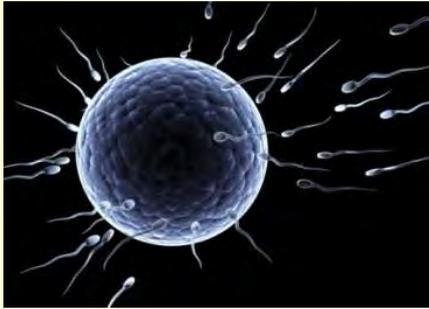
Important car cette similarité génétique amène de la **coopération**.

Aussi :

- En atteignant une certaine taille, les cellules meurent par apoptose;
- Les cellules-filles se reproduisent seulement quand elles atteignent la taille de leur parent

"A cluster alone isn't multi-cellular. But when cells in a cluster **cooperate**, **make sacrifices** for the common good, and **adapt** to change, that's an **evolutionary transition to multi-cellularity**."





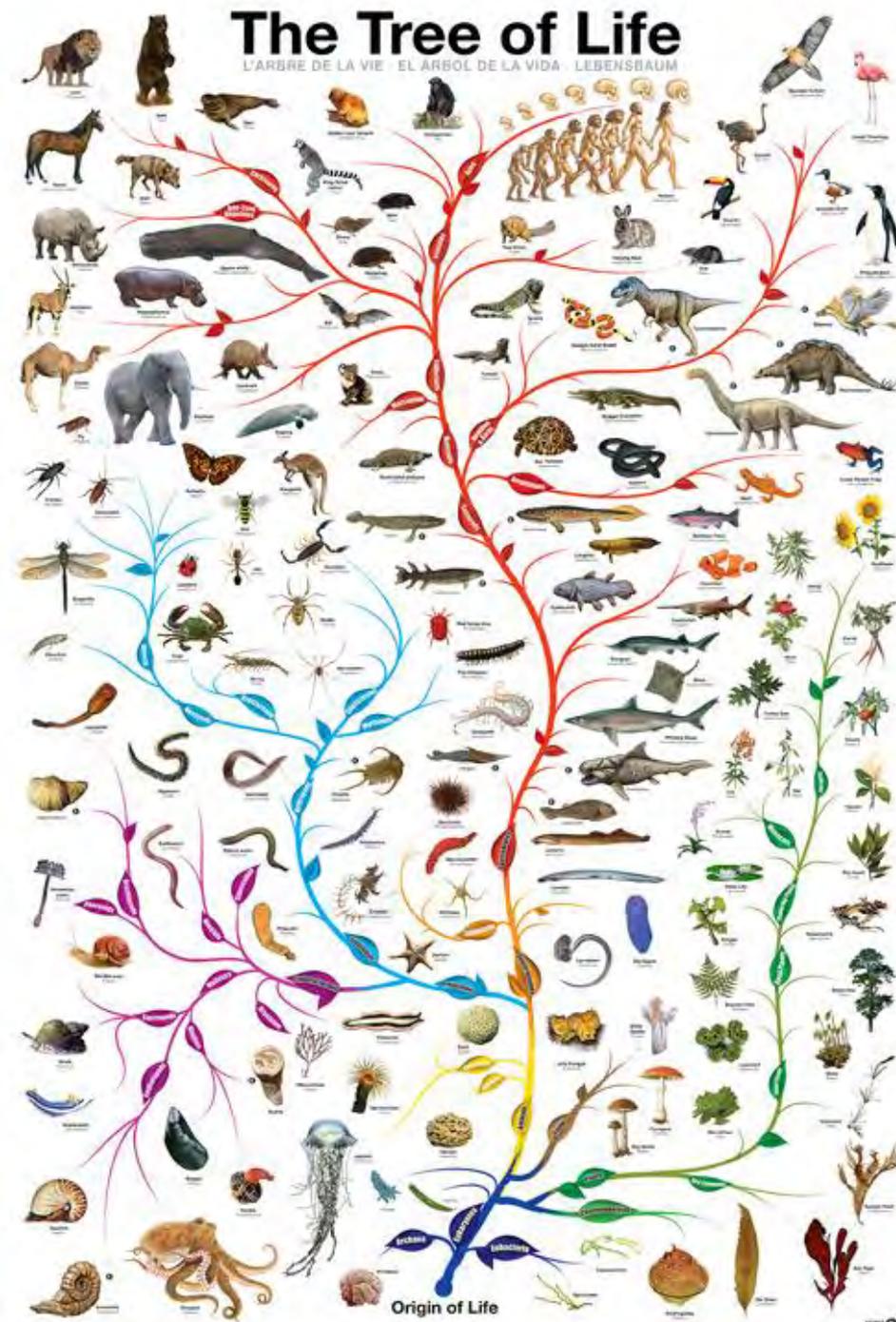
Un moteur important de l'évolution :  
**La sélection naturelle**

1- Les individus d'une population **diffèrent** suite à des **mutations** qui surviennent au hasard (**variations**)

2- Plusieurs de ces différences sont **héréditaires**;

3- Certains individus, dans un environnement donné, ont des caractéristiques qui les **avantagent** en terme de survie et de reproduction;

4- Ils vont donc transmettre **plus efficacement à leur descendants ces caractères héréditaires avantageux**, et progressivement toute la population les possédera.



## L'évolution n'est pas que la sélection naturelle

Trop de gens pensent encore que **la sélection naturelle de Darwin** est un mécanisme capable d'expliquer à peu près tous les aspects de l'évolution.

PZ Myers, un spécialiste de la biologie évolutive du développement qui tient l'un des blogues scientifiques les plus fréquentés, montre que **la complexité n'est habituellement pas le produit de la sélection naturelle**.

Les **mutations dues au hasard**, couplées à une **dérive génétique** au sein de la population, explique en grande partie la complexification du vivant.



## L'évolution n'est pas que la sélection naturelle

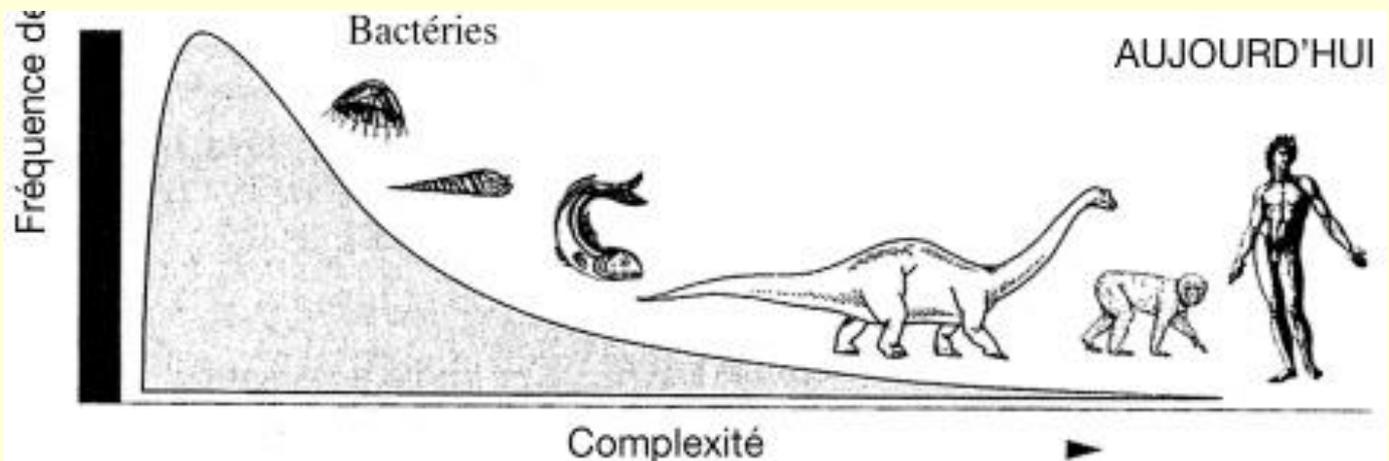
Trop de gens pensent encore que **la sélection naturelle de Darwin** est un mécanisme capable d'expliquer à peu près tous les aspects de l'évolution.

PZ Myers, un spécialiste de la biologie évolutive du développement qui tient l'un des blogues scientifiques les plus fréquentés, montre que **la complexité n'est habituellement pas le produit de la sélection naturelle**.

Les **mutations dues au hasard**, couplées à une **dérive génétique** au sein de la population, explique en grande partie la complexification du vivant.

**Mur de la complexité minimale**

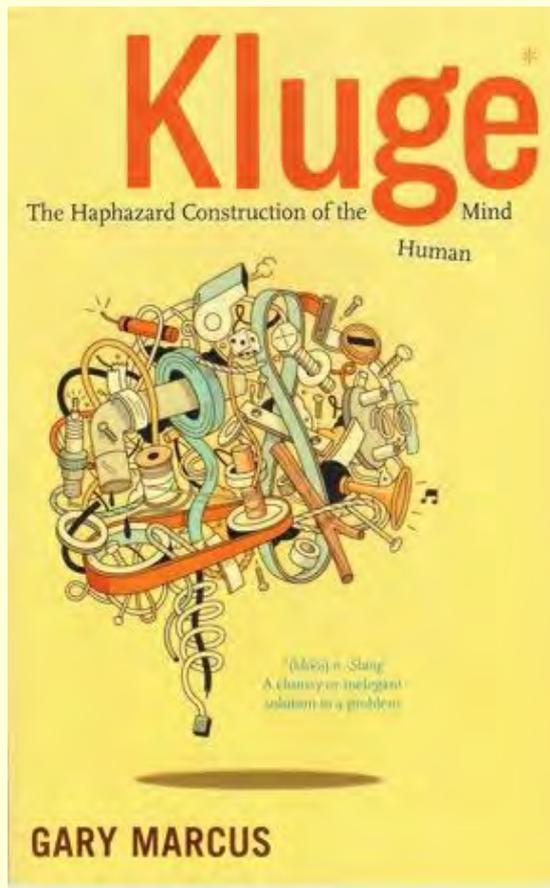
(SJ Gould)



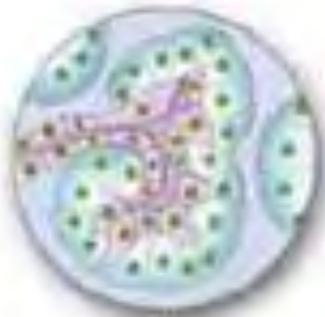


"L'évolution ne tire pas ses nouveautés du néant. Elle travaille sur ce qui existe déjà. [...] la sélection naturelle opère à la manière non d'un ingénieur, mais d'un bricoleur ; un bricoleur qui ne sait pas encore ce qu'il va produire, mais récupère tout ce qui lui tombe sous la main [...]"

- (François Jacob / né en 1920 / Le jeu des possibles / 1981)



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



cellule  
pancréatique



cellule  
cardiaque



cellule  
sanguine



cellule  
pulmonaire



ovule



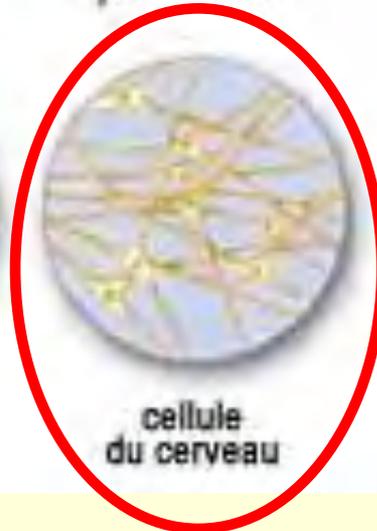
cellule  
osseuse



cellule  
de la rate



cellule  
musculaire



cellule  
du cerveau



cellule  
du foie

Autre phénomène de **symbiose** important :

Le **nombre de cellules** propres à un organisme humain adulte est de l'ordre de  **$10^{14}$**  (**cent mille milliards !**)

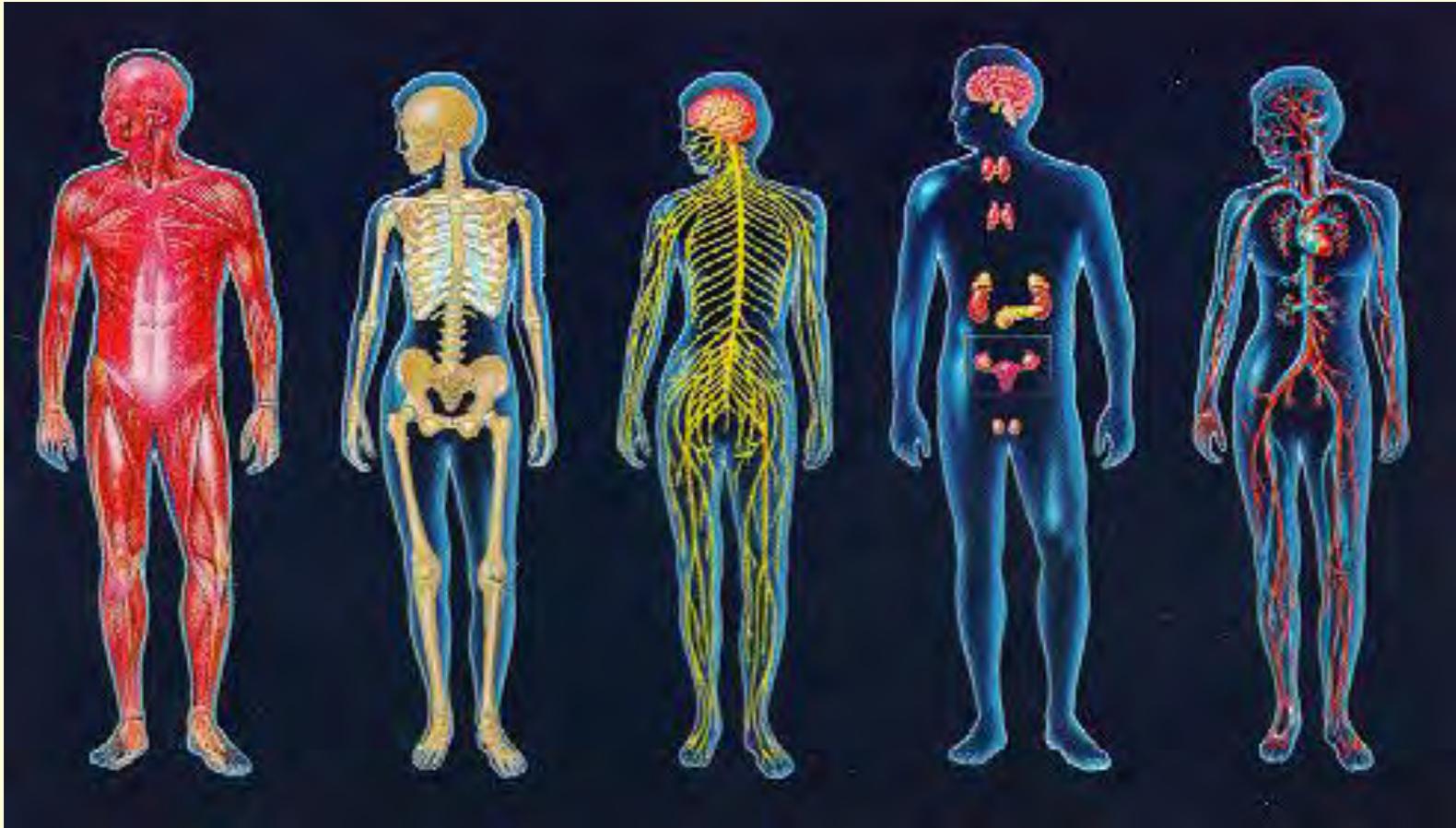
Les **bactéries** présentes dans ce même organisme, constituant notre **flore microbienne** (le microbiote), seraient dix fois plus nombreuses<sup>1</sup> ( **$10^{15}$** ) !

Le plus connue des organismes du microbiote est la bactérie ***Escherichia coli***, qui vit dans le côlon.



E. coli compose environ 80% de notre flore intestinale et participe au bon fonctionnement du système gastro-intestinal. Elle forme avec 400 autres espèces, un écosystème stable, essentiel au maintien d'une bonne santé.

