

► L' Univers et l'Homme





▶ Prologue

L'Homme et l'Univers

- ▶ L'homme, en tant que partie intégrante de l'univers, ne peut pas prétendre à une description objective de sa relation avec lui car :
- ▶ La perception que nous avons de l'univers est de l'intérieur, ce qui en complique la connaissance.
- ▶ Par exemple la forme de notre galaxie est moins établie que celles des autres galaxies.
- ▶ Et nous en faisons partie.



Notre galaxie vue de la Terre



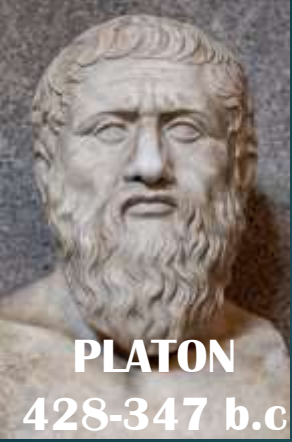
Autres galaxies:
Andromède en haut
Tourbillon en bas

L'Homme et l'Univers



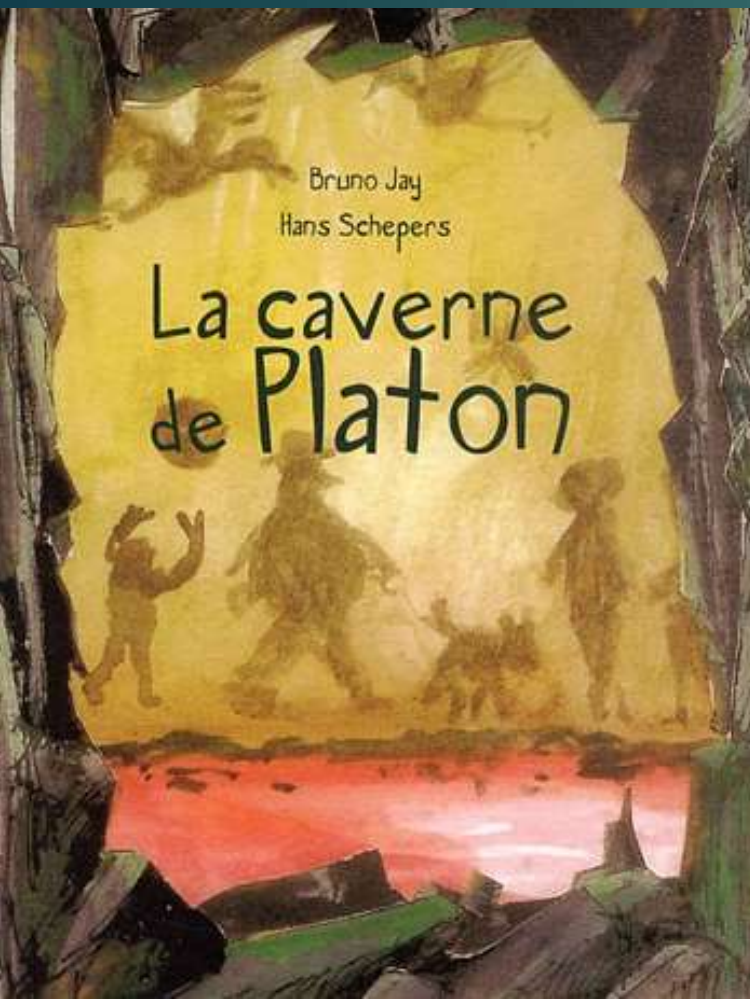
- ▶ Nous sommes dans une situation un peu similaire à la connaissance, que pourrait avoir un enfant à naître, de sa mère, aussi bien au niveau de conscience qu'il a qu'au niveau de sa situation!
- ▶ Lors d'une conférence précédente la cosmologie a été considérée comme une science « impossible ». Conscient de ces limitations, nous nous attacherons à déterminer jusqu'à quel point elle reste possible en s'attachant à sélectionner les structures qui y sont compatibles et à les considérer comme essentielles.
- ▶ La science peut-elle permettre d'atteindre une « réalité physique » ou seulement une « connaissance » imparfaite de celle-ci (phénomène).

Réalité physique? L'Allégorie de la caverne



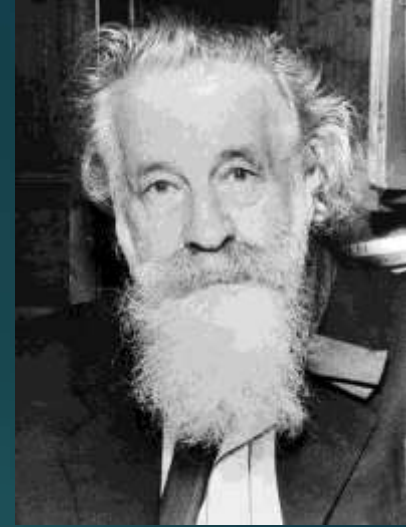
PLATON

428-347 b.c




Platon dans son livre « La république » se demandait comment des prisonniers enchaînés dans une caverne, réduits à ne voir que des ombres d'objets extérieurs (inconnus) pourraient induire que ce ne sont que des ombres de quelque chose qu'ils ne perçoivent pas. Si les ombres représentent des objets réels, alors comment peut-on récupérer la réalité de la représentation imparfaite de cette réalité ? En outre, si un prisonnier affirme que les ombres