

# *L'épopée de l'univers*



*akmi*

Philippe Mignotte

Face au chaos du compliqué, trouver le simple qui n'est pas simpliste car il permet le complexe.



# Dans l'état actuel de nos connaissances

...

## qui évolueront !

Nous plongerons, dans un cocktail de  
*mécanique quantique, relativité, anthropologie, astrophysique,*  
pour déboucher sur la métaphysique, ...

- d'abord dans le tout petit,
- puis dans le très grand,
- avant de s'aventurer dans le très complexe,
- pour finir dans le futur lointain.



Face au chao du compliqué, trouver le simple qui n'est pas simpliste car il permet le complexe.

## LES PARTICULES

Molécules

=> Atomes

=> Noyaux + Electrons

=> Protons + Neutrons

=> Quarks (3)

Photons + Neutrinos

**Quatre particules élémentaires**

suffisent, sous l'action de

**quatre forces,**

à constituer la

**matière ordinaire.**

Face au chaos du compliqué, trouver le simple qui n'est pas simpliste car il permet le complexe.



$$\textit{Energie} = E = MC^2 = \textit{Matière}$$

Au départ tout est énergie,  
qui se transforme en particules  
qui s'agglutinent  
pour former des composants stables.

## **Relativité générale d'Einstein**

gouverne le monde macroscopique

## **Mécanique quantique**

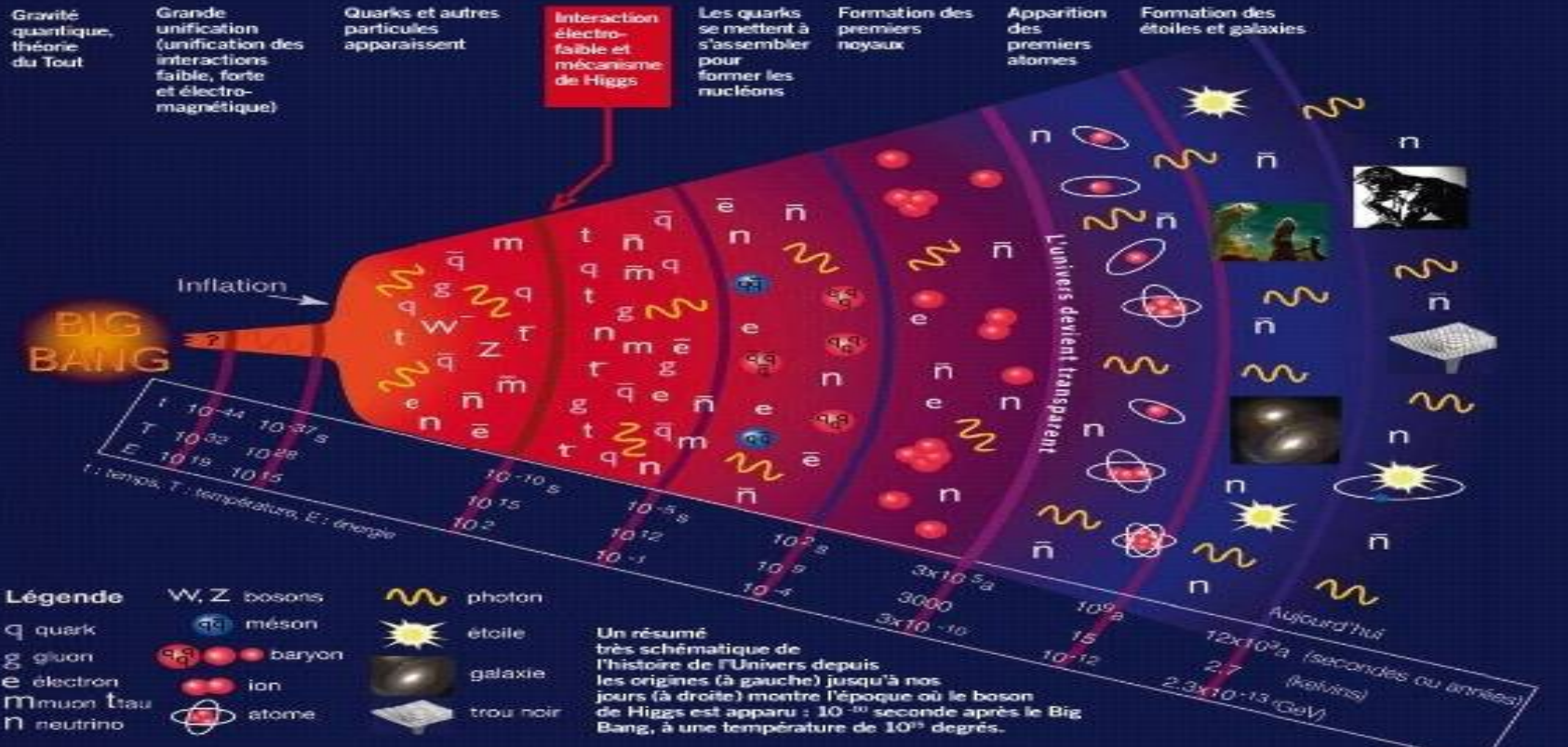
s'applique pour le microscopique



Face au chaos du compliqué, trouver le simple qui n'est pas simpliste car il permet le complexe.

# Evolution de l'univers: Les étapes

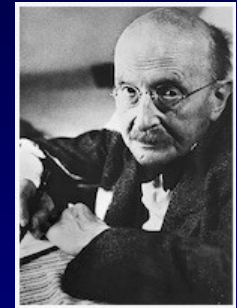
## La particule confirme le modèle standard





*Pendant  $10^{-43}$  sec :*

Presque tout est énergie à  $10^{32}$ K avec  
20 microgrammes de matière dans  
une sphère de  $10^{-33}$ cm



Les quatre forces sont probablement unifiées  
Deux théories : gravitation quantique et super cordes s'affrontent

On ne sait pas grand chose de ce qui se passe !