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

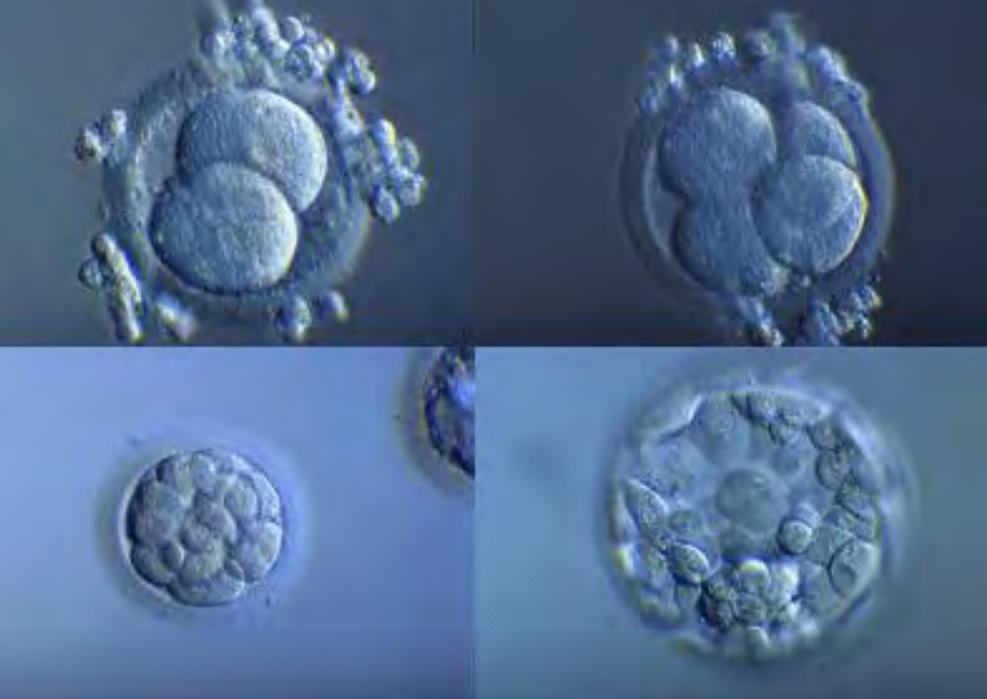


Musculo-squelettique

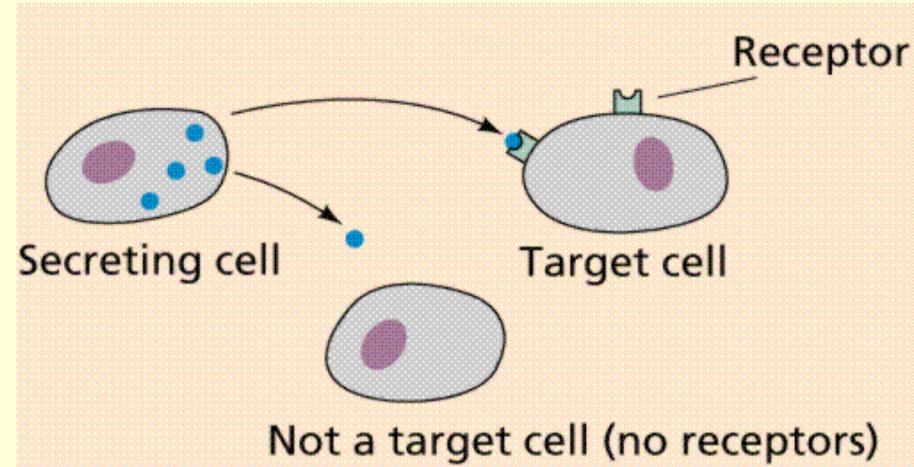
Nerveux

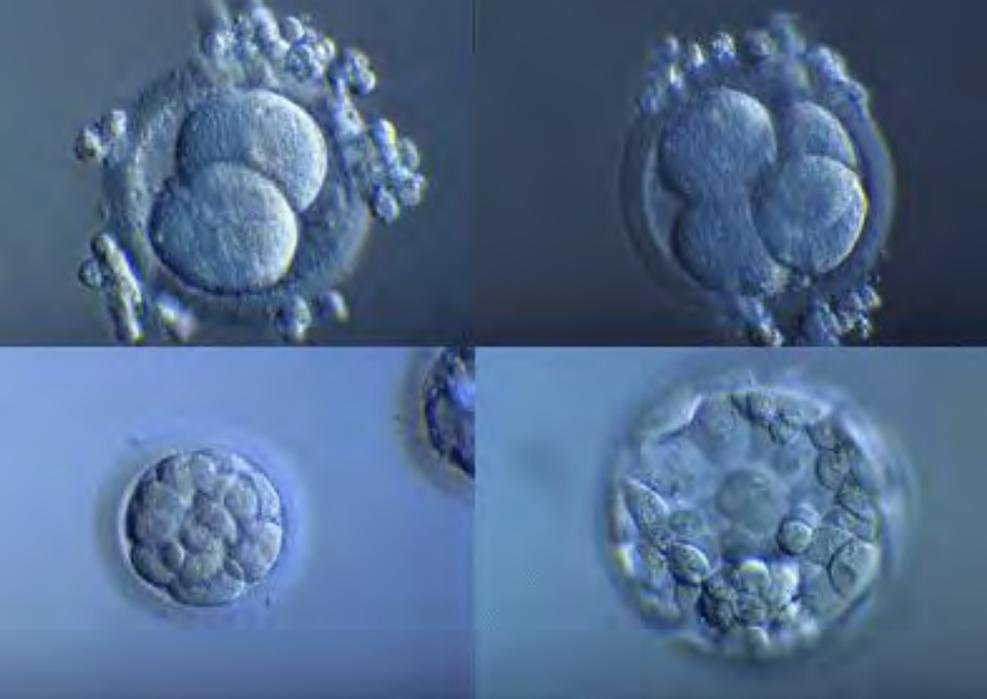
Endocrinien

Circulatoire

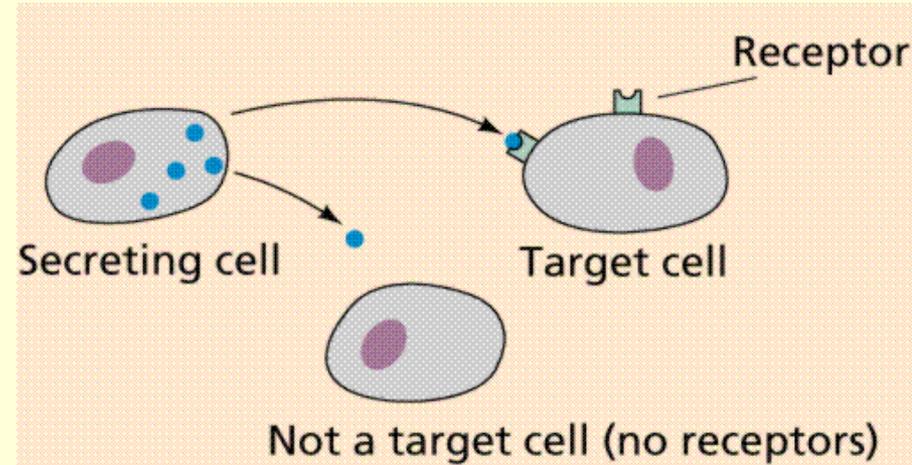


...dont l'origine est très ancienne !

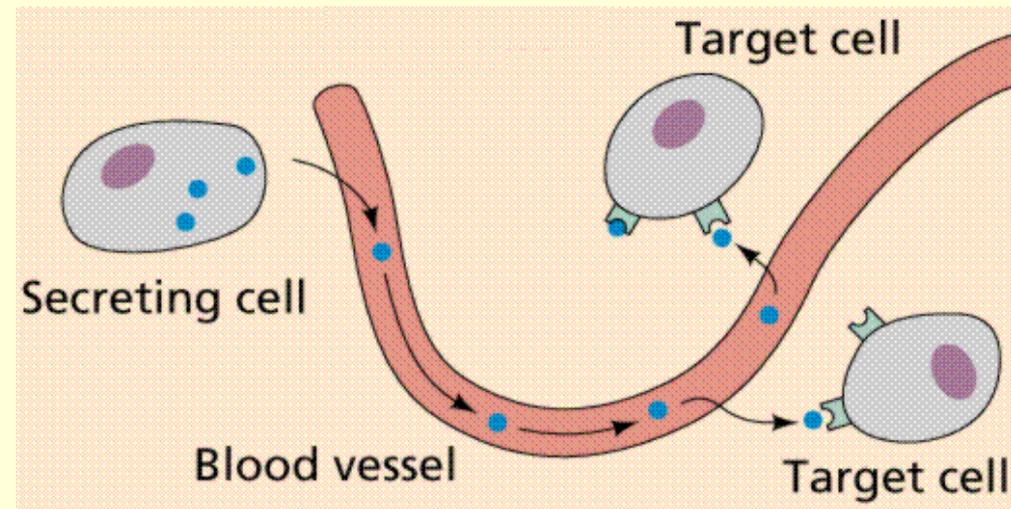




...mais aussi neurotransmetteurs et récepteur des neurones du **système nerveux !**

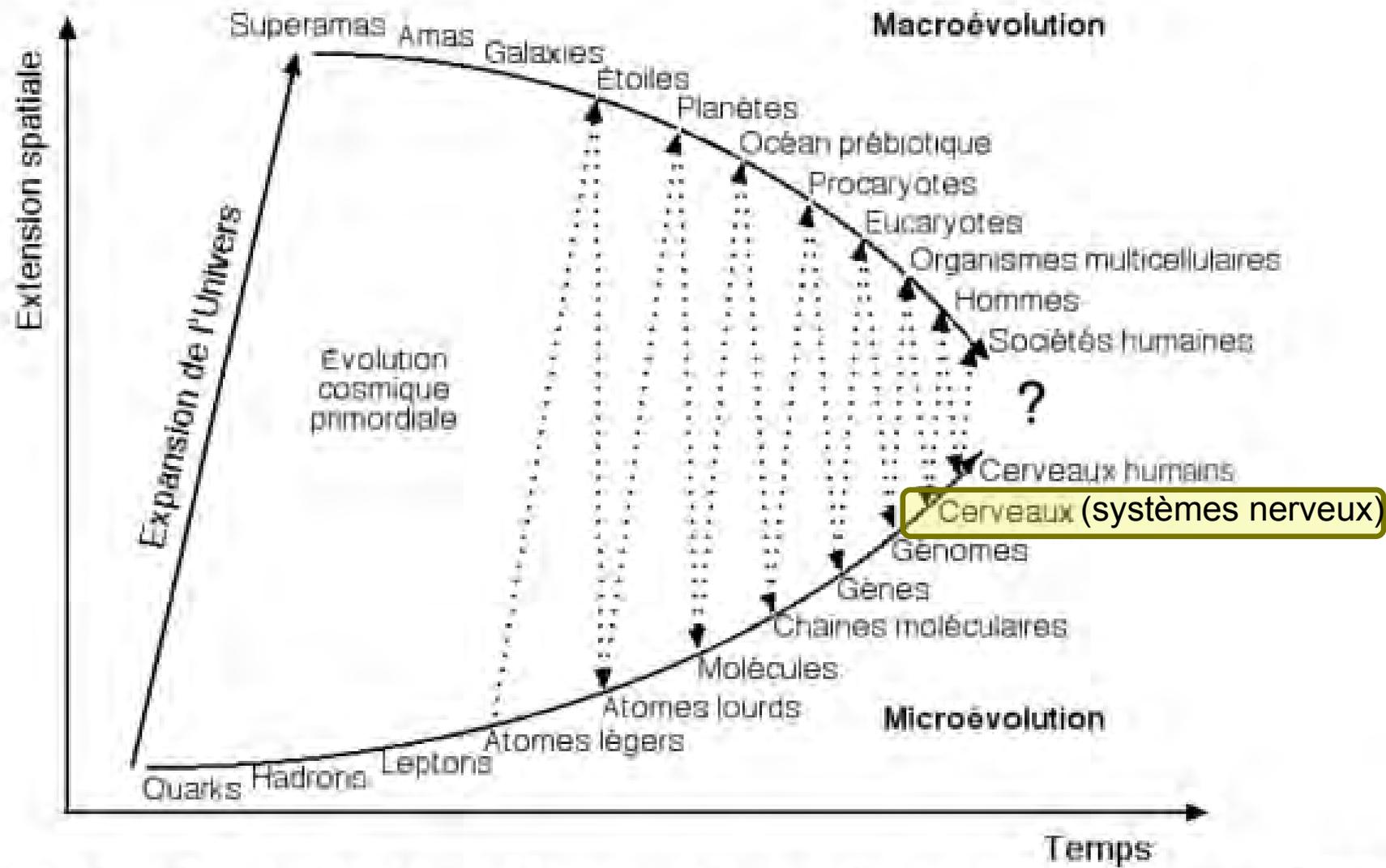


**Hormones !**  
(système endocrinien)



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

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



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

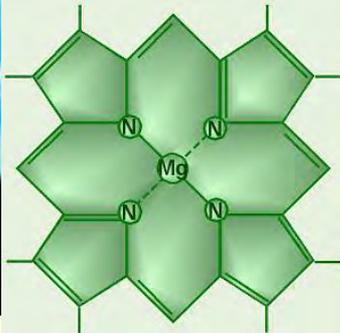
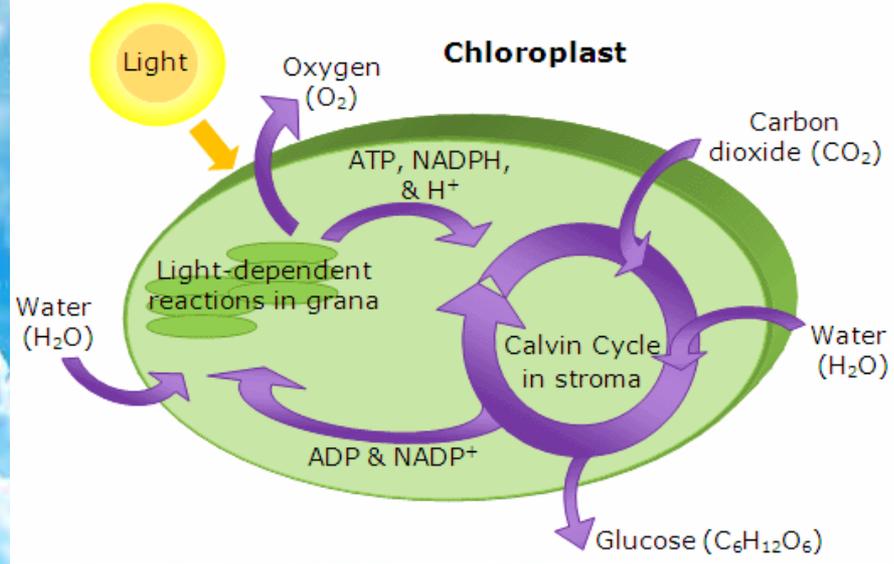
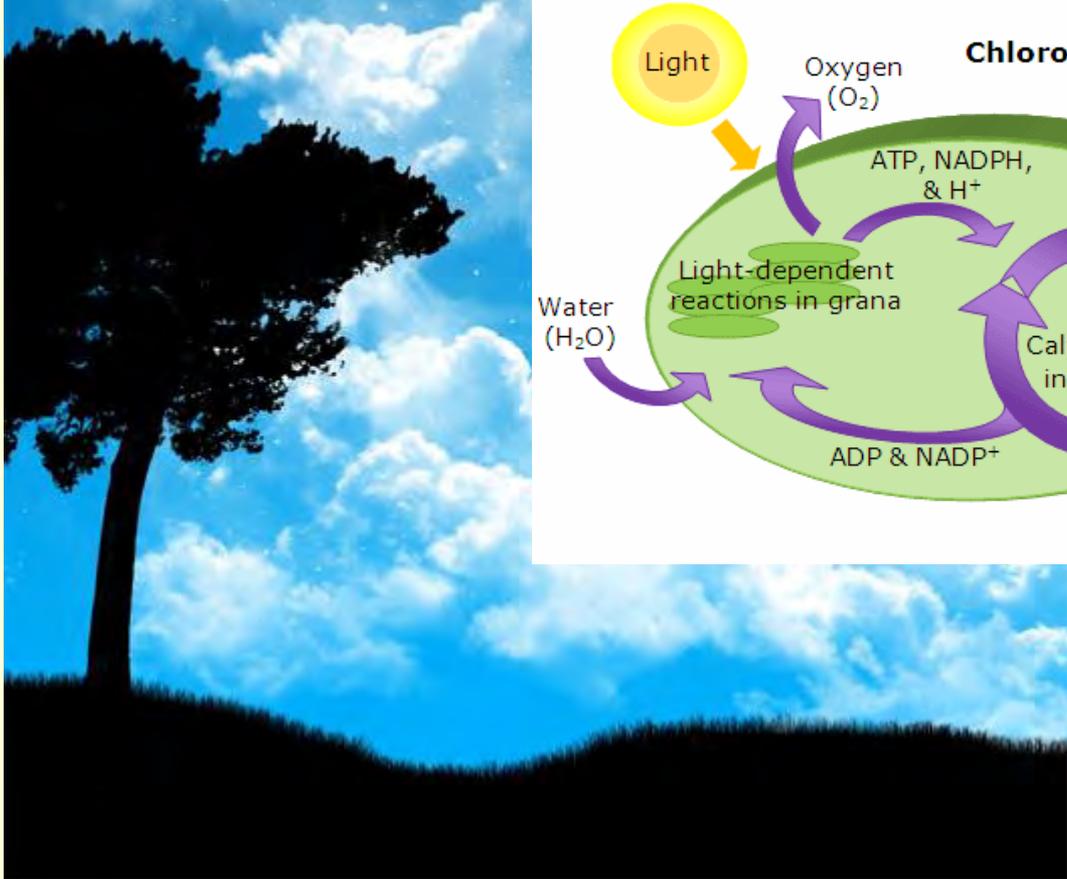
# 2<sup>e</sup> principe de la thermodynamique : entropie, désordre...





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

- Henri Laborit

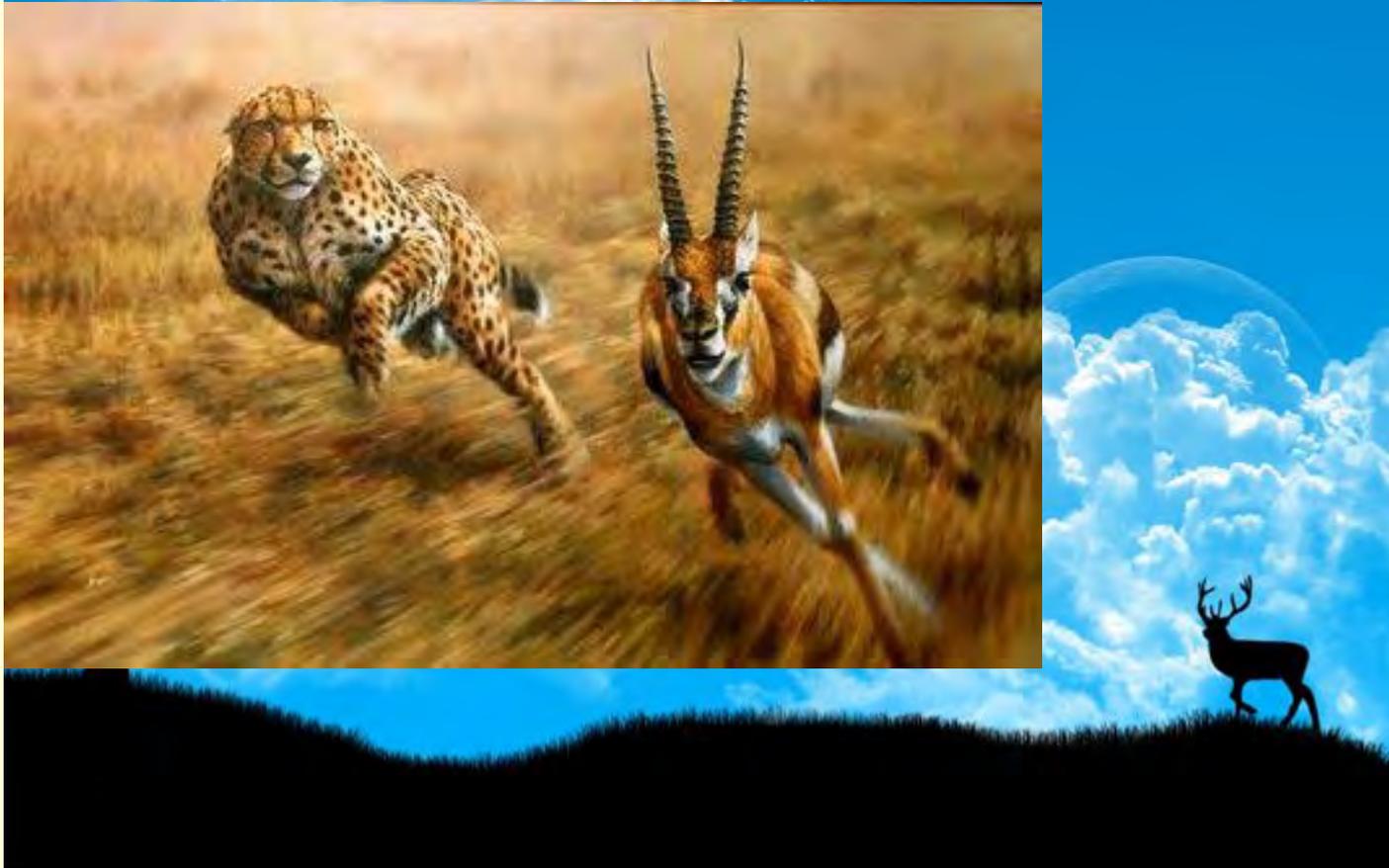


Plantes :

photosynthèse

grâce à l'énergie du soleil

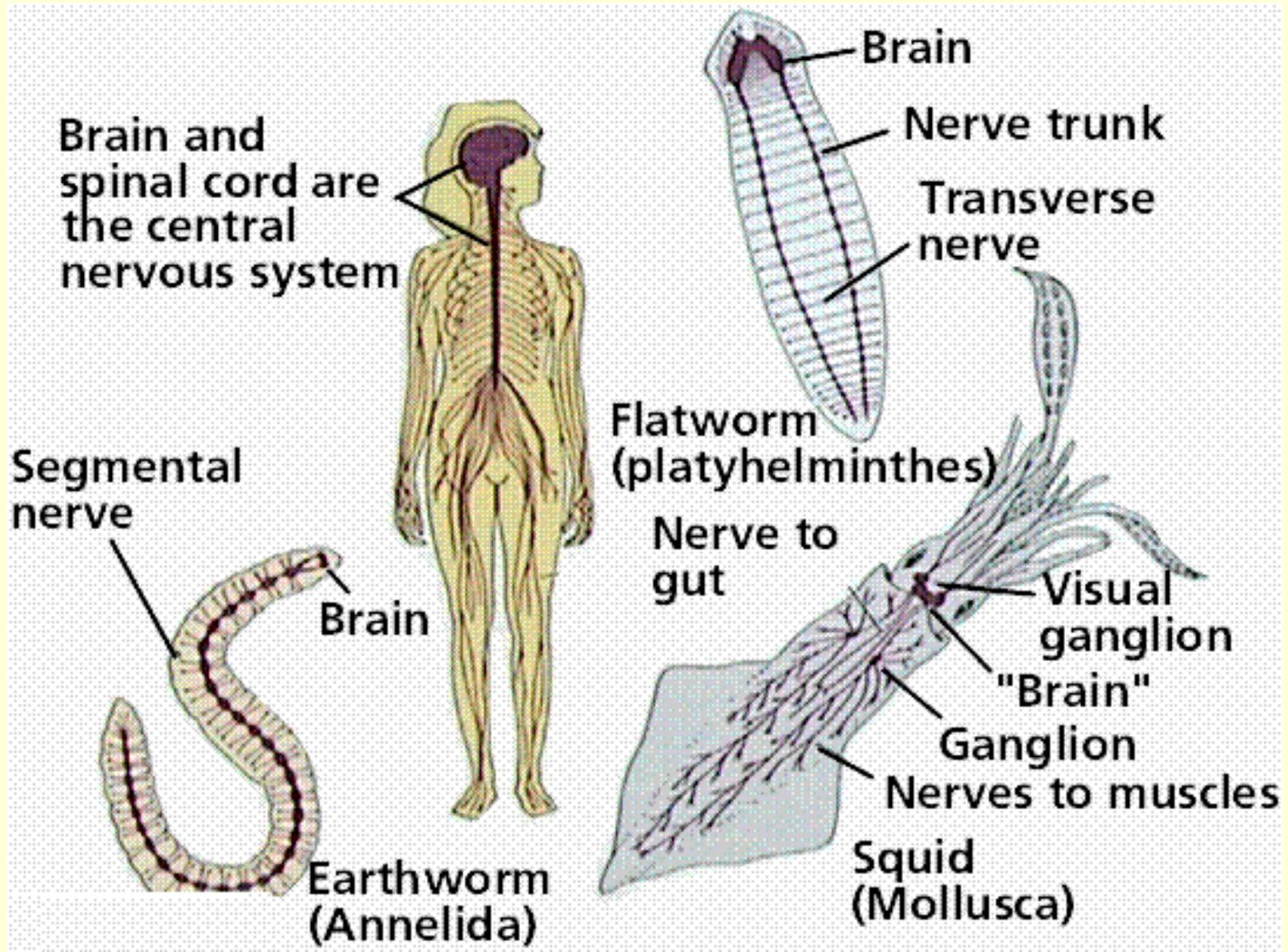




## Animaux :

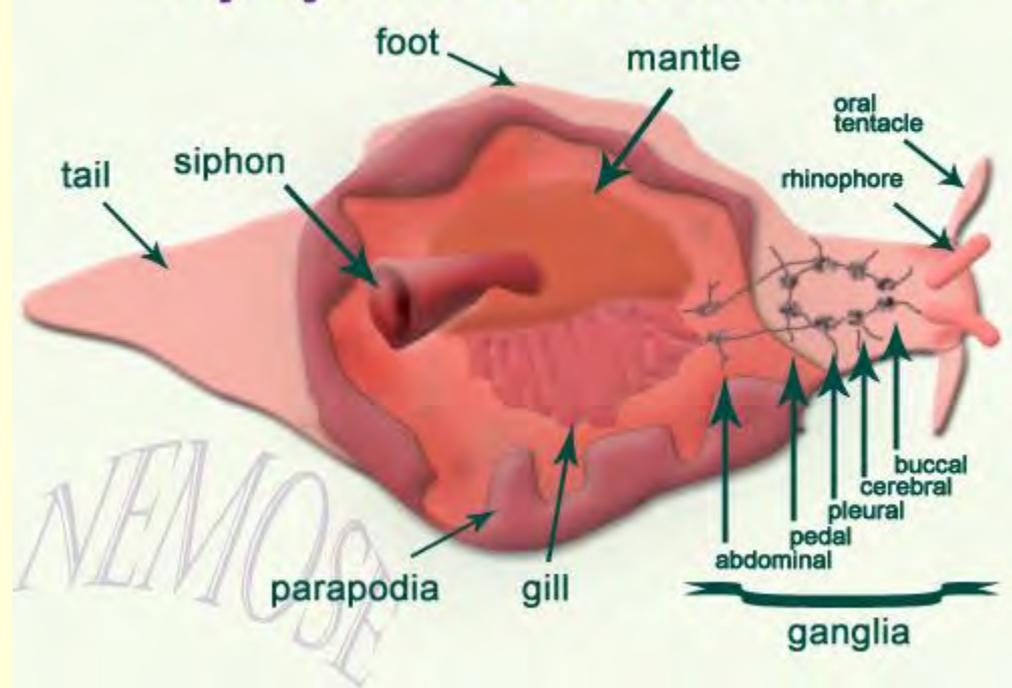
**autonomie motrice**  
pour trouver leurs ressources  
dans l'environnement

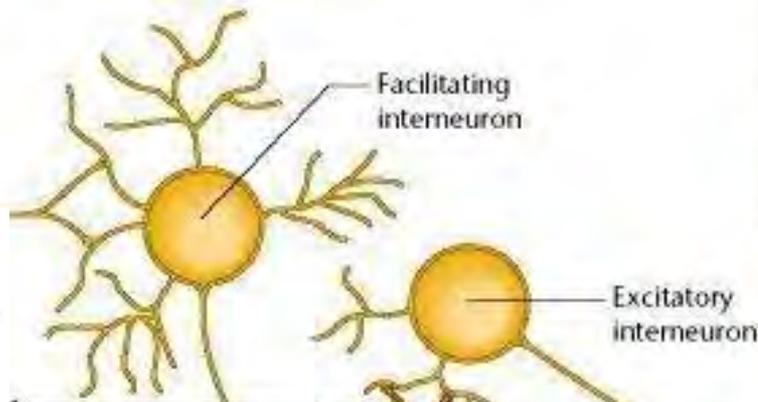
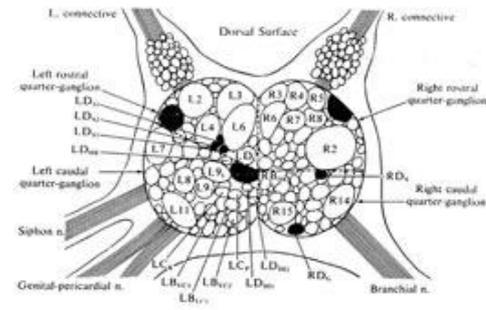
# Systemes nerveux !



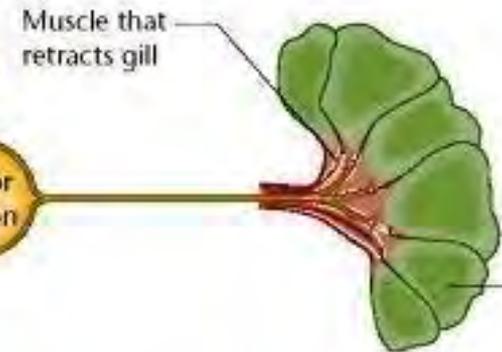


**Aplysie**  
(mollusque marin)



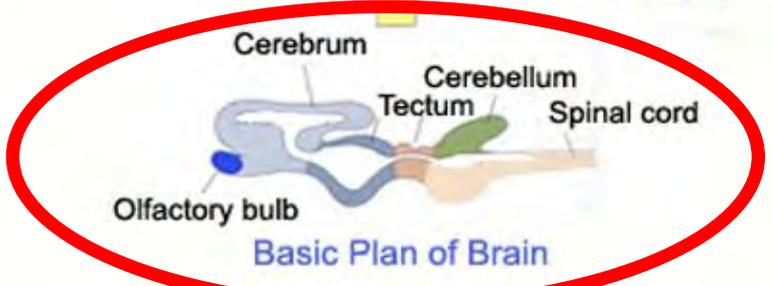
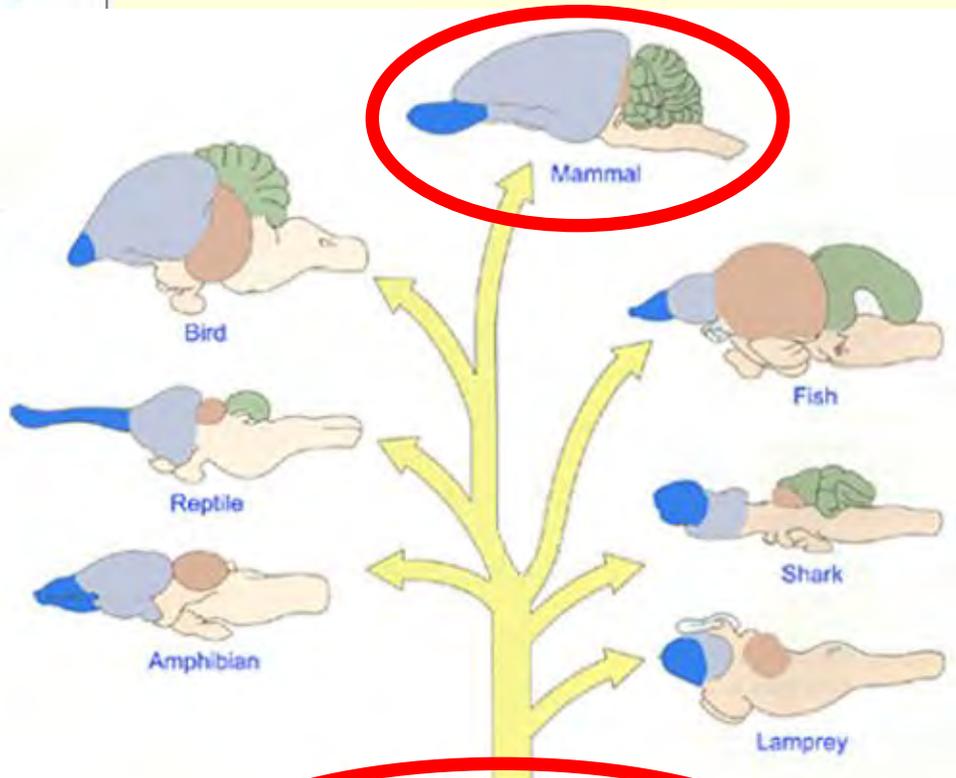
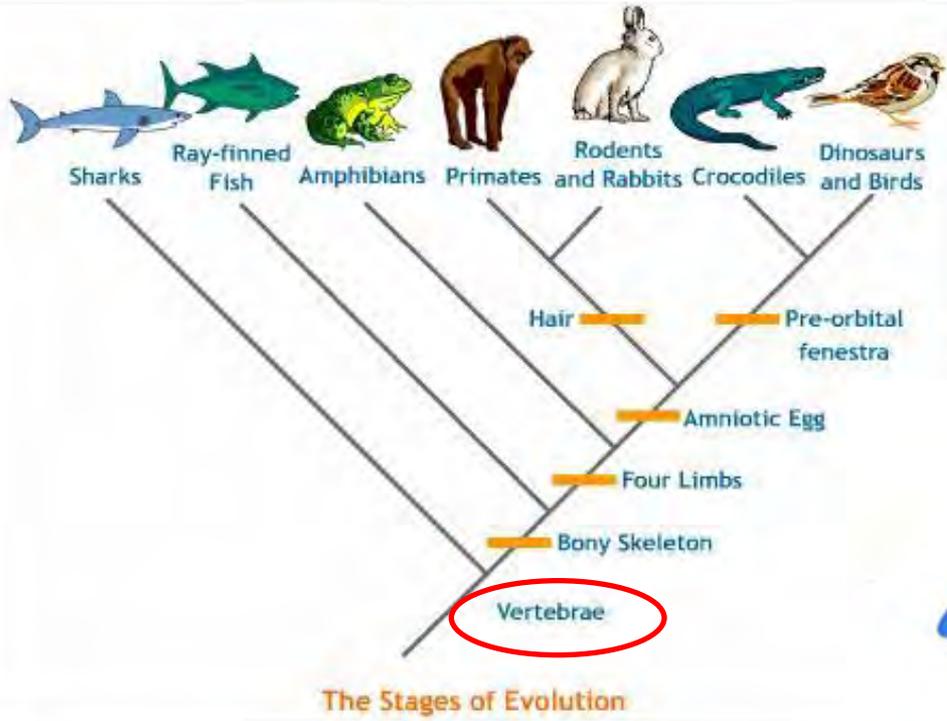


neurons  
transmitter

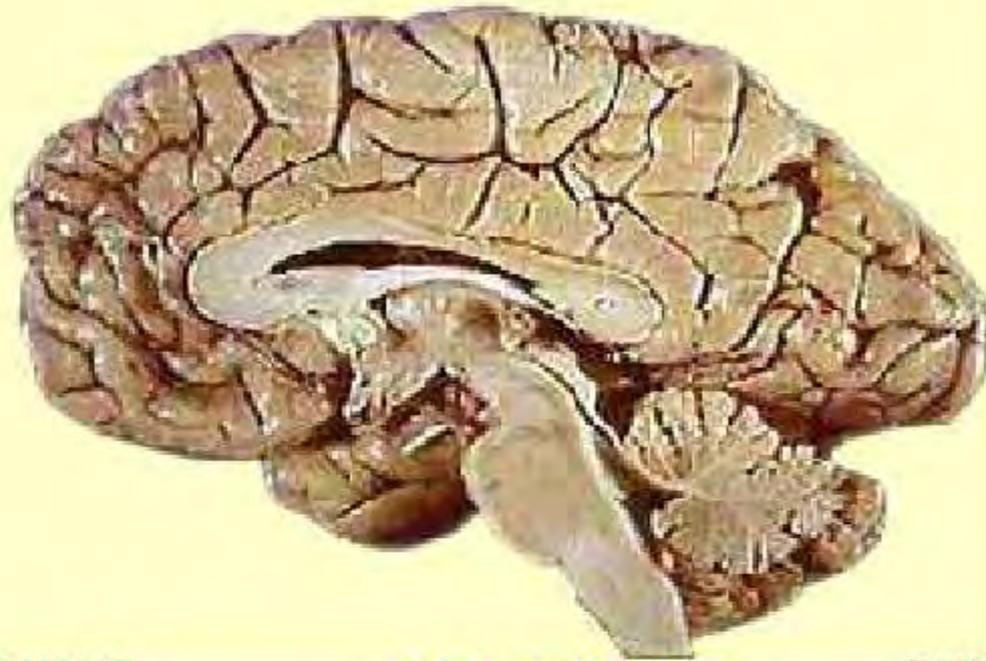


Une boucle sensori - motrice









## PROSENCÉPHALE

### TÉLENCÉPHALE

Cortex cérébral

Hippocampe

Ganglions de la base

Noyau lenticulaire  
(Putamen, Globus  
pallidus)

Noyau caudé

Amygdale

### DIENCÉPHALE

Thalamus

Hypothalamus

Noyau  
sous-thalamique

Epiphyse  
(ou glande pinéale)

Hypophyse  
(partie postérieure)

## MÉSENCÉPHALE

Tectum (colliculi)

Tegmentum (noyau  
rouge, substance  
noire, substance  
grise périaqueducale,  
aire tegmentale  
ventrale)