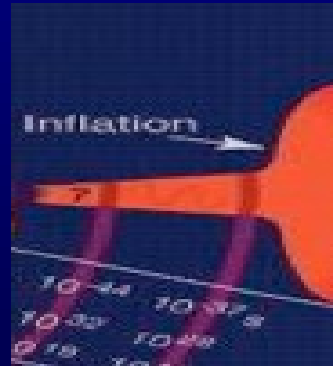
Face au chao du compliqué, trouver le simple qui n'est pas simpliste car il permet le complexe.

# Evolution de l'univers : L'expansion explosive.

Jusque vers  $10^{-35}$  sec tout est encore sous forme d'énergie.

Se déclenche alors une énorme expansion de l'espace occupé :  
l'univers atteint la taille d'une orange.

La température a été divisée par un facteur de 10 000.



Face au chao du compliqué, trouver le simple qui n'est pas simpliste car il permet le complexe.

# Evolution de l'univers : L'apparition de particules

Un dixième de milliardième de seconde après le Big Bang, des particules élémentaires de matière apparaissent : quarks, photons, mais aussi muons, bosons, ...



Elles vont commencer à réagir violemment les unes avec les autres pour s'assembler afin de former de nouvelles particules.



Face au chao du compliqué, trouver le simple qui n'est pas simpliste car il permet le complexe.



# Evolution de l'univers : Les protons et neutrons

Un millionième de seconde après le Big Bang, trois quarks se rassemblent pour constituer un neutron.

En captant un électron, celui-ci forme un proton.

*Les deux constituants des noyaux sont apparus.*

Les photons qui se forment sont immédiatement absorbés par un électron.

Aucune lumière n'est émise :

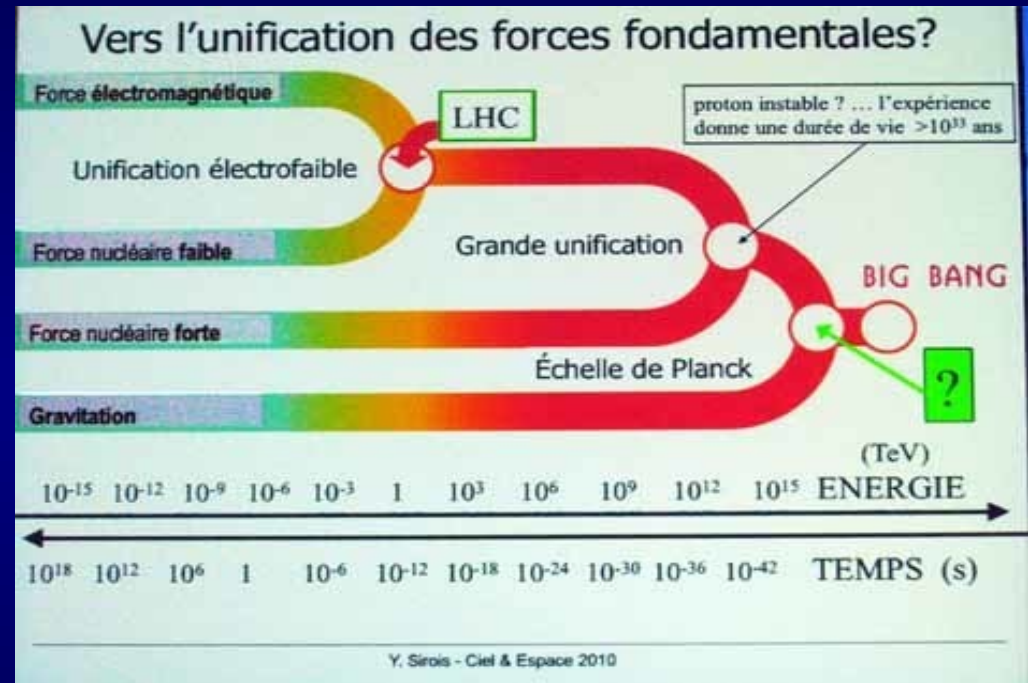
**l'univers est noir.**



Face au chao du compliqué, trouver le simple qui n'est pas simpliste car il permet le complexe.

# Evolution de l'univers : Le partage des forces

Au cours de la première seconde, la force unique de l'espace de Planck s'est progressivement scindée pour générer les quatre forces stables qui piloteront l'évolution des particules.



Face au chaos du compliqué, trouver le simple qui n'est pas simpliste car il permet le complexe.



## LES FORCES

Leurs interactions sont gouvernées par quatre forces qui agissent selon des règles mathématiques pas toujours complexes.



Leur nom :

Interaction forte : *solidité neutron, proton* ( $1/r^7$ )

Interaction faible : *radioactivité naturelle* ( $1/r^5$ )

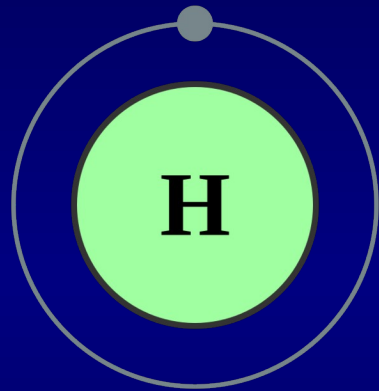
Electromagnétisme : *lumière, chimie, ...* ( $1/r^2$ )

Gravitation : *système solaire, galaxies, ...* ( $1/r^2$ )



Face au chao du compliqué, trouver le simple qui n'est pas simpliste car il permet le complexe.

# Evolution de l'univers : La première nucléosynthèse



Les protons et les neutrons sont là,  
des électrons aussi,  
les premiers atomes peuvent se former...  
en commençant par le plus simple :  
l'hydrogène.