## RHOMBENCÉPHALE

### MÉTENCÉPHALE

Cervelet

Pont

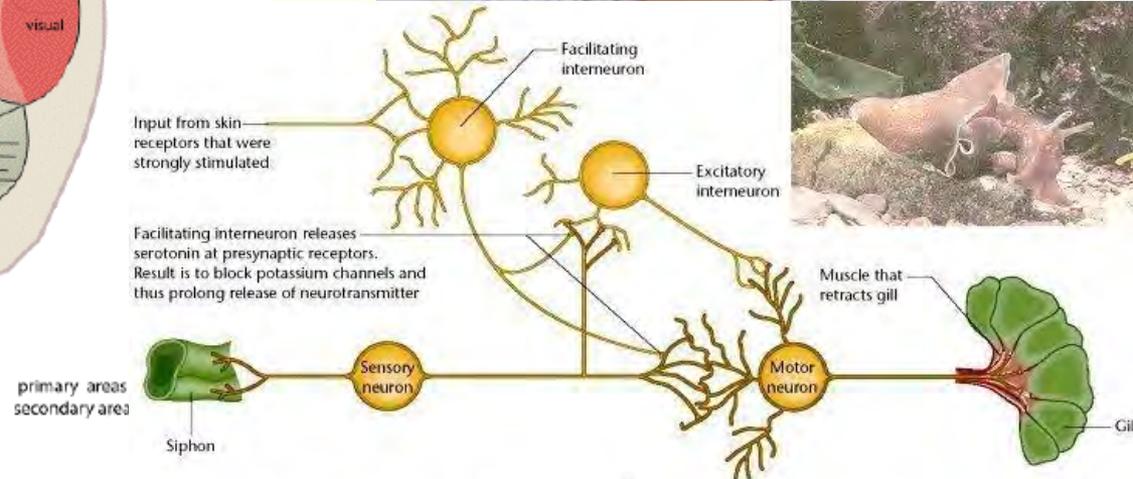
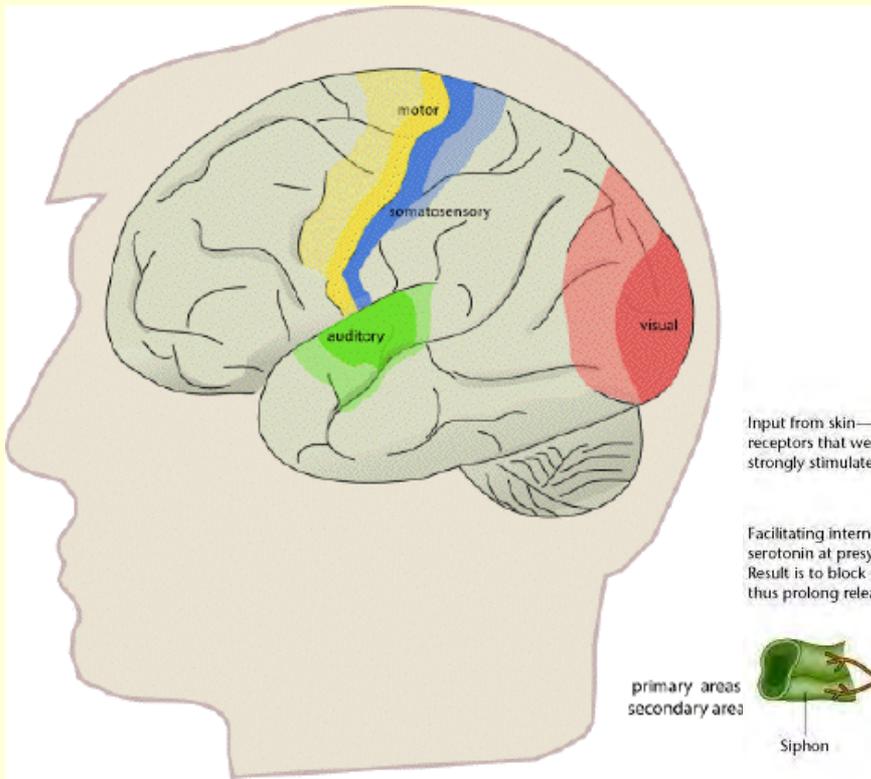
### MYÉLENCÉPHALE

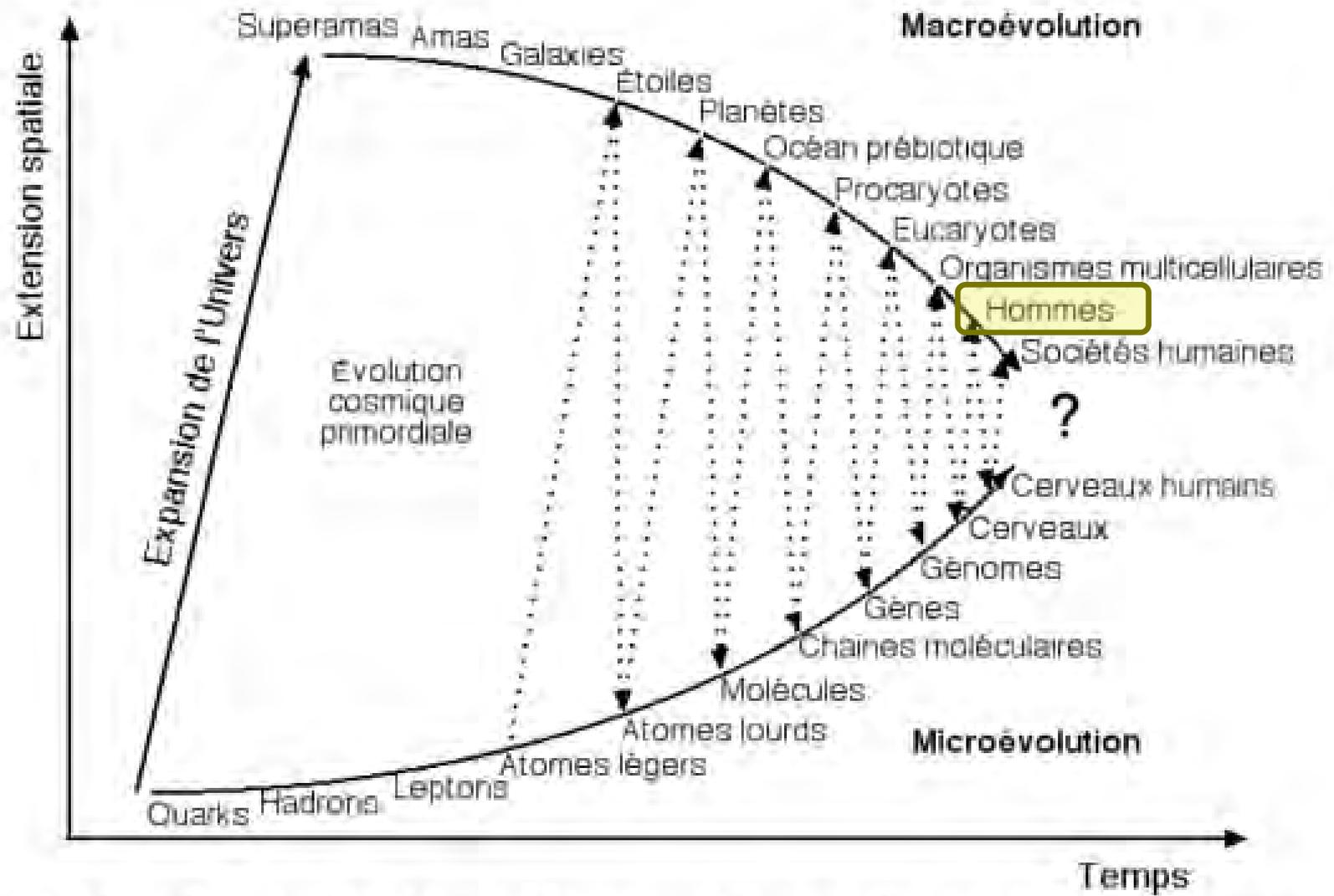
Bulbe rachidien

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

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

comme les inter-neurones de l'aplysie.



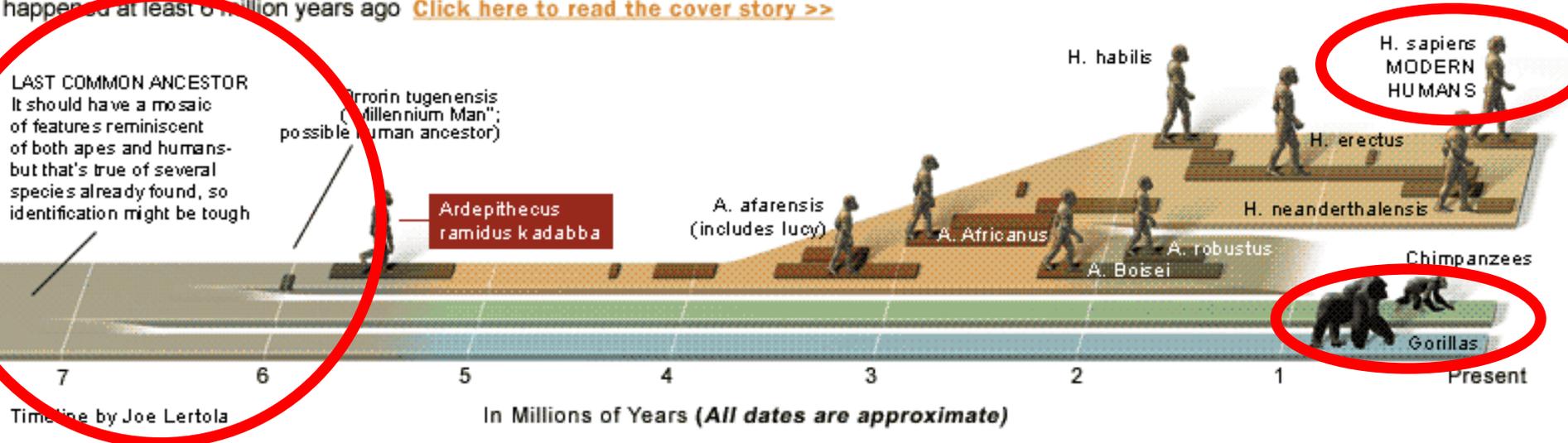


D'après Erich Jantsch, *The self-organizing universe*, Pergamon, 1980.

# A WALK THROUGH HUMAN EVOLUTION

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

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



Voir aussi :

L'hominisation, ou l'histoire de la lignée humaine.

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

# 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

Orrorin tugenensis ("Millennium Man"; possible human ancestor)

Ardepithecus ramidus kadabba

A. afarensis (includes Lucy)

A. africanus

A. robustus

A. boisei

H. habilis

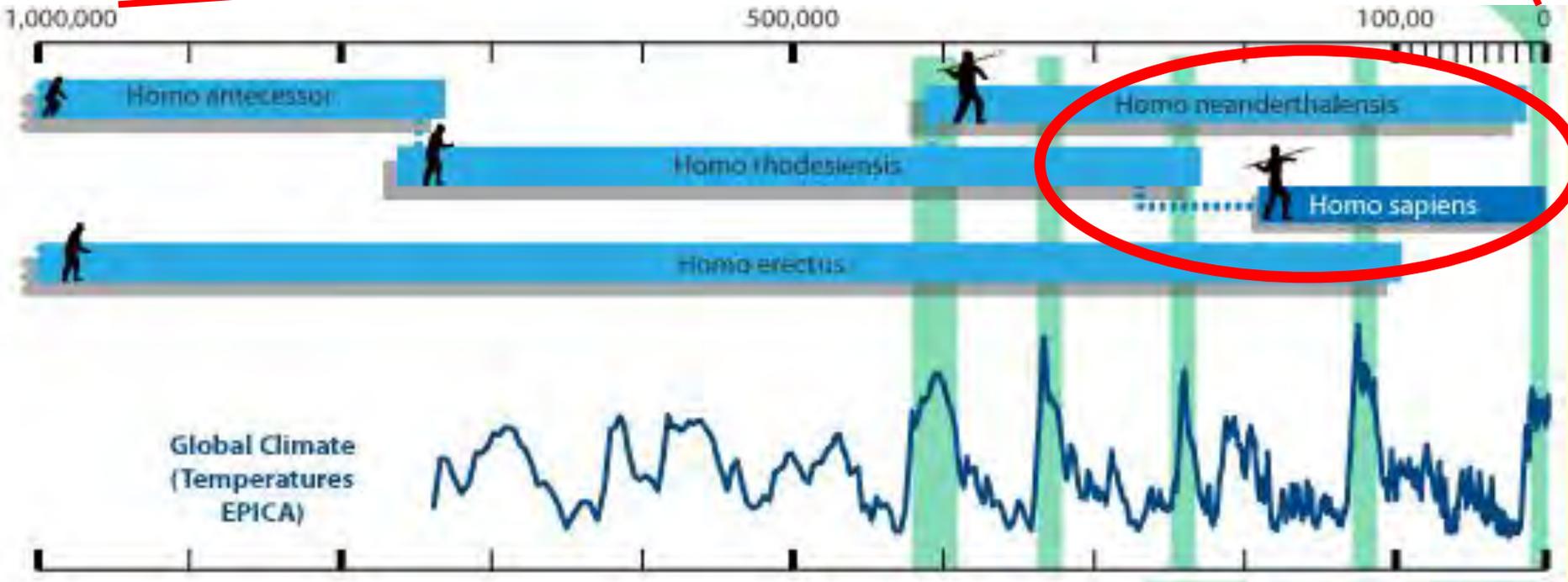
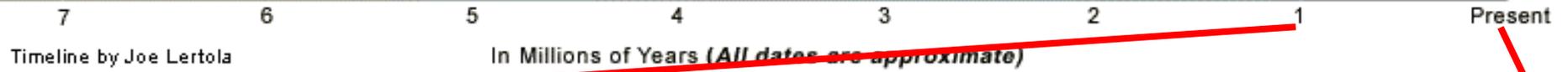
H. erectus

H. neanderthalensis

H. sapiens MODERN HUMANS

Chimpanzees

Gorillas



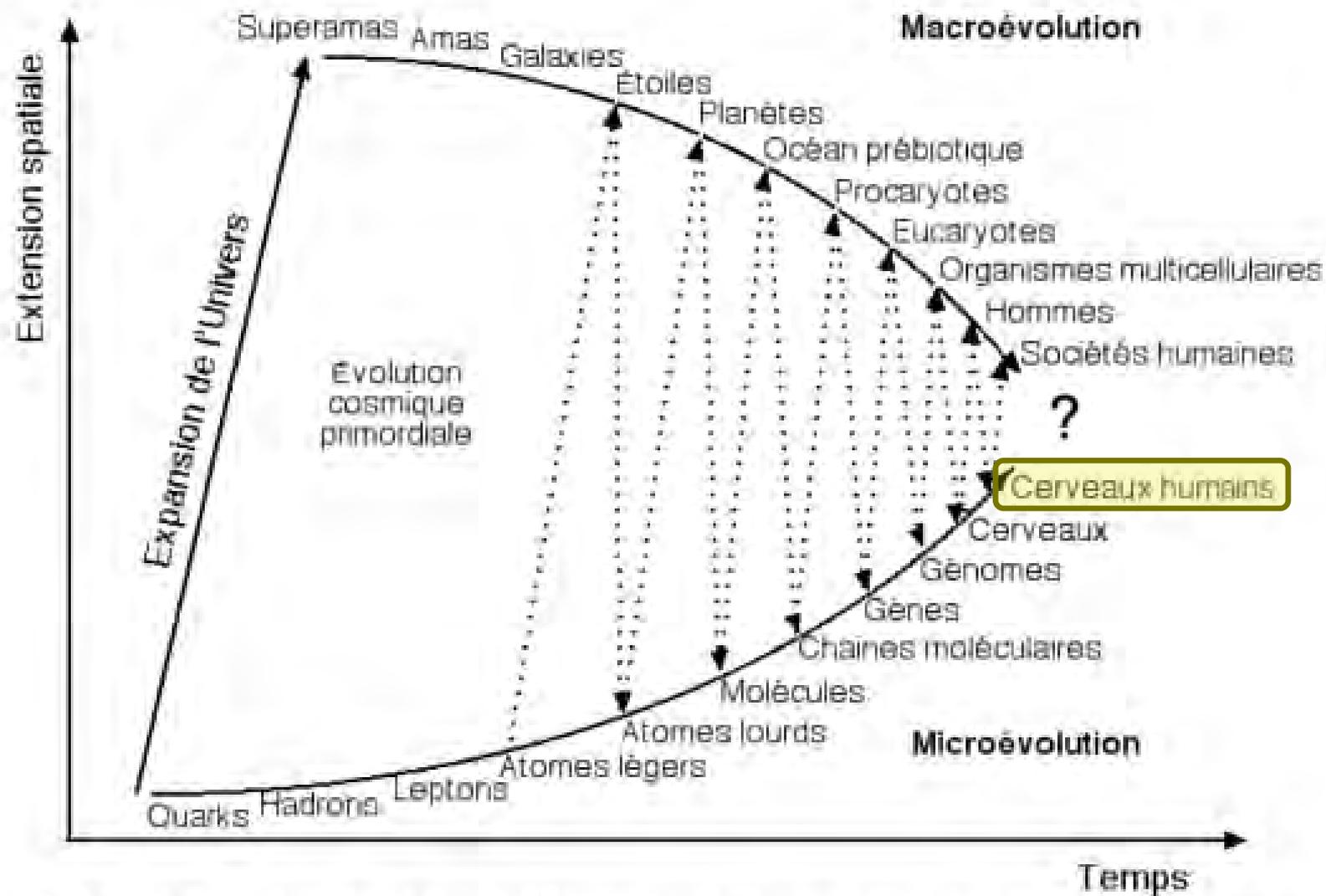
## Les révélations du génome néandertalien

<http://www.blog-lecerveau.org/blog/2013/12/23/les-revelations-du-genome-neandertalien/>

Il semble par exemple maintenant à peu près certain, suite aux résultats obtenus en **décembre 2013**, que **certains de nos ancêtres Homo sapiens se sont reproduits avec des néandertaliens**, une question qui demeurait débattue jusqu'“alors.

La présence de **1,5 à 2,1% de gènes de néandertaliens** dans notre génome témoignant de cette reproduction croisée.

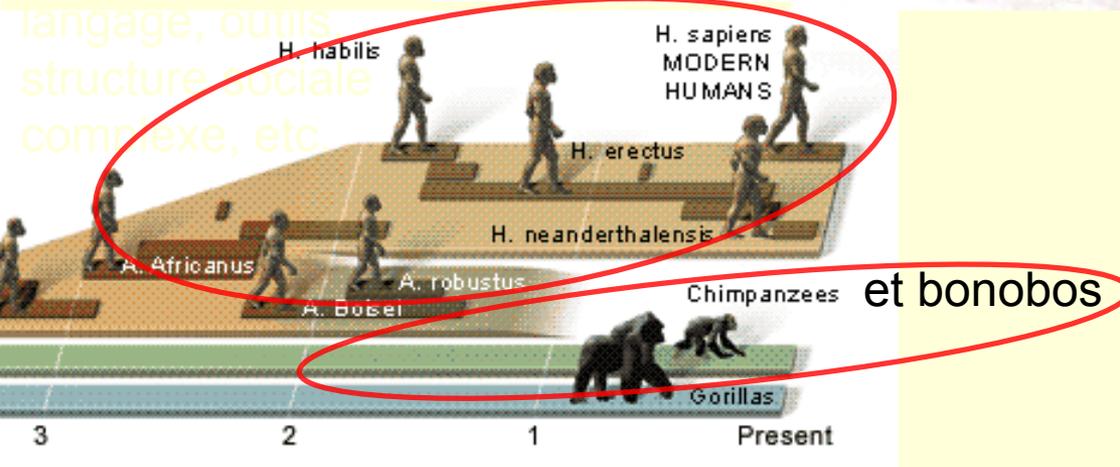
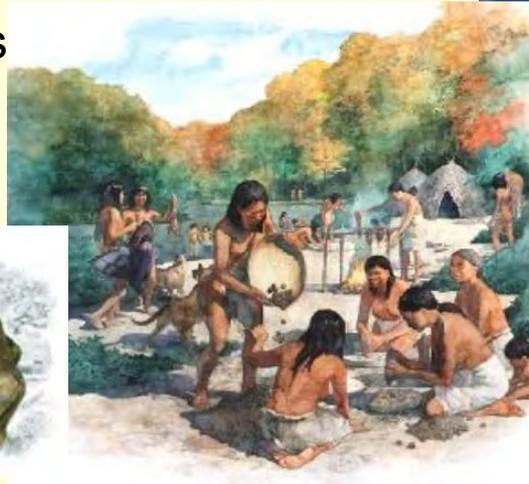




D'après Erich Jantsch, *The self-organizing universe*, Pergamon, 1980.

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?**

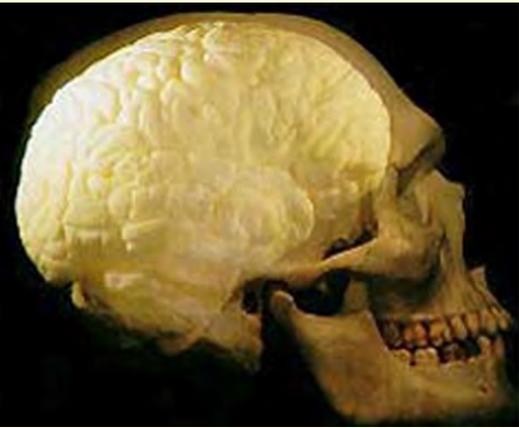
War, violence & **MEN** rule

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.

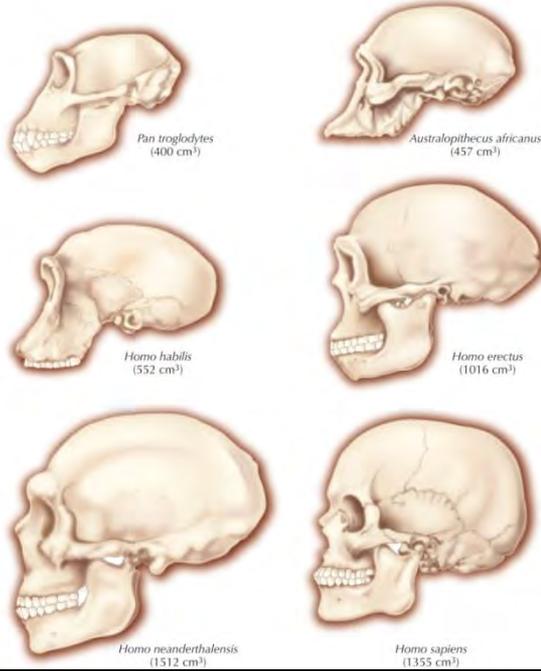


## **L'expansion cérébrale**

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

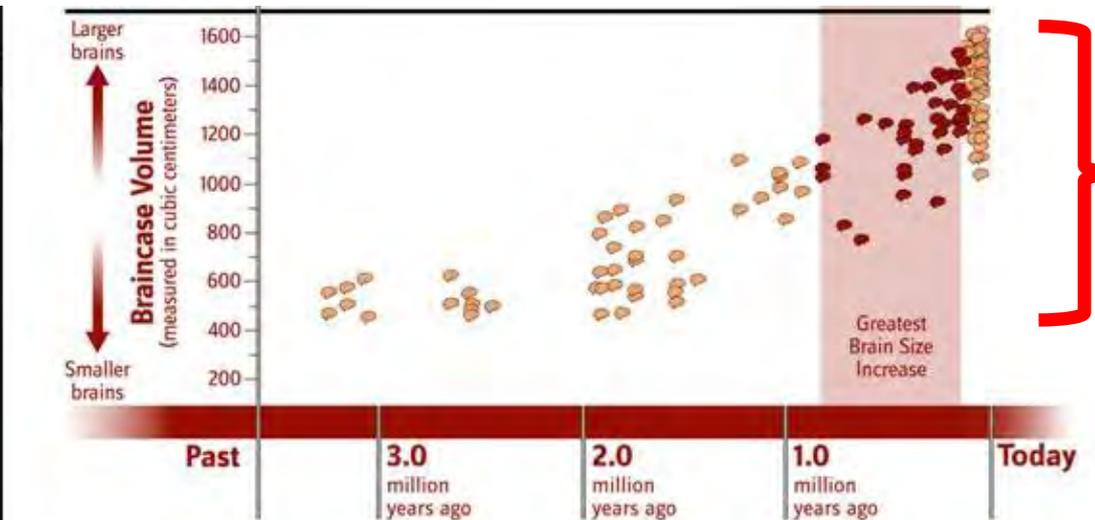
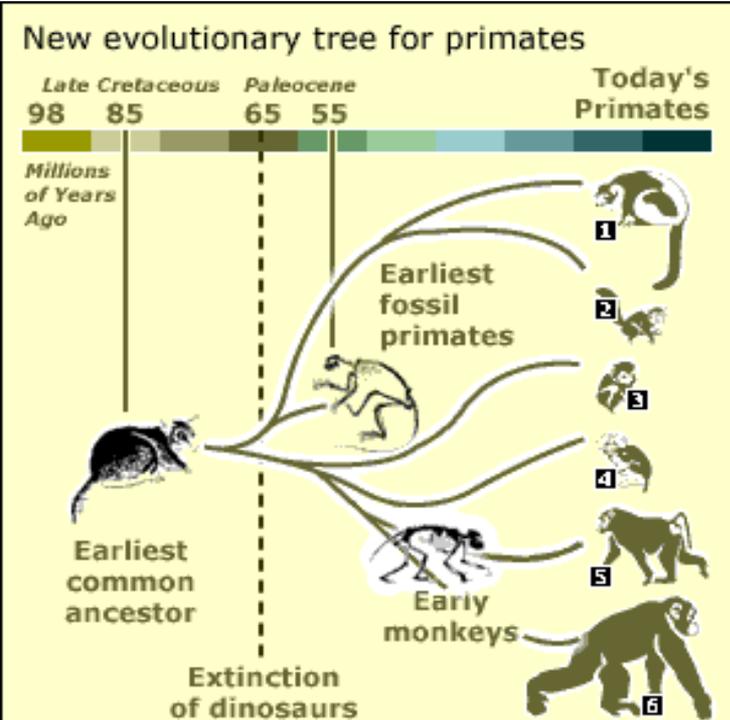
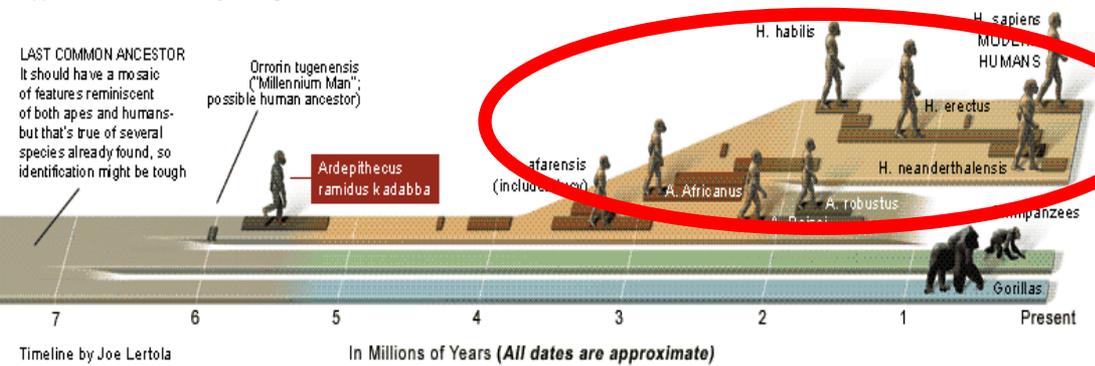


**En moins de 4 millions d'années, un temps relativement court à l'échelle de l'évolution, le cerveau des hominidés va donc trippler de volume par rapport à celui qu'il avait acquis en 60 millions d'années d'évolution des primates.**



### A WALK THROUGH HUMAN EVOLUTION

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



Graphs showing changes in climate and changes in braincase volume.

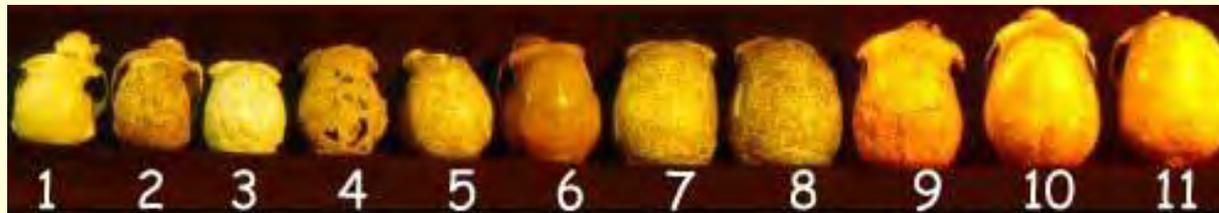
Plusieurs hypothèses pouvant avoir agi de concert sont encore débattues pour expliquer l'origine de cette expansion cérébrale spectaculaire :

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

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

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

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

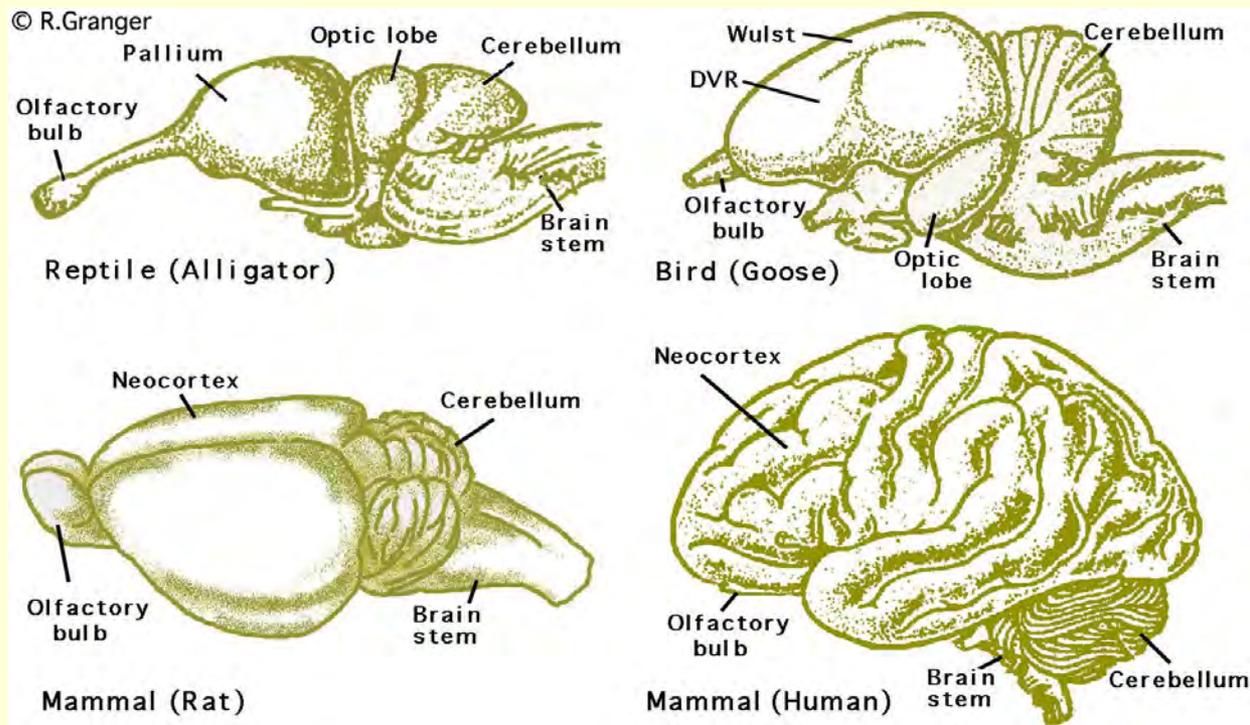


1 Chimpanzé 2 A. africanus 3 H. habilis 4 KNM-ER 1470 5 Homme de Java 6 Homme de Pékin 7 H. saldensis 8 H. saldensis 9 « Broken Hill » 10 Homme de Néanderthal 11 H. sapiens sapiens

Comment un **plus gros cerveau** pourrait-il permettre le développement de fonctions cognitives complexes ?

1) par **le nombre de neurones accru** et la combinatoire de connexions qui vient avec;



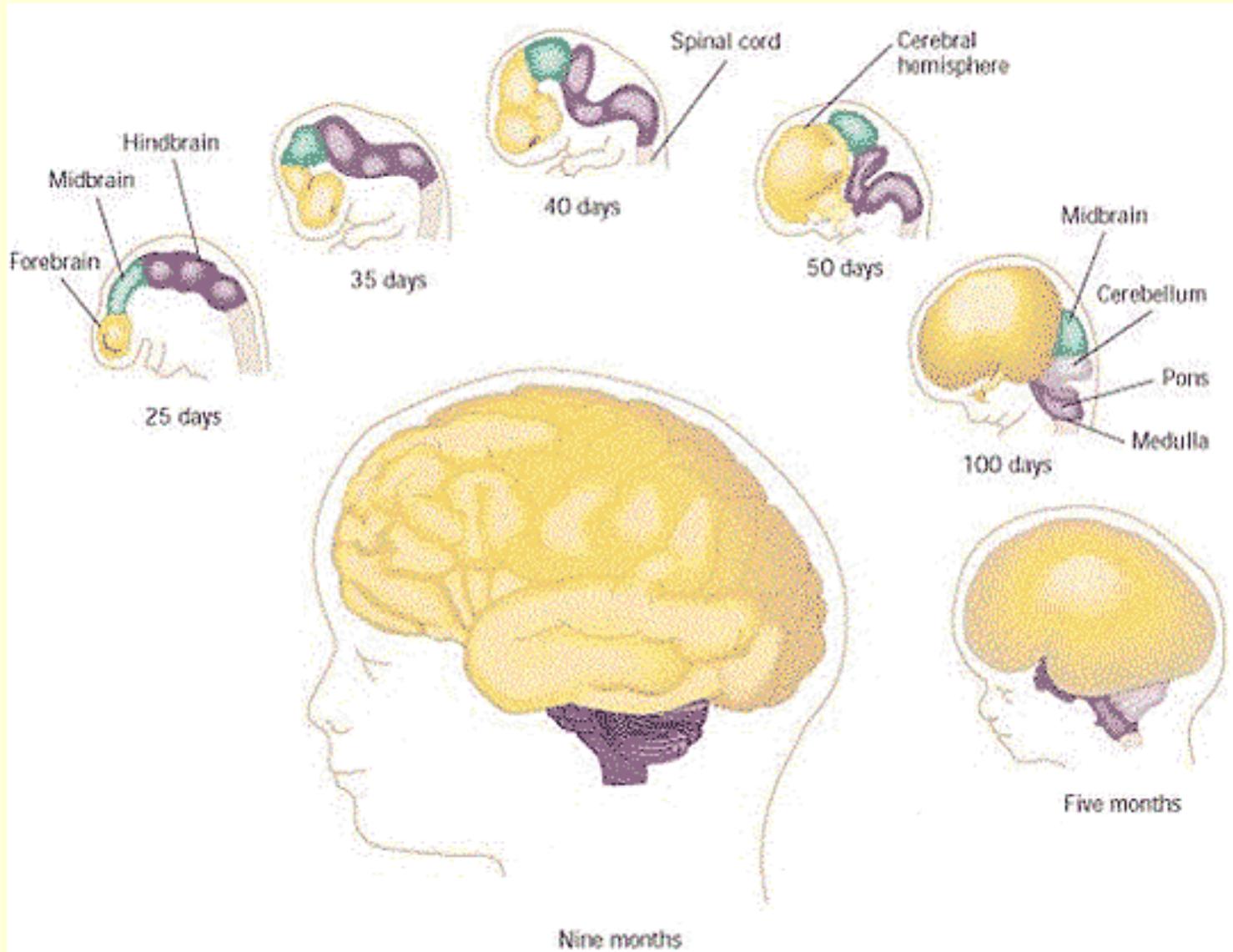


## 2) Par la croissance relative de différentes structure cérébrale

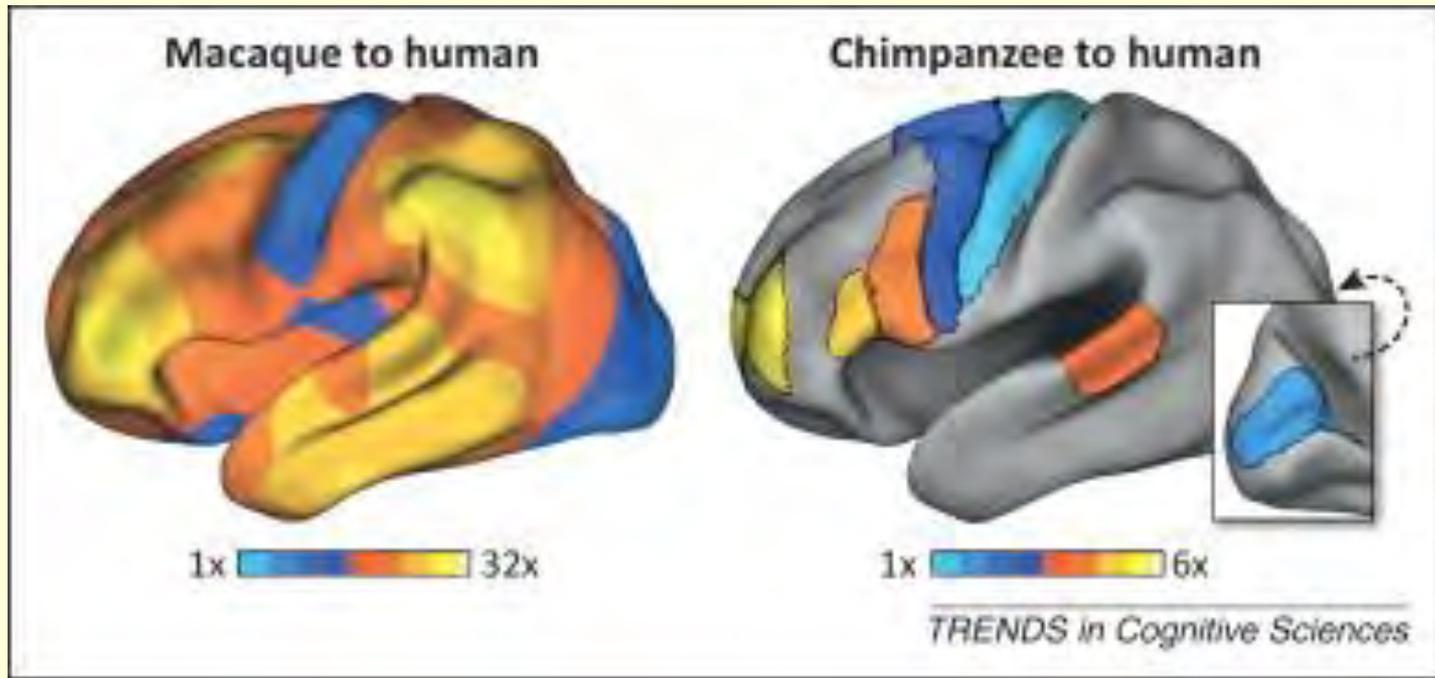
Pour le **cervelet**, impliqué dans la coordination des mouvements musculaires, son poids par rapport au reste du cerveau est remarquablement constant chez tous les mammifères.

À l'opposé, celui du **néocortex** varie grandement selon les espèces. Les poissons et les amphibiens en sont complètement dépourvus, tandis que le néocortex représente **20 % du poids du cerveau d'une musaraigne et... 80 % de celui de l'humain !**

# Développement du cortex dans le cerveau humain



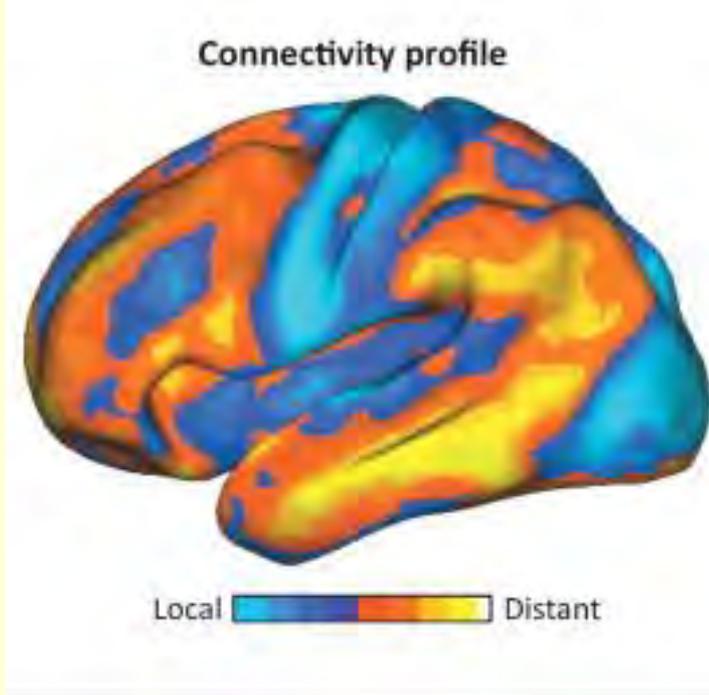
C'est durant la transition des primates à l'humain que le **néocortex s'est le plus développé**.



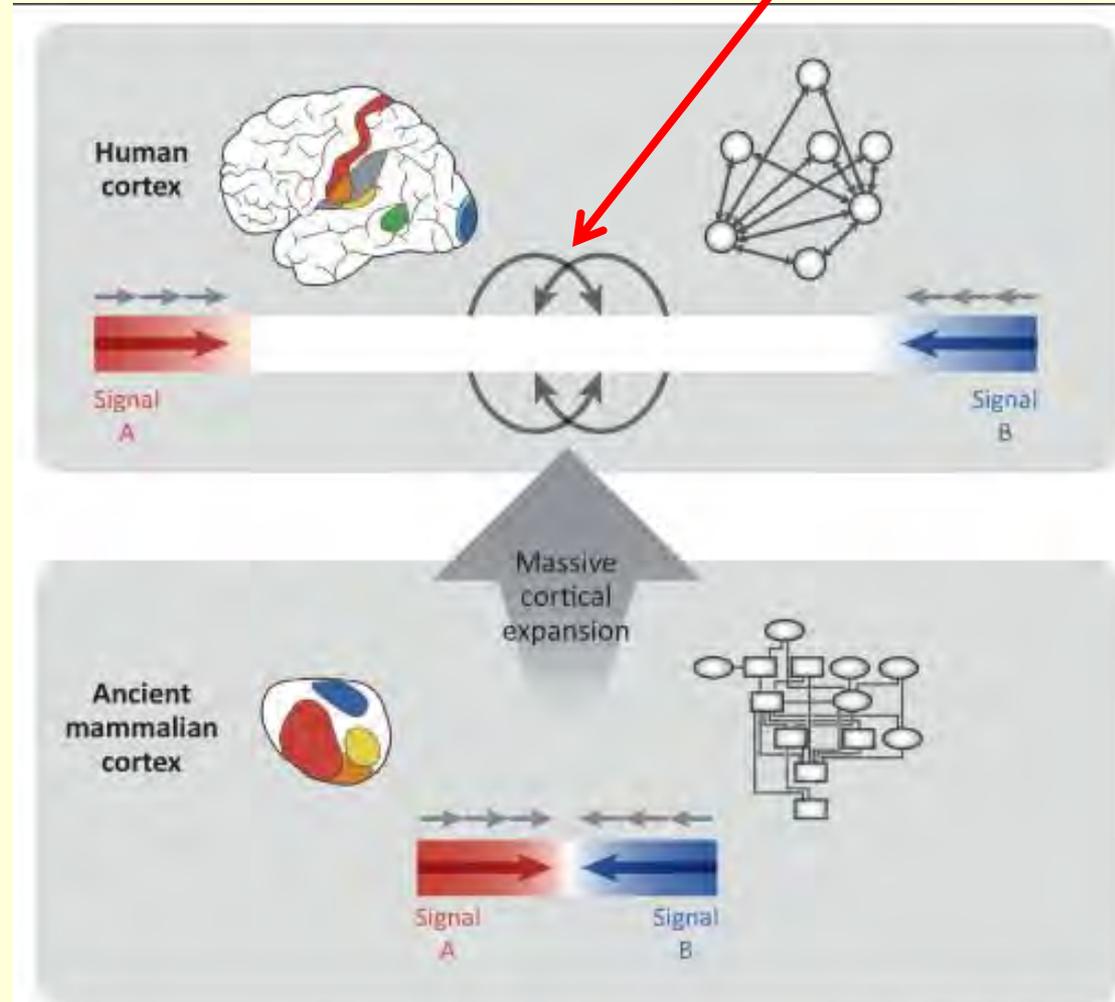
Les couleurs représentent ici la valeur de l'augmentation de surface nécessaire pour que chaque région soit transposée du cerveau de **macaque** et du cerveau de **chimpanzé** au **cerveau humain**.

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

Ces réseaux des aires associatives ont aussi tendance à avoir des **connexions distantes plutôt que locales** (comme c'est le cas dans les aires sensorimotrices).



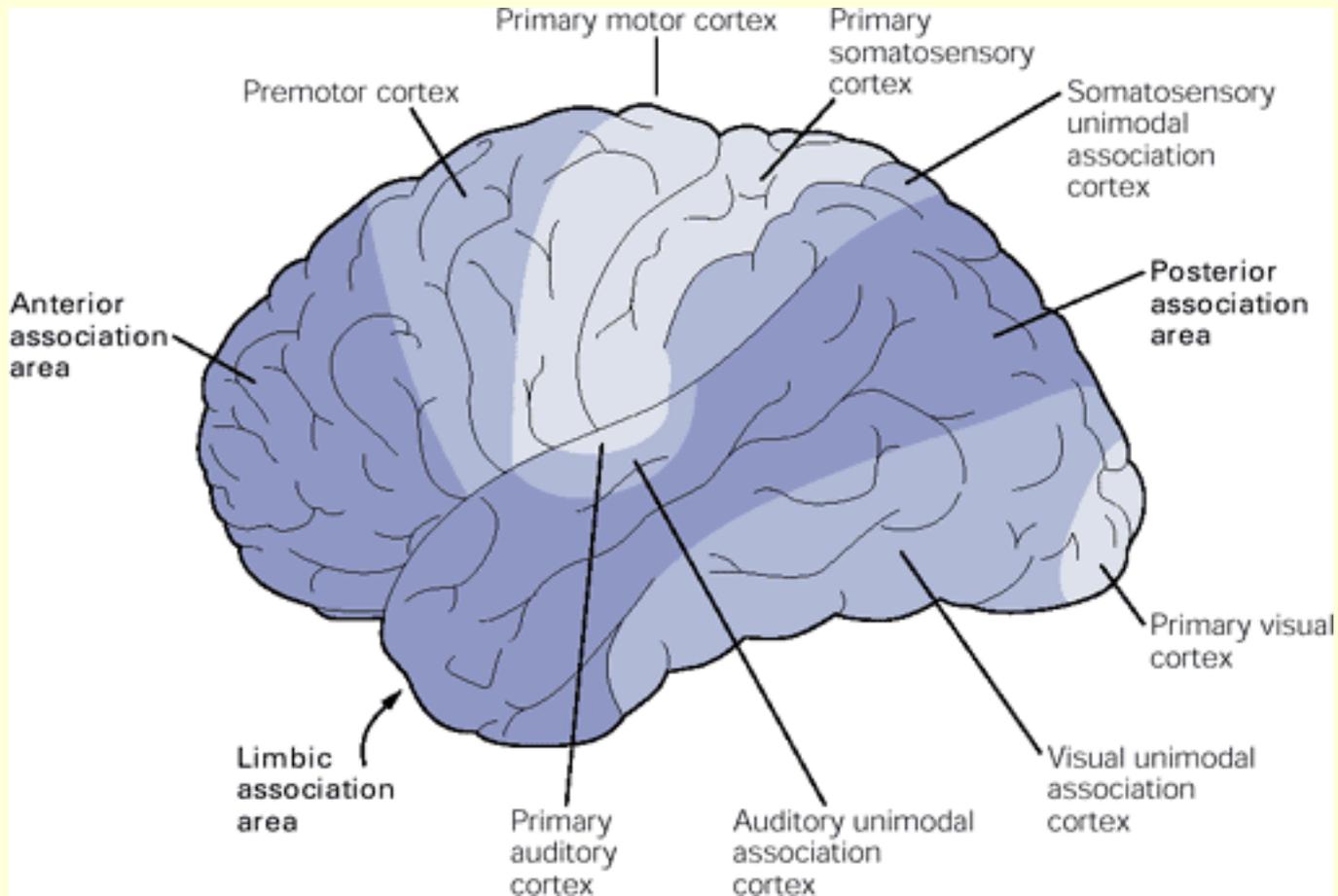
À mesure que **les zones corticales prolifératives accroissent leur surface**, une partie de plus en plus grande de cortex associatif émerge **entre** les gradients qui définissent les systèmes sensoriels.



**The evolution of distributed association networks in the human brain**

[http://www.cell.com/trends/cognitive-sciences/retrieve/pii/S1364661313002210?\\_returnURL=http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1364661313002210?showall=true#Summary](http://www.cell.com/trends/cognitive-sciences/retrieve/pii/S1364661313002210?_returnURL=http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1364661313002210?showall=true#Summary)

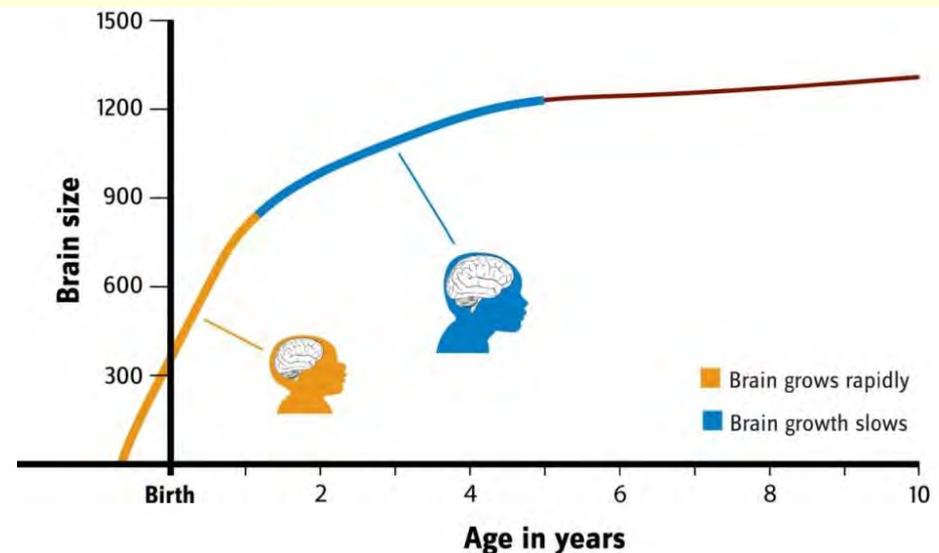
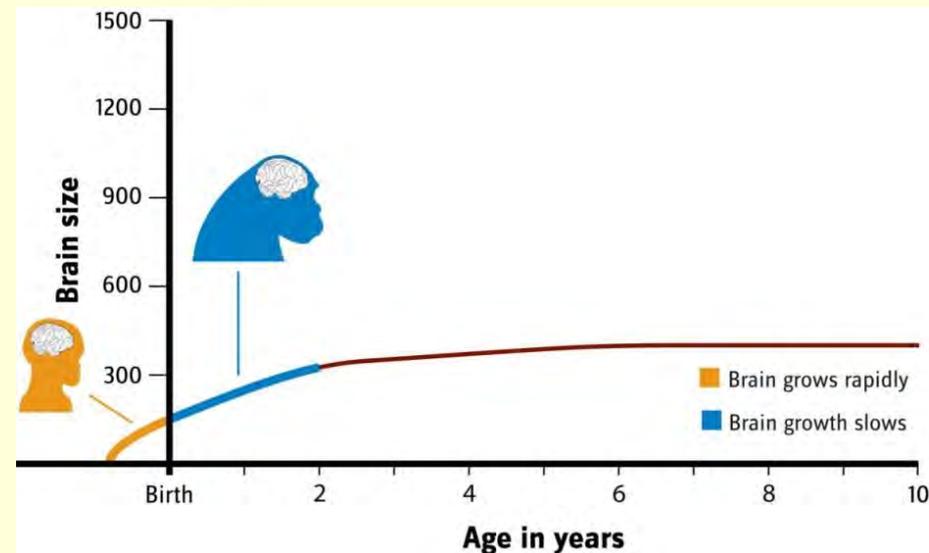
En résumé, l'expansion rapide du cortex chez l'humain a fait émerger de large portions de **cortex dit « associatif »** plus ou moins détachées des cortex sensoriels.



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

Ce vaste cortex humain est donc largement constitué de :

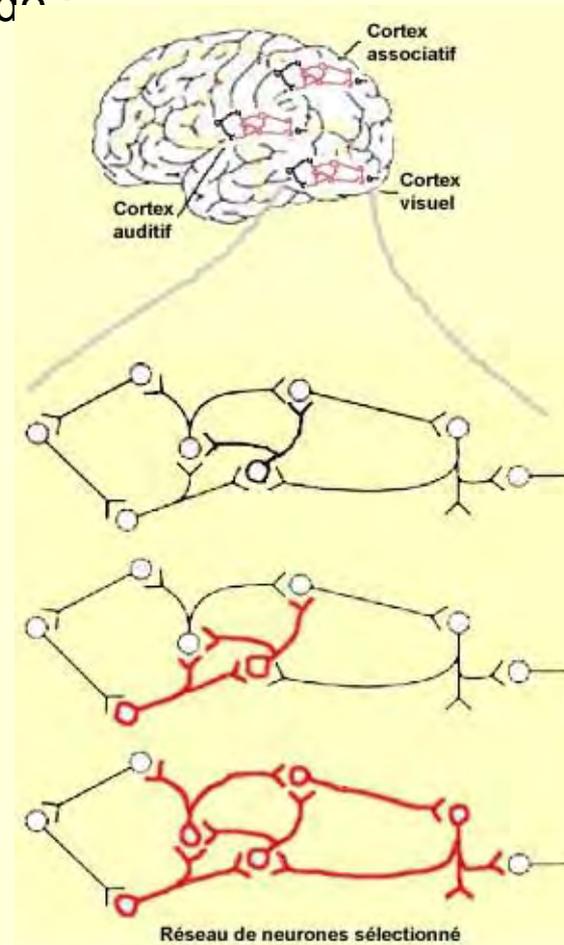
- **réseaux associatifs** interconnectés et distribués
- qui se mettent en place **tardivement** durant le développement

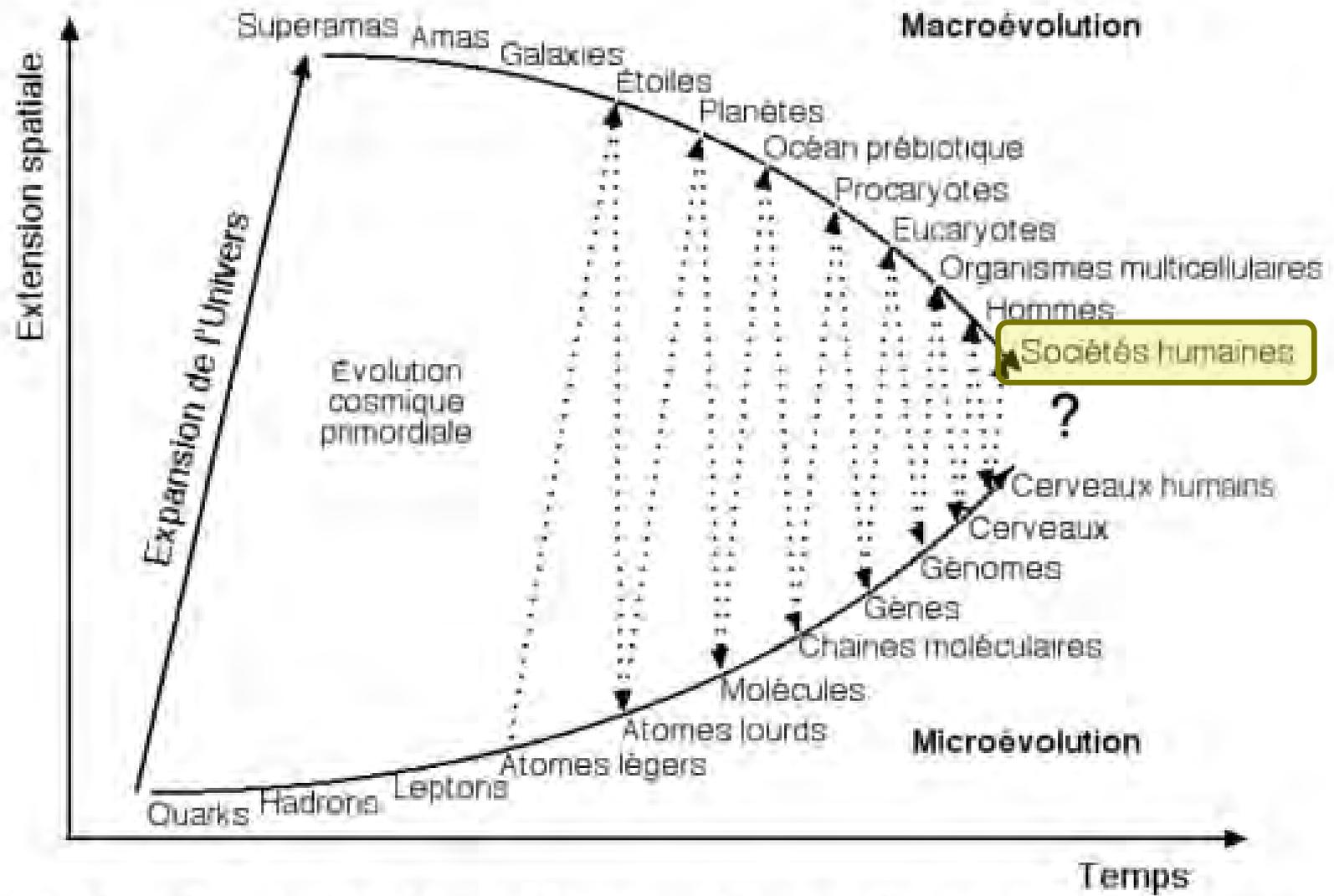


En résumé, l'expansion rapide du cortex chez l'humain a fait émerger de large portions de **cortex dit « associatif »** plus ou moins détachées des cortex sensoriels.