D'énormes nuages,  
essentiellement d'hydrogène ( $H_2$ ) et d'hélium (He),  
se forment.



Face au chao du compliqué, trouver le simple qui n'est pas simpliste car il permet le complexe.

# Evolution de l'univers : La première lueur



Après 380 000 ans,  
l'espace s'est agrandi, la température a baissé,  
des photons arrivent à s'échapper  
sans rencontrer de matière :  
le monde n'est plus opaque,  
il devient transparent,  
**la lumière est là !**



Face au chaos du compliqué, trouver le simple qui n'est pas simpliste car il permet le complexe.

# Evolution de l'univers : Les protoétoiles

L'univers est âgé de 200 millions d'années,  
la gravitation entre en danse !

Elle attire les atomes les uns vers les autres  
en formant des agglomérats de gaz ( $H_2$  et He)  
qui fusionnent de plus en plus.

En se concentrant, ces amas font monter  
leur température jusqu'à amorcer,  
vers 15 millions de degrés,  
la fusion thermonucléaire :  $2H_2 \rightarrow He_4$

**Les premières étoiles sont nées !**



Face au chaos du compliqué, trouver le simple qui n'est pas simpliste car il permet le complexe.



# Evolution de l'univers : Les galaxies

En un milliard d'années,  
des milliards de galaxies se forment  
chacune avec des milliards d'étoiles

*souvent autour d'un trou noir.*

*Celui de la Voie Lactée a une masse de quatre millions de fois celle du Soleil.*



Leurs formes sont variées :  
elliptiques, spirales, lenticulaires, irrégulières



*Leurs étoiles compensent l'attraction du trou noir  
par la force centrifuge de la vitesse de leur trajectoire.*

Face au chao du compliqué, trouver le simple qui n'est pas simpliste car il permet le complexe.



# Evolution de l'univers : Le blocage

La fusion thermonucléaire dégage de l'énergie :  
la température augmente.

Des atomes  $H_2$  et He peuvent fusionner pour donner des  
atomes plus lourds (Li, ...) :

ce qui augmente la masse et aussi ... la température  
généralisant des atomes encore plus lourds (C, Fe)

Mais plus l'atome est gros, plus la température de  
ceux dont il dérive doit être élevée :

la chaîne s'arrête au fer qui ne dégage plus d'énergie.

Une masse de 1 à 2 Soleil a une température qui limite les  
fusions à la génération du carbone.



Face au chaos du compliqué, trouver le simple qui n'est pas simpliste car il permet le complexe.

# Evolution de l'univers : Le blocage

Pour engendrer des atomes comme O, N, K... il faut des masses  $\geq 6$  Soleils pour que la température soit suffisante à cœur et la fusion l'augmentera encore.

Mais lorsqu'on atteint le fer,  
(la température est montée à 5 milliards de degrés)  
la fusion pour générer un atome plus lourd devient consommatrice d'énergie et la température ne peut plus augmenter : la thermofusion s'arrête.

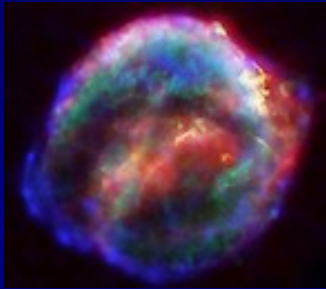


Face au chaos du compliqué, trouver le simple qui n'est pas simpliste car il permet le complexe.

Une étoile est soumise à deux forces opposées :

- Le thermonucléaire expulsent les particules.
- La gravitation les retient.

Un équilibre s'établit.



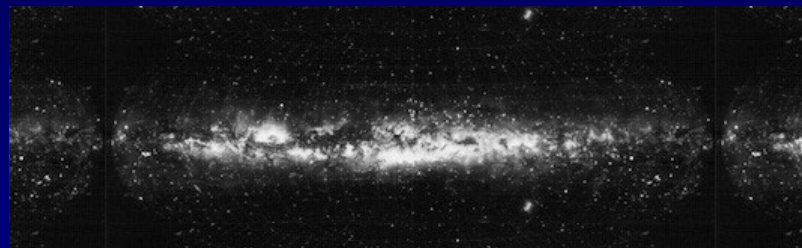
Lorsque le nucléaire s'éteint, la gravitation attire tout vers son cœur avec une telle force que l'étoile peut imploser et projeter violemment ses particules, qui vont pouvoir en percuter d'autres pour fusionner en générant des atomes plus lourds que le fer.



Face au chaos du compliqué, trouver le simple qui n'est pas simpliste car il permet le complexe.

# Evolution de l'univers : Les planètes

Cette matière se disperse sous forme de poussières stellaires.

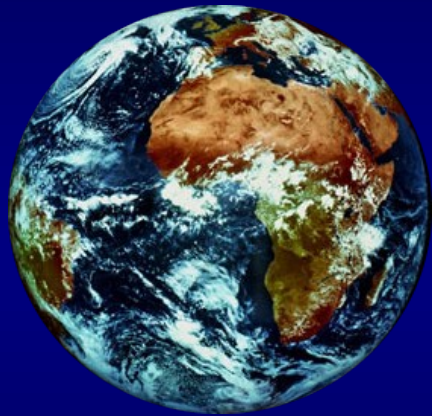


Ces dernières, en se rassemblant, pourront former des planètes, voire de nouvelles étoiles de deuxième génération.

Notre soleil est ainsi né, il y a  $\pm 5$  milliards d'années : il est à mi-parcours de sa vie ... Sa taille ne lui permettra de générer des atomes plus lourds que le carbone.



Face au chaos du compliqué, trouver le simple qui n'est pas simpliste car il permet le complexe.



Notre terre n'est pas assez massive pour que la température de son cœur permette le déclenchement de réactions thermonucléaires, mais elle est suffisante pour liquéfier son noyau ferrique.

Elle s'est formée il y a 4,5 milliards d'années en une douzaine de millions d'années.