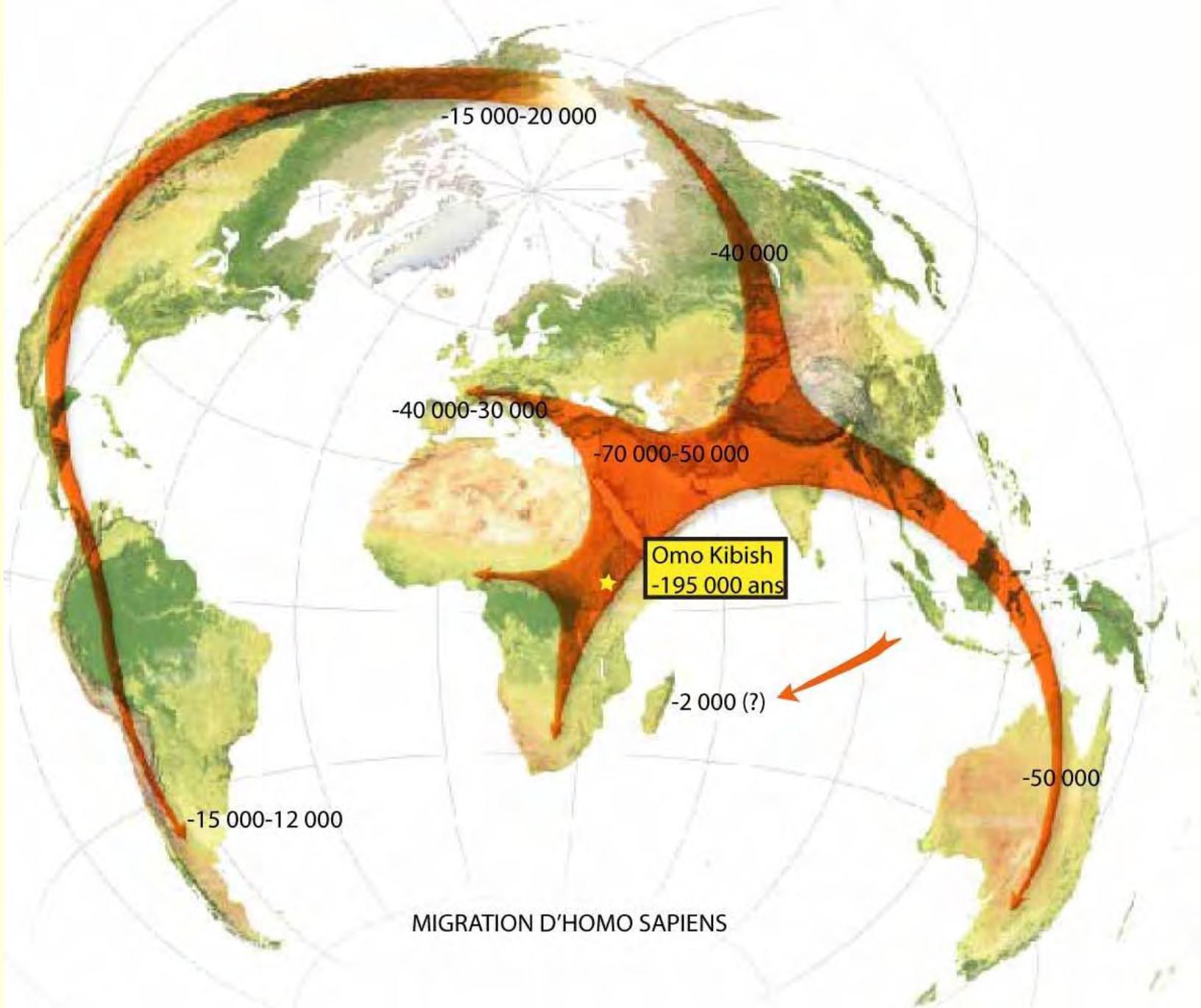
Ce vaste cortex humain est donc largement constitué de :

- **réseaux associatifs** interconnectés et distribués
- qui se mettent en place **tardivement** durant le développement
- et qui sont grandement **dépendants d'influences extérieures** grâce à **leur importante plasticité** découlant de cette maturation lente et prolongée.





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



-2 Ma

-1 Ma

-500 000 ans

-250 000 ans



-2,3 Ma  
les premiers outils



-1,3 Ma  
le biface



-400 000 ans  
la maîtrise du feu



-40 000 ans  
l'art



-100 000 ans  
les parures



-280 000 ans  
l'utilisation  
de pigments



-100 000 ans  
les premières  
séputures

Homo rudolfensis

Homo ergaster

Homo erectus

Homo heidelbergensis

Homo habilis

Paranthropus robustus

Homo neanderthalensis

H. floresiensis

Homo sapiens

www.hominides.com

Les principales étapes de la Préhistoire

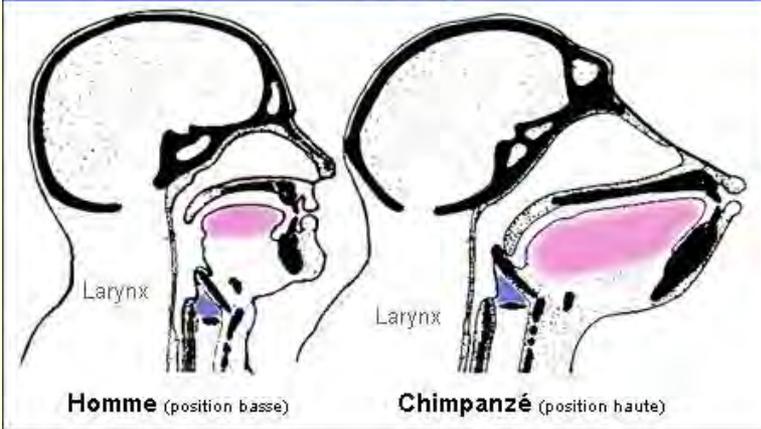


#### TALKING THE TALK

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

#### TOP OF THE LINE

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

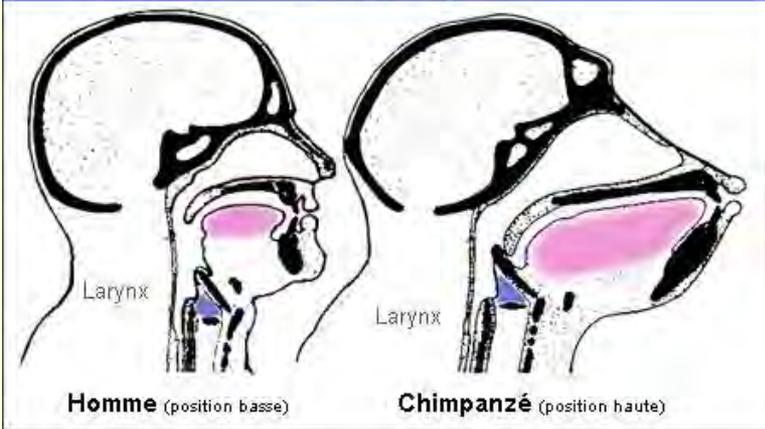


C'est l'***Homo habilis***, il y a plus de deux millions d'années, qui pourrait être le plus ancien préhumain à avoir employé un langage articulé, ce qui ne signifie pas pour autant que son langage était comparable au nôtre.

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

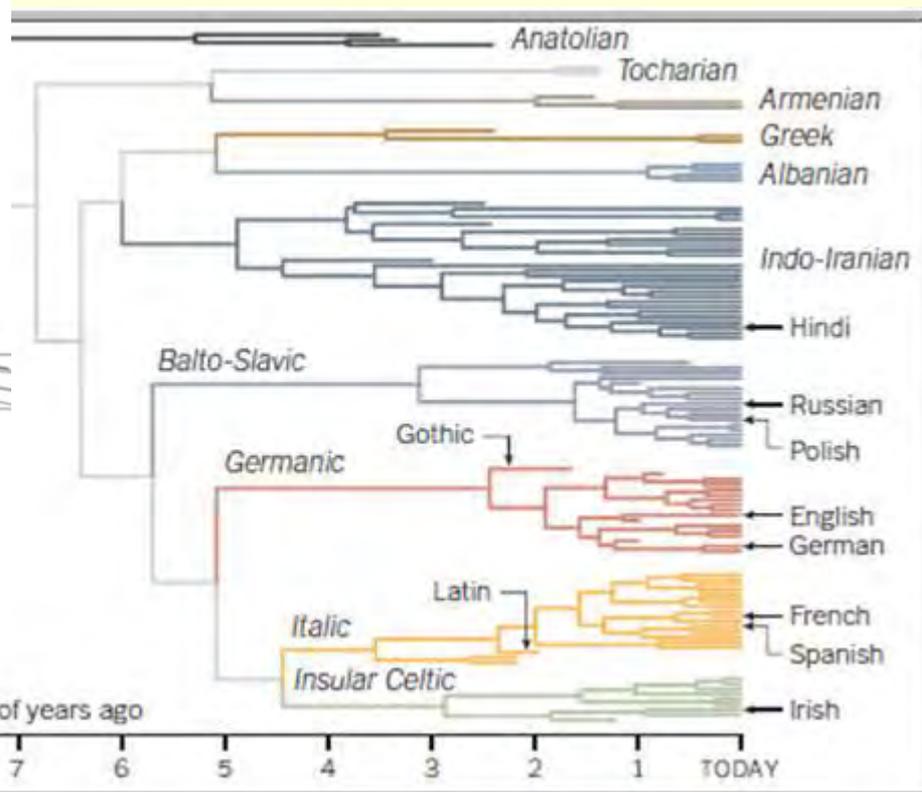
Avec **Homo sapiens** apparaît l'aire de Broca sur une circonvolution frontale gauche, et celle de Wernicke sur une circonvolution temporale gauche, suivant la mutation génétique d'un ou de plusieurs gènes (FOXP2 ...), il y a cent à deux cent mille ans, donnant la capacité de passer des mots à la syntaxe.

Position du larynx



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

« Ce qui est pertinent est la **coordination d'actions** [que les langues] provoquent et non la forme qu'elles adoptent. » (p.203)  
(table, mesa, etc.)

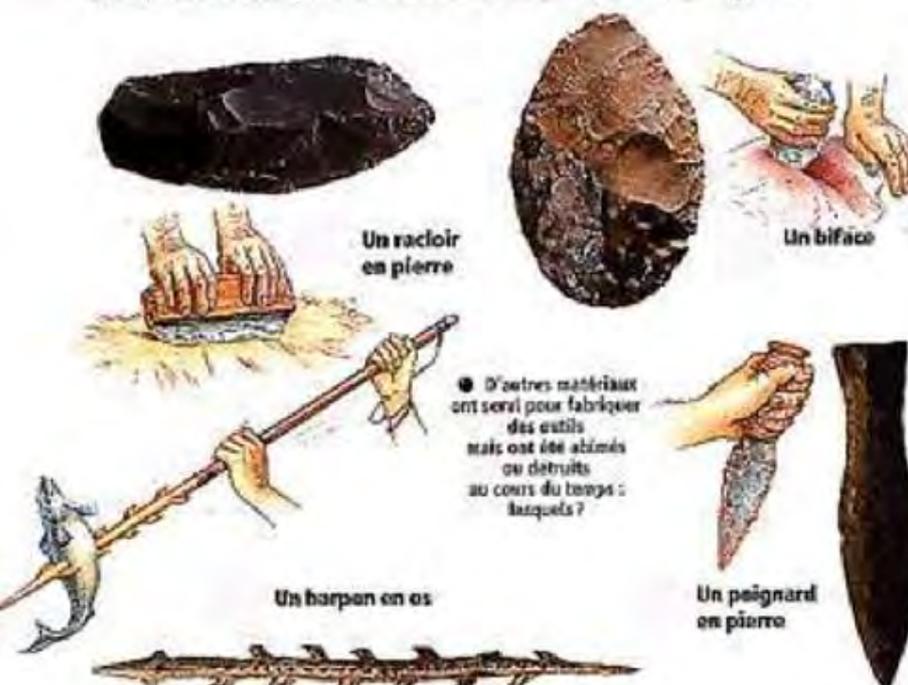


Jusqu'à il y a 8000 – 10 000 ans, on était dans :

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

# Le paléolithique

de 3 millions d'années à 8000 ans avant J.-C.



Un racloir en pierre

Un biface

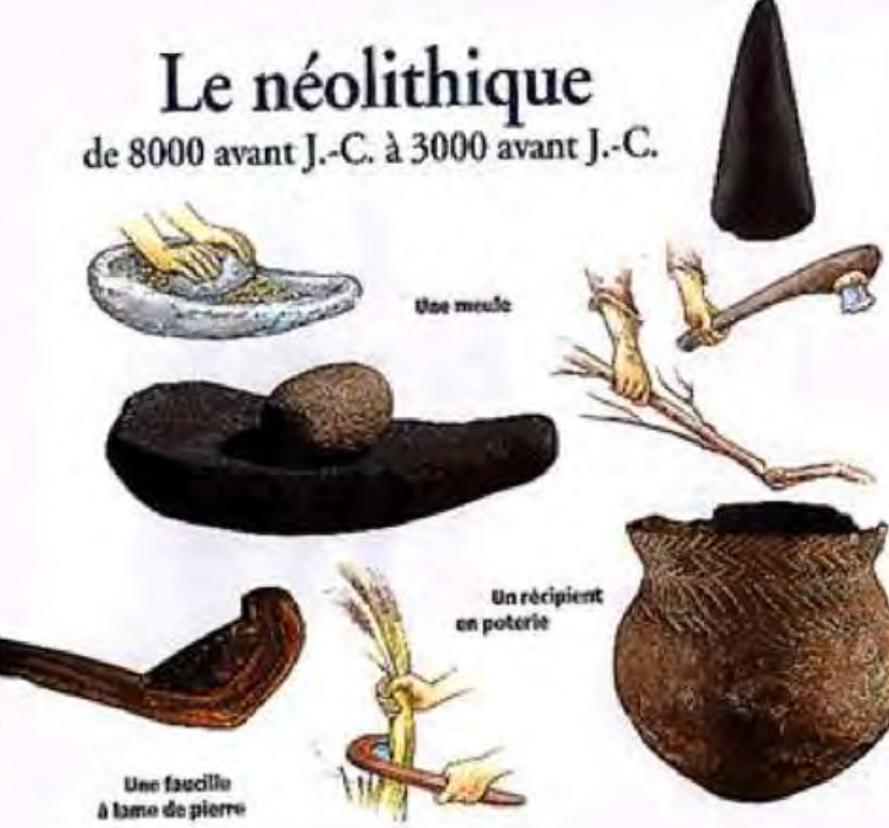
Un harpon en os

Un peignard en pierre

● D'autres matériaux ont servi pour fabriquer des outils mais ont été abîmés ou détruits au cours du temps : lesquels ?

# Le néolithique

de 8000 avant J.-C. à 3000 avant J.-C.



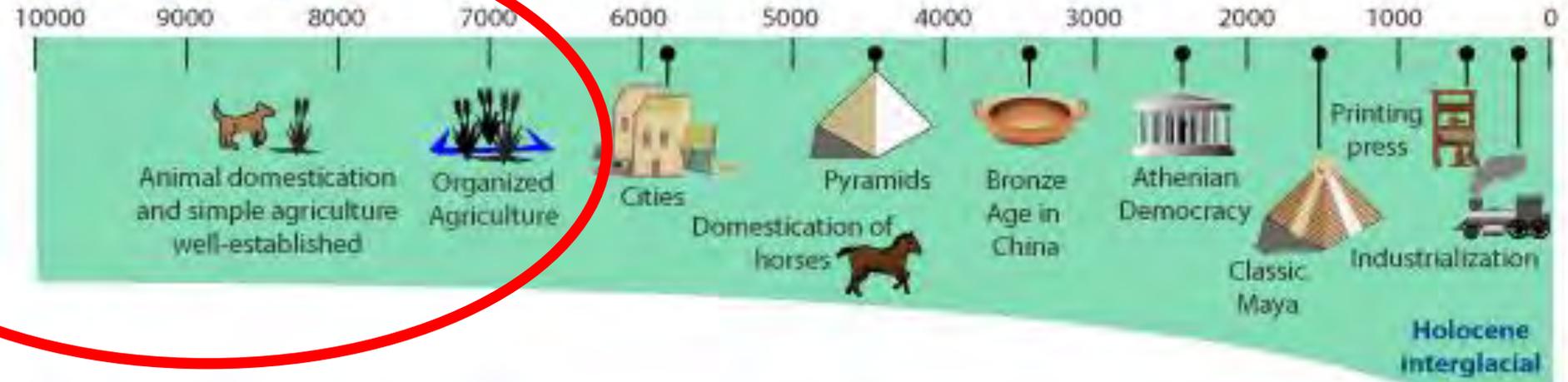
Une meule

Un récipient en poterie

Une faucille à lame de pierre

# Global Climate, Human Evolution and Civilization

Years before present (1950)



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

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



## A la découverte de Neandertal en nous...

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

## Apprivoiser la nature

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

## Aux origines de l'agriculture

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

## Co-évolution gène-culture

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

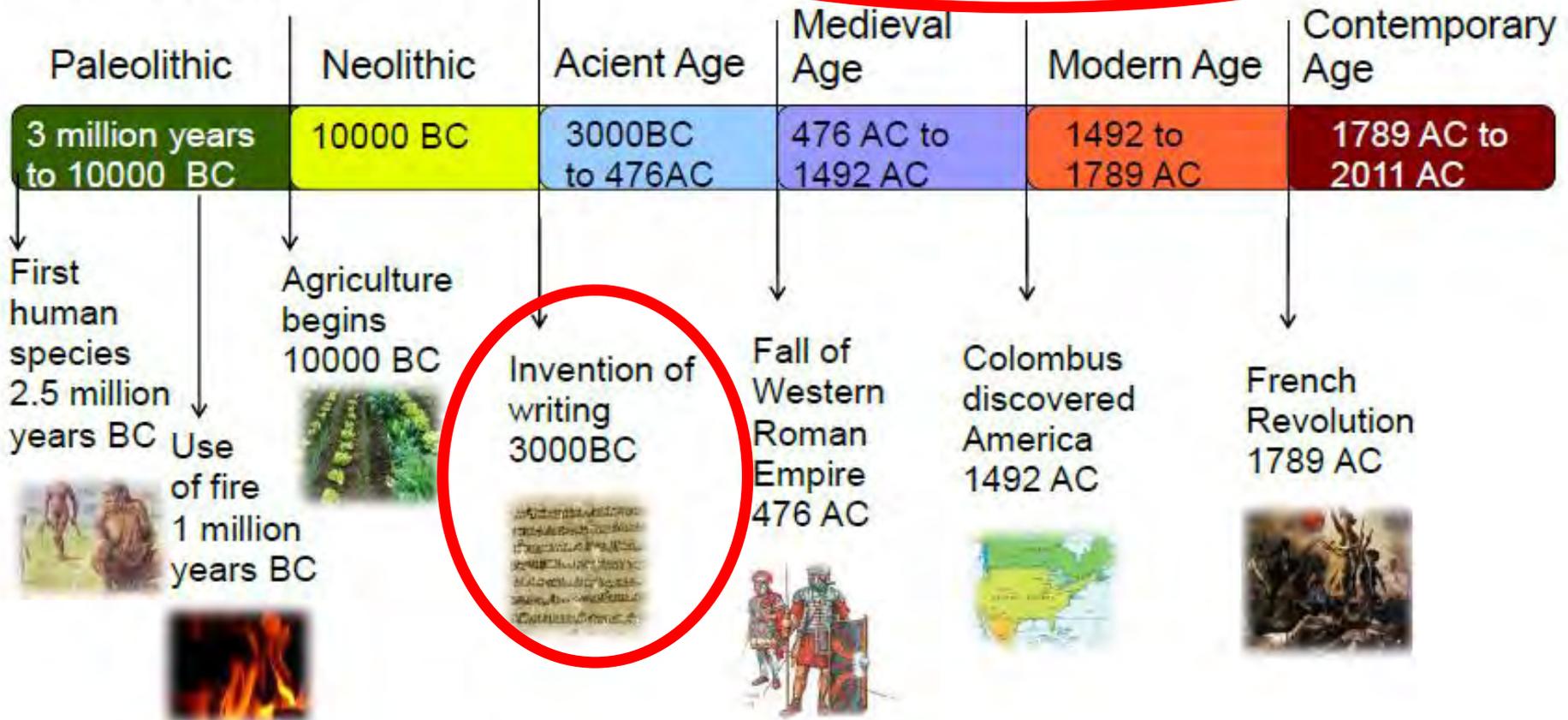
Des centaines de gènes humains **évoluent probablement encore** en réponse à une pression sélective venant de pratiques culturelles...

# Prehistory

3 million years to 3000 BC

# History

3000 BC to nowadays



**ROMAN BRITAIN 43 - 410**      **VIKINGS & ANGLO-SAXONS 410-1066**      **NORMAN CONQUEST & MIDDLE AGES 1066-1485**      **TUDOR BRITAIN 1485-1603**      **17TH AND 18TH CENTURIES 1603-1789**

87/90 Constantine becomes King of England (430)

40 Roman Britain (43)

51 Battle of Badbury (43)

84 Roman coins (43-410)

89 Roman coins (43-410)

98 Roman coins (43-410)

122 Roman coins (43-410)

155 Roman coins (43-410)

178 Roman coins (43-410)

211 Roman coins (43-410)

255 Roman coins (43-410)

283 Roman coins (43-410)

303 Roman coins (43-410)

344 Roman coins (43-410)

374 Roman coins (43-410)

400 Roman coins (43-410)

430 Roman coins (43-410)

460 Roman coins (43-410)

490 Roman coins (43-410)

510 Roman coins (43-410)

540 Roman coins (43-410)

570 Roman coins (43-410)

600 Roman coins (43-410)

630 Roman coins (43-410)

660 Roman coins (43-410)

690 Roman coins (43-410)

720 Roman coins (43-410)

750 Roman coins (43-410)

780 Roman coins (43-410)

810 Roman coins (43-410)

840 Roman coins (43-410)

870 Roman coins (43-410)

900 Roman coins (43-410)

930 Roman coins (43-410)

960 Roman coins (43-410)

990 Roman coins (43-410)

1020 Roman coins (43-410)

1050 Roman coins (43-410)

1080 Roman coins (43-410)

1110 Roman coins (43-410)

1140 Roman coins (43-410)

1170 Roman coins (43-410)

1200 Roman coins (43-410)

1230 Roman coins (43-410)

1260 Roman coins (43-410)

1290 Roman coins (43-410)

1320 Roman coins (43-410)

1350 Roman coins (43-410)

1380 Roman coins (43-410)

1410 Roman coins (43-410)

1440 Roman coins (43-410)

1470 Roman coins (43-410)

1500 Roman coins (43-410)

1530 Roman coins (43-410)

1560 Roman coins (43-410)

1590 Roman coins (43-410)

1620 Roman coins (43-410)

1650 Roman coins (43-410)

1680 Roman coins (43-410)

1710 Roman coins (43-410)

1740 Roman coins (43-410)

1770 Roman coins (43-410)

1800 Roman coins (43-410)

1830 Roman coins (43-410)

1860 Roman coins (43-410)

1890 Roman coins (43-410)

1920 Roman coins (43-410)

1950 Roman coins (43-410)

1980 Roman coins (43-410)

2010 Roman coins (43-410)

2040 Roman coins (43-410)

2070 Roman coins (43-410)

2100 Roman coins (43-410)

2130 Roman coins (43-410)

2160 Roman coins (43-410)

2190 Roman coins (43-410)

2220 Roman coins (43-410)

2250 Roman coins (43-410)

2280 Roman coins (43-410)

2310 Roman coins (43-410)

2340 Roman coins (43-410)

2370 Roman coins (43-410)

2400 Roman coins (43-410)

2430 Roman coins (43-410)

2460 Roman coins (43-410)

2490 Roman coins (43-410)

2520 Roman coins (43-410)

2550 Roman coins (43-410)

2580 Roman coins (43-410)

2610 Roman coins (43-410)

2640 Roman coins (43-410)

2670 Roman coins (43-410)

2700 Roman coins (43-410)

2730 Roman coins (43-410)

2760 Roman coins (43-410)

2790 Roman coins (43-410)

2820 Roman coins (43-410)

2850 Roman coins (43-410)

2880 Roman coins (43-410)

2910 Roman coins (43-410)

2940 Roman coins (43-410)

2970 Roman coins (43-410)

3000 Roman coins (43-410)

**1900**      **1950**      **2000**      **UK 2K**

1900: 1901, 1902, 1903, 1904, 1905, 1906, 1907, 1908, 1909, 1910, 1911, 1912, 1913, 1914, 1915, 1916, 1917, 1918, 1919, 1920, 1921, 1922, 1923, 1924, 1925, 1926, 1927, 1928, 1929, 1930, 1931, 1932, 1933, 1934, 1935, 1936, 1937, 1938, 1939, 1940, 1941, 1942, 1943, 1944, 1945, 1946, 1947, 1948, 1949, 1950, 1951, 1952, 1953, 1954, 1955, 1956, 1957, 1958, 1959, 1960, 1961, 1962, 1963, 1964, 1965, 1966, 1967, 1968, 1969, 1970, 1971, 1972, 1973, 1974, 1975, 1976, 1977, 1978, 1979, 1980, 1981, 1982, 1983, 1984, 1985, 1986, 1987, 1988, 1989, 1990, 1991, 1992, 1993, 1994, 1995, 1996, 1997, 1998, 1999, 2000, 2001, 2002, 2003, 2004, 2005, 2006, 2007, 2008, 2009, 2010, 2011, 2012, 2013, 2014, 2015, 2016, 2017, 2018, 2019, 2020, 2021, 2022, 2023, 2024, 2025, 2026, 2027, 2028, 2029, 2030, 2031, 2032, 2033, 2034, 2035, 2036, 2037, 2038, 2039, 2040, 2041, 2042, 2043, 2044, 2045, 2046, 2047, 2048, 2049, 2050, 2051, 2052, 2053, 2054, 2055, 2056, 2057, 2058, 2059, 2060, 2061, 2062, 2063, 2064, 2065, 2066, 2067, 2068, 2069, 2070, 2071, 2072, 2073, 2074, 2075, 2076, 2077, 2078, 2079, 2080, 2081, 2082, 2083, 2084, 2085, 2086, 2087, 2088, 2089, 2090, 2091, 2092, 2093, 2094, 2095, 2096, 2097, 2098, 2099, 2100

1901: 1901, 1902, 1903, 1904, 1905, 1906, 1907, 1908, 1909, 1910, 1911, 1912, 1913, 1914, 1915, 1916, 1917, 1918, 1919, 1920, 1921, 1922, 1923, 1924, 1925, 1926, 1927, 1928, 1929, 1930, 1931, 1932, 1933, 1934, 1935, 1936, 1937, 1938, 1939, 1940, 1941, 1942, 1943, 1944, 1945, 1946, 1947, 1948, 1949, 1950, 1951, 1952, 1953, 1954, 1955, 1956, 1957, 1958, 1959, 1960, 1961, 1962, 1963, 1964, 1965, 1966, 1967, 1968, 1969, 1970, 1971, 1972, 1973, 1974, 1975, 1976, 1977, 1978, 1979, 1980, 1981, 1982, 1983, 1984, 1985, 1986, 1987, 1988, 1989, 1990, 1991, 1992, 1993, 1994, 1995, 1996, 1997, 1998, 1999, 2000, 2001, 2002, 2003, 2004, 2005, 2006, 2007, 2008, 2009, 2010, 2011, 2012, 2013, 2014, 2015, 2016, 2017, 2018, 2019, 2020, 2021, 2022, 2023, 2024, 2025, 2026, 2027, 2028, 2029, 2030, 2031, 2032, 2033, 2034, 2035, 2036, 2037, 2038, 2039, 2040, 2041, 2042, 2043, 2044, 2045, 2046, 2047, 2048, 2049, 2050, 2051, 2052, 2053, 2054, 2055, 2056, 2057, 2058, 2059, 2060, 2061, 2062, 2063, 2064, 2065, 2066, 2067, 2068, 2069, 2070, 2071, 2072, 2073, 2074, 2075, 2076, 2077, 2078, 2079, 2080, 2081, 2082, 2083, 2084, 2085, 2086, 2087, 2088, 2089, 2090, 2091, 2092, 2093, 2094, 2095, 2096, 2097, 2098, 2099, 2100

2000: 2000, 2001, 2002, 2003, 2004, 2005, 2006, 2007, 2008, 2009, 2010, 2011, 2012, 2013, 2014, 2015, 2016, 2017, 2018, 2019, 2020, 2021, 2022, 2023, 2024, 2025, 2026, 2027, 2028, 2029, 2030, 2031, 2032, 2033, 2034, 2035, 2036, 2037, 2038, 2039, 2040, 2041, 2042, 2043, 2044, 2045, 2046, 2047, 2048, 2049, 2050, 2051, 2052, 2053, 2054, 2055, 2056, 2057, 2058, 2059, 2060, 2061, 2062, 2063, 2064, 2065, 2066, 2067, 2068, 2069, 2070, 2071, 2072, 2073, 2074, 2075, 2076, 2077, 2078, 2079, 2080, 2081, 2082, 2083, 2084, 2085, 2086, 2087, 2088, 2089, 2090, 2091, 2092, 2093, 2094, 2095, 2096, 2097, 2098, 2099, 2100

UK 2K: 2000, 2001, 2002, 2003, 2004, 2005, 2006, 2007, 2008, 2009, 2010, 2011, 2012, 2013, 2014, 2015, 2016, 2017, 2018, 2019, 2020, 2021, 2022, 2023, 2024, 2025, 2026, 2027, 2028, 2029, 2030, 2031, 2032, 2033, 2034, 2035, 2036, 2037, 2038, 2039, 2040, 2041, 2042, 2043, 2044, 2045, 2046, 2047, 2048, 2049, 2050, 2051, 2052, 2053, 2054, 2055, 2056, 2057, 2058, 2059, 2060, 2061, 2062, 2063, 2064, 2065, 2066, 2067, 2068, 2069, 2070, 2071, 2072, 2073, 2074, 2075, 2076, 2077, 2078, 2079, 2080, 2081, 2082, 2083, 2084, 2085, 2086, 2087, 2088, 2089, 2090, 2091, 2092, 2093, 2094, 2095, 2096, 2097, 2098, 2099, 2100

# ZOOM

## VERS UN JALON (PRÉ)HISTORIQUE

### CONCENTRATION DE DIOXYDE DE CARBONE



Mesure par analyse de carotte de glace

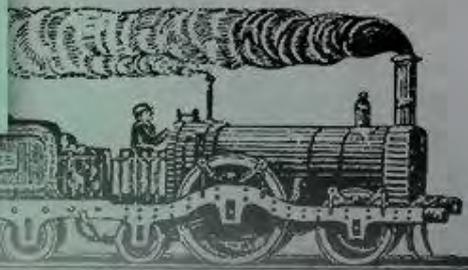


Mesure d'analyse directe de l'atmosphère (depuis 1958)

1750

280 PPM

Début de l'ère industrielle avec l'emploi du charbon. Train, navires et machines seront les premiers grands émetteurs de gaz à effet de serre (GES) de source fossile.



1859

290 PPM

Le puits de pétrole d'Irwin Drake en Pennsylvanie est le point de départ de l'industrie pétrolière. La même année, le physicien britannique John Tyndall est le premier à mesurer la capacité de différents gaz



400  
380  
360  
340  
320  
300  
280

1750

1800

1850

1900

1950

2000

2013

260





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

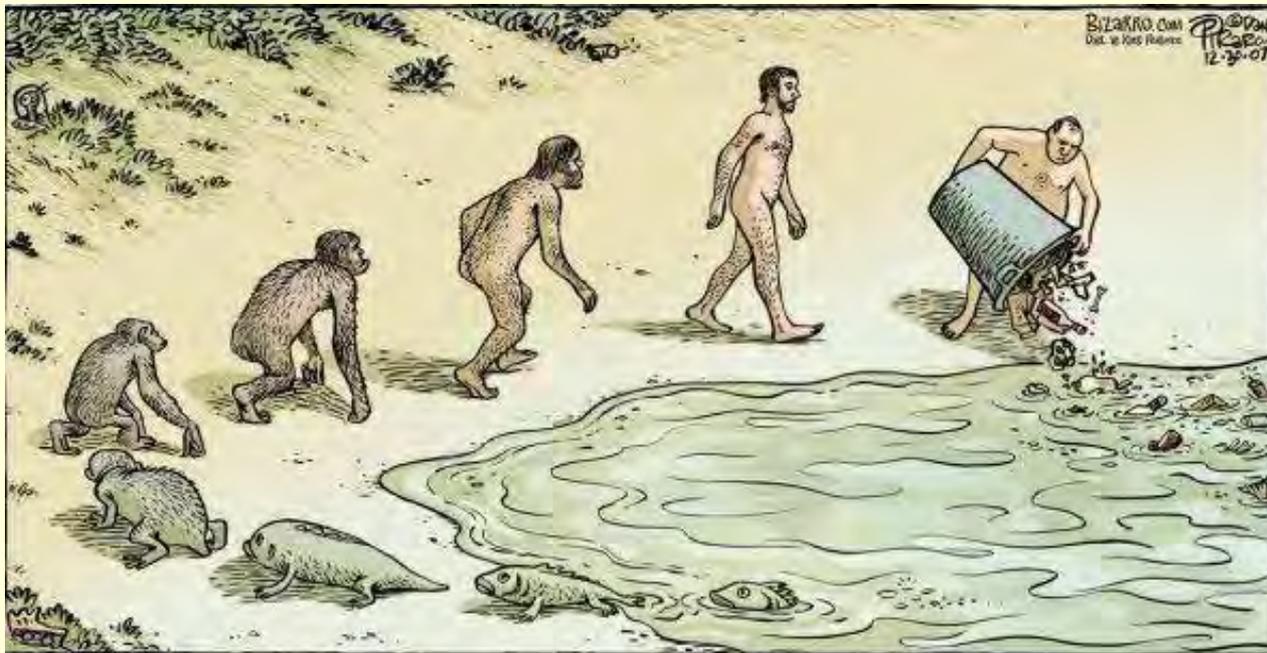
Publication **20 mars 2015**

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

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

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

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



Bref, ça va nous prendre des modèles pour essayer de comprendre tout ça.

Que nous aborderons la semaine prochaine !