Face au chao du compliqué, trouver le simple qui n'est pas simpliste car il permet le complexe.



# Evolution de l'univers : La lune et les océans

Il y a 3,5 milliards d'années, lors d'une percussioin de la Terre par une planète, un bon morceau lui a été arraché : il a formé la Lune.



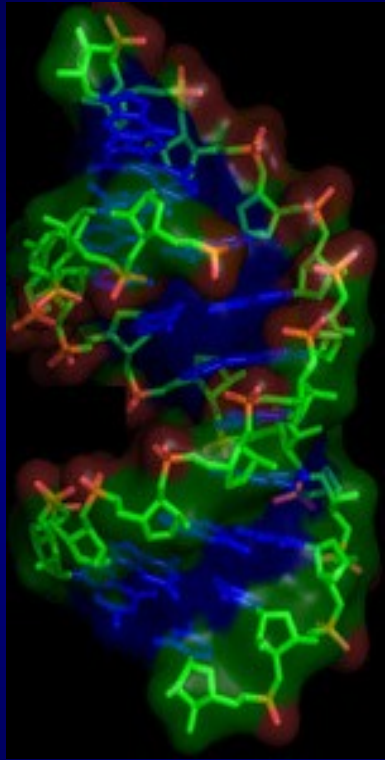
Par la même occasion, ce choc a incliné l'axe de rotation de la Terre : ce qui donne les saisons !



L'eau des océans, indispensable à la vie, aurait été apportée par des comètes de glace.



Face au chao du compliqué, trouver le simple qui n'est pas simpliste car il permet le complexe.



La température qui règne à la surface de la terre permet la combinaison d'atomes pour former des molécules ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{NH}_3$ , ...). Sous l'action des éclairs ces dernières génèrent des molécules organiques de plus en plus complexes.

L'apparition de la vie est encore mystérieuse. La synthèse spontanée de l'ARN (*capable de s'auto-reproduire*) est probablement un composant-étape, combiné avec l'aptitude de certaines molécules à se disposer en une double couche (*amorce d'une membrane indispensable pour séparer un être de son environnement*).



Face au chaos du compliqué, trouver le simple qui n'est pas simpliste car il permet le complexe.

# Evolution de l'univers : Les premières cellules

La première forme de vie trouvée remonte à 3,5 milliards d'années sous forme de cellules procariotes (sans noyau) suivies des eucariotes (1,8 giga ans).



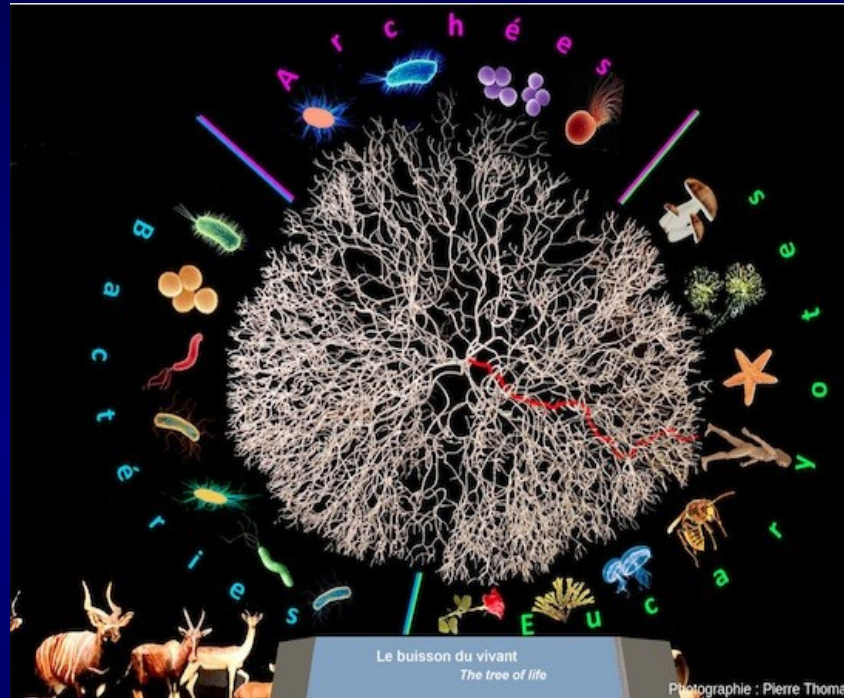
Comment s'assemblèrent-elles pour former des organismes de plus en plus complexe ?



Face au chao du compliqué, trouver le simple qui n'est pas simpliste car il permet le complexe.

# Evolution de l'univers : Le buisson du vivant

Une sphère représente le foisonnement des espèces. Elles dérivent depuis le centre avec chacune son parcours.



L'homme moderne est l'une d'entre elle avec ses spécificités.

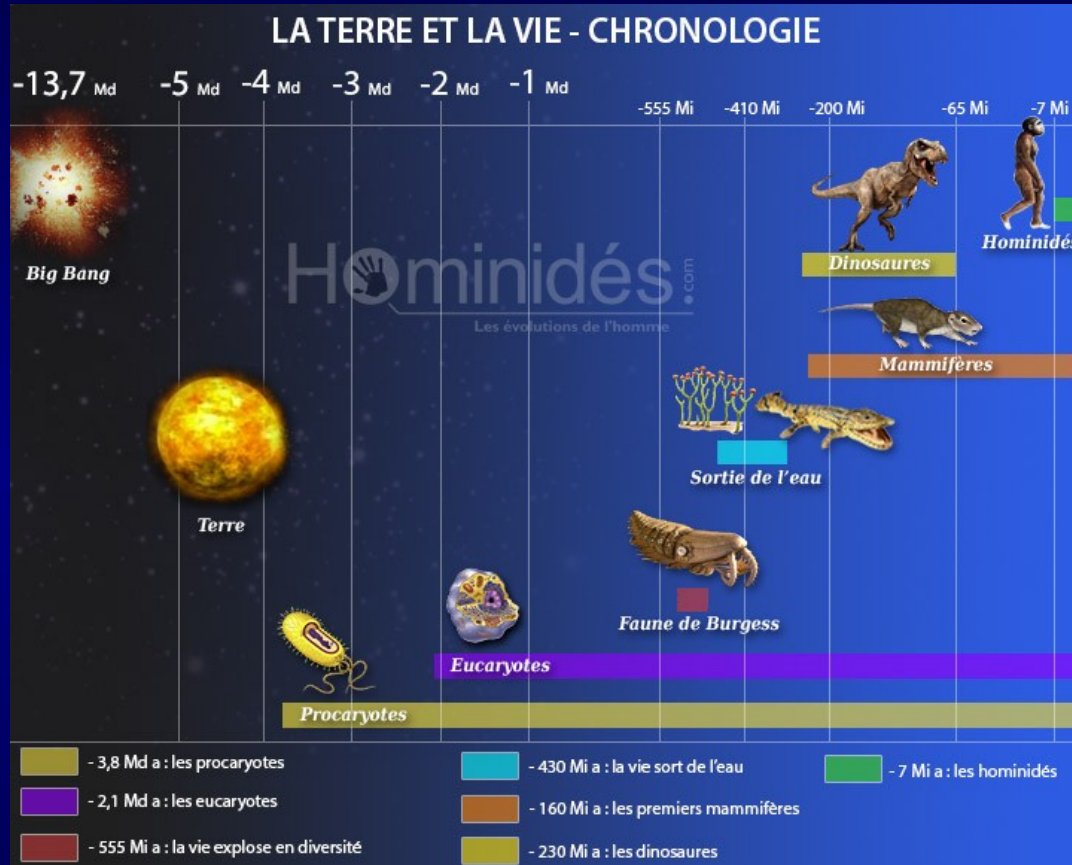
On a identifié  $\pm 8\,000\,000$  d'espèces interdépendantes.



Face au chao du compliqué, trouver le simple qui n'est pas simpliste car il permet le complexe.



# Evolution de l'univers : L'explosion du précambrien



Il y a 500 millions d'années, la vie foisonne: poissons à arêtes et plantes.

100 millions d'années plus tard, les premiers végétaux gagnent la terre.

Autant de plus, les mammifères sont là avec l'apparition de la sensibilité.



Face au chao du compliqué, trouver le simple qui n'est pas simpliste car il permet le complexe.

# Evolution de l'univers : Les hominidés



Il y a >50 millions d'années,  
les primates font leur  
apparition.

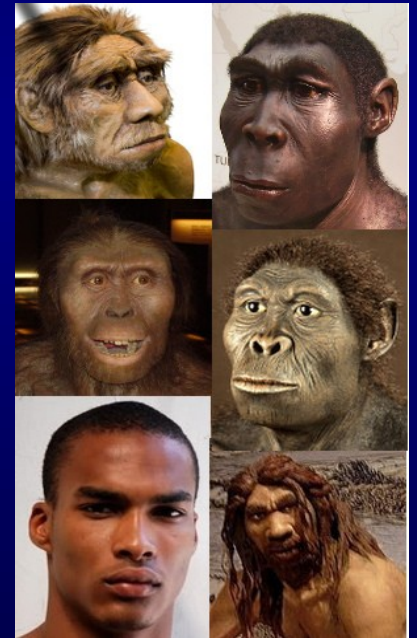
Ils se séparent des hominidés  
il y a 7 millions d'années.

Les homos ont 2,8 millions  
d'années :

Homo Habilis, ... ,

↳ Homo Erectus, ... ,

↳ Homo Sapiens  
qui n'a que 200 000 ans !



Face au chao du compliqué, trouver le simple qui n'est pas simpliste car il permet le complexe.



# Evolution de l'univers : Les homos



Homo habilis, apparu en Afrique, utilise des outils. Il a été présent pendant 1 million d'années.

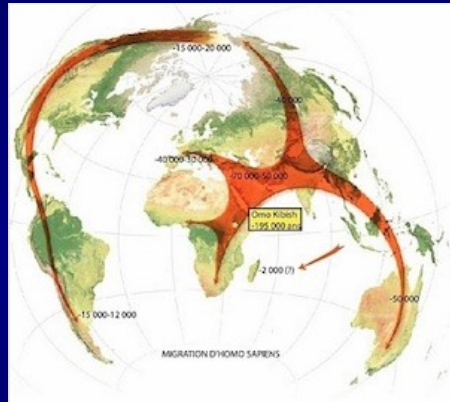


Homo erectus qui s'est perpétué pendant 1,5 millions d'années, a migré de l'Afrique vers l'Asie et l'Europe. Il maîtrisait le feu et procédait à des enterrements.



Face au chao du compliqué, trouver le simple qui n'est pas simpliste car il permet le complexe.

# Evolution de l'univers : L'homo sapiens



Apparu en Afrique de l'ouest, l'homo sapiens y est d'abord resté pendant 50 000 ans. Il a alors commencé de migrer :

- vers l'Europe en longeant les côtes (Israël, Turquie, Georgie ou Magreb, Espagne) puis les Amériques (Béring)
- vers l'Indonésie alors accessible à pied sec (le niveau des océans était inférieur de 120 m par rapport à aujourd'hui), puis l'Australie par navigation.



Face au chaos du compliqué, trouver le simple qui n'est pas simpliste car il permet le complexe.

# Evolution de l'univers : La civilisation



12 000 ans : Agriculture, élevage

6 500 ans : Ecriture

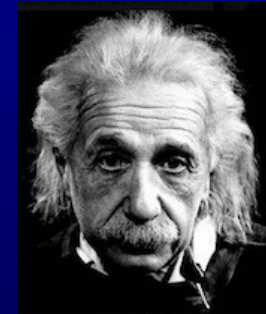
5-3 000 ans : Métallurgie (cuivre->bronze-> fer)

1 500 ans : Moyen Age

800 ans : Renaissance

200 ans : Les Lumières

100 ans : Relativité, mécanique quantique



Face au chaos du compliqué, trouver le simple qui n'est pas simpliste car il permet le complexe.

# Evolution de l'univers : La complexification

Des assemblages de matière  
de plus en plus complexes  
de moins en moins stable  
prédateurs de leur environnement.



Des propriétés nouvelles  
-> autopoïèse  
-> sensibilité  
-> sentiment  
-> conscience  
-> spiritualité  
-> amorisation



P  
h  
y  
s  
i  
q  
u  
e

P  
s  
y  
c  
h  
i  
q  
u  
e

Face au chaos du compliqué, trouver le simple qui n'est pas simpliste car il permet le complexe.



# Evolution de l'univers : L'humanisation

L'énergie initiale s'est transformée en matière.

Celle-ci s'est rassemblée en structure de plus en plus complexe.

De ce château de cartes, la vie est apparue.

Avec des vivants plus évolués a surgi la sensibilité.

Enfin la conscience a émergé avec l'homme



L'hominisation a signé le passé de la vie

Son humanisation est-il son futur ?



Face au chao du compliqué, trouver le simple qui n'est pas simpliste car il permet le complexe.

# Evolution de l'univers : La vie ailleurs

Pour que la conscience apparaisse sur terre, il a fallu :

- Une étoile primaire qui en quelques milliards d'années,
  - concentre son gaz, le brule, implose, génère des molécules lourdes
- Ce nuage de gaz et poussières forme en milliards d'années
  - notre soleil ... il y en a bien d'autres,
  - une planète tolérant des molécules organiques ... nettement plus rares.
- Suivi d'une complexification croissante :
  - formation d'une cellule vivante, puis d'organisme de complexité croissante (mobilité, sensibilité, conscience) : quelques milliards d'années.
  - communautés humaines de plus en plus vaste (mondialisation, noosphère)



Pour l'homme, cela a demandé 13,8 milliards d'années ...  
d'autres pensants existent-il au terme d'un tel processus ?

La nature évolue à tâtons avec lenteur !



Face au chao du compliqué, trouver le simple qui n'est pas simpliste car il permet le complexe.



# Evolution de l'univers : Aujourd'hui



Le diamètre actuel de l'univers visible serait de 90 à 100 milliards d'années lumière.

Sa température moyenne est de 2,7 K ... ce qui n'est pas chaud du tout !

Pour visualiser l'immensité du vide : la nuit tout ce qui est noir est vide !

On estime qu'il y a en moyenne 5 atomes d'hydrogène par mètre cube : c'est très peu !



Face au chaos du compliqué, trouver le simple qui n'est pas simpliste car il permet le complexe.

# Evolution de l'univers : La fin des étoiles

Lorsqu'une étoile est active, elle est soumise à deux forces antagonistes: la gravitation cherche à tout rassembler vers son cœur, mais les réactions thermonucléaires tendent à tout disperser.



Tant que ces réactions se poursuivent, un équilibre se forme, mais lorsqu'elles s'arrêtent, seule la gravitation subsiste et l'étoile s'effondre sur elle même en dégageant une énorme énergie qui éjecte ses couches périphériques.



Face au chao du compliqué, trouver le simple qui n'est pas simpliste car il permet le complexe.

# Evolution de l'univers : Les agonies des étoiles

Les étoiles s'éteignent de différentes manières selon leur taille :

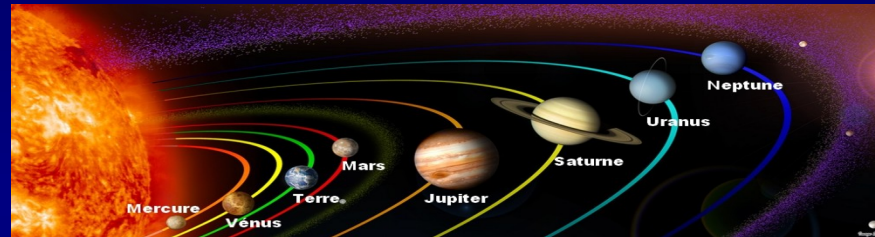
- Les plus petites ( $\leq 5$  fois le Soleil) donnent des naines blanches.
- Les moyennes ( $\pm 10$  fois le soleil) génèrent une supernova qui dispersera des atomes plus lourds dans l'espace en concentrant son cœur en étoile à neutrons.
- Les grosses ( $\pm 30$  fois le soleil) termineront en trou noir (après un stade de supernova) qui accumule de la matière noire.



Face au chao du compliqué, trouver le simple qui n'est pas simpliste car il permet le complexe.

# Evolution de l'univers : Le Soleil

Dans 5 milliards d'années le Soleil aura brûlé tout son combustible et, trop petit pour former un trou noir, il deviendra une étoile naine après avoir grossi au stade de géante rouge jusqu'à engloutir la Terre.



Pour fuir, il nous suffira de rejoindre l'étoile la plus proche à ... 4 années lumière ou la galaxie voisine à ... 6 millions !



Face au chao du compliqué, trouver le simple qui n'est pas simpliste car il permet le complexe.



On sait évaluer la masse d'un objet céleste :

- soit à partir de l'analyse de sa lumière,
- soit à partir de l'observation de sa vitesse.

Or,

- si on pèse une galaxie (*par son déplacement*),

et

- si on cumule le poids de ses étoiles (*par leur rayonnement*),

**on constate un écart de l'ordre de 1 à 5.**

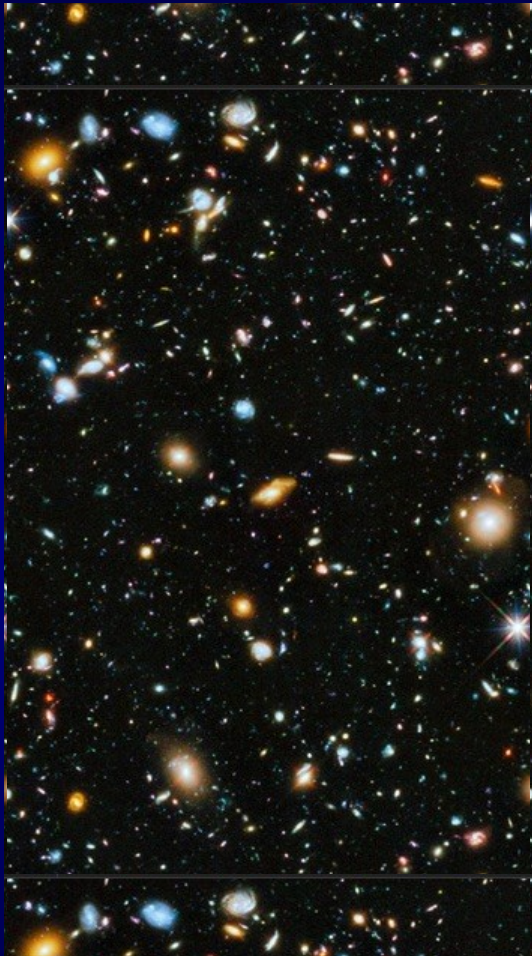
Cette différence trahit la présence de la ...

## MATIERE NOIRE



Face au chao du compliqué, trouver le simple qui n'est pas simpliste car il permet le complexe.





L'univers se dilate !  
Plus une galaxie est lointaine,  
plus vite elle semble s'éloigner  
jusqu'à 95% de la vitesse de la lumière

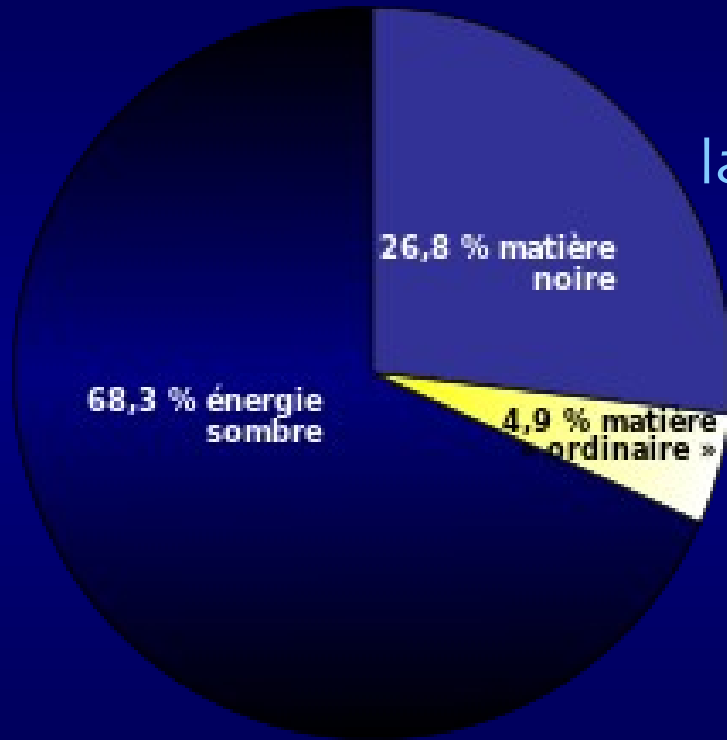
Elle est donc soumise à une répulsion  
qui l'éloigne de ses voisines.  
Cette force est dénommée :

**Energie noire ou sombre**



Face au chao du compliqué, trouver le simple qui n'est pas simpliste car il permet le complexe.

# Evolution de l'univers : Les énergies.



Parmi les trois types d'énergie,  
la matière ordinaire est minoritaire

On y trouve  
80% d'hydrogène,  
5% de matière visible  
5% de trous noirs.



Face au chao du compliqué, trouver le simple qui n'est pas simpliste car il permet le complexe.

# Evolution de l'univers : Les étoiles.



Une galaxie moyenne comme la Voie Lactée peut rassembler jusqu'à 200 milliards d'étoiles.

On évalue à environ 100 milliards le nombre de galaxies.

Le nombre d'étoiles doit donc se situer vers 20 000 milliards de milliards !

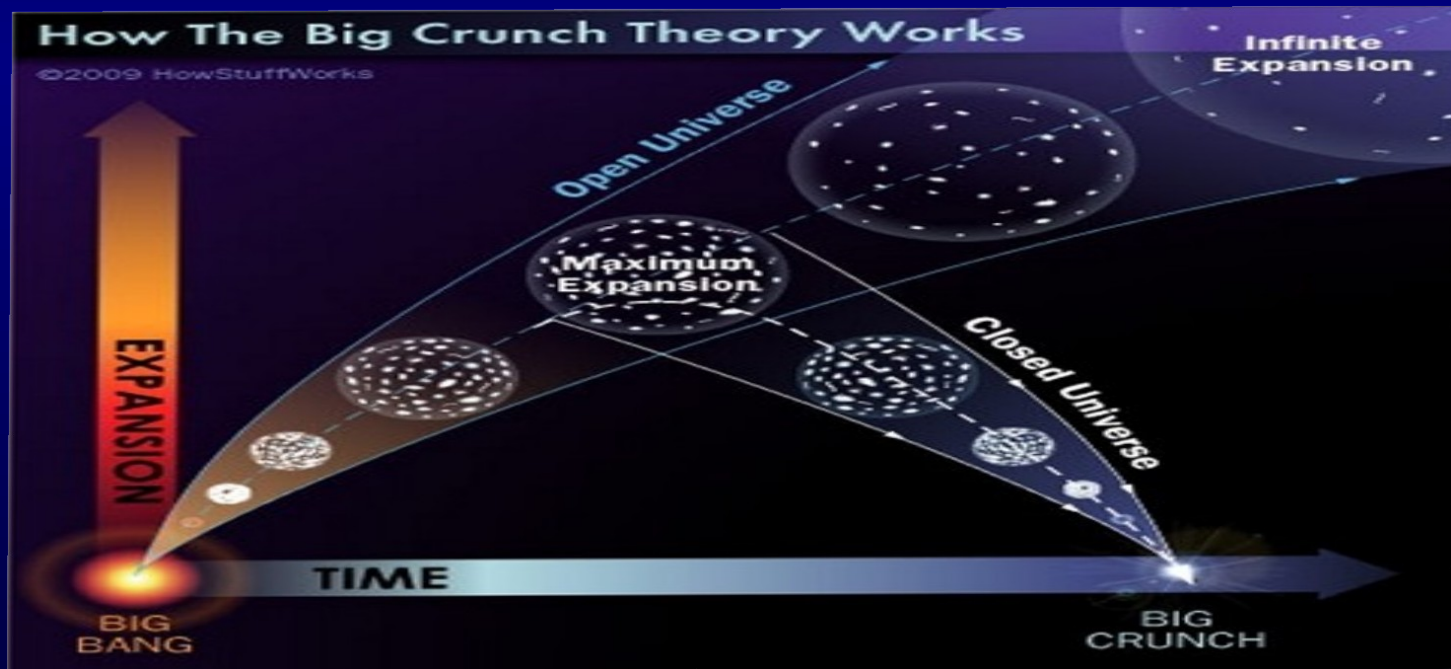


Face au chaos du compliqué, trouver le simple qui n'est pas simpliste car il permet le complexe.

# Evolution de l'univers : Et après ?

Lorsque le monde sera éteint (dans 50 milliards d'années?), il n'y a plus de photons ou d'électrons, seules la gravitation et l'énergie noire s'affronteront, les autres forces sont inefficaces.

Deux évolutions de l'univers sont alors envisageables.

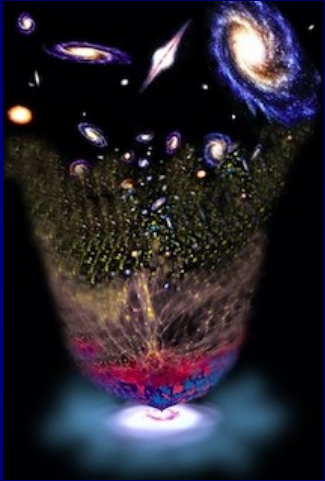


Face au chaos du compliqué, trouver le simple qui n'est pas simpliste car il permet le complexe.





# Evolution de l'univers : Le futur



Lorsque la lumière aura disparu, les trous noirs attireront toute la matière qui se trouveront à leur proximité en devenant plus massifs et ... en augmentant leur force d'attraction.

Dans le même temps, l'expansion de l'univers éloignent les masses les unes des autres et affaiblie l'attraction gravitationnelle de leurs voisines.



Face au chao du compliqué, trouver le simple qui n'est pas simpliste car il permet le complexe.



# Evolution de l'univers : Quelle évolution ?

Si la gravitation domine toute la matière se rassemblera progressivement dans un espace formidablement restreint : le Big Crunch.



Dans le cas contraire, on s'oriente vers une expansion sans fin de l'univers.

A ce jour, l'hypothèse d'une expansion continue semble la plus probable : qui vivra verra !



Face au chao du compliqué, trouver le simple qui n'est pas simpliste car il permet le complexe.

- ! Quel étonnement de penser que toute la variété qui existe dans l'univers découle de la combinaison de seulement une poignée de composants soumis aux actions d'une demi-douzaine de forces : quel Lego !
- ! L'étude mathématique des équations qui régissent ces forces a permis de définir les caractéristiques d'éléments mis en évidence par la suite (Higgs/boson) ou encore mystérieux (Dirac/anti-matière).
- ! D'autre part, c'est l'expérience qui identifie l'énergie noire que la théorie quantique ne prévoit pas : il y a encore à découvrir !



Face au chaos du compliqué, trouver le simple qui n'est pas simpliste car il permet le complexe.

# Evolution de l'univers : Des remarques

! De faibles modifications des caractéristiques des forces et particules fondamentales auraient empêché l'émergence de l'univers sous sa forme actuelle ...

! Le modèle standard donne des indications sur le comportement des particules, mais ne dit rien de leur nature : quelle est-elle ?

! L'énorme variété des formes de vie sur Terre est contrôlée par la combinaison de seulement les quatre molécules de l'ADN : un vocabulaire aussi vaste avec un alphabet aussi réduit ! Une irrésistible évolution vers la conscience ? Une cinquième force ?



Face au chao du compliqué, trouver le simple qui n'est pas simpliste car il permet le complexe.

Ce qui reste des énigmes totales :

?

- Quoi avant le Big Bang et après le Big Crunch ?
- Quoi au delà de l'univers visible ?
- Quelle est la source de ce système intelligible aussi simple que complexe ?

?

- Comment la liberté, la conscience, l'amour trouvent-ils leur place au milieu de ce déterminisme ? Une sixième force spirituelle ?

L'évolution montre à la fois une croissance de l'entropie (dégénérescence de l'énergie) et une croissance des architectures complexes (vie, société) qui y est un défi !

?

Comment tout cela va-t-il se résoudre ?

Face au chao du compliqué, trouver le simple qui n'est pas simpliste car il permet le complexe.



Quelles seront nos croyances et notre compréhension dans ...

## UN MILLION D'ANNEES ?



Face au chao du compliqué, trouver le simple qui n'est pas simpliste car il permet le complexe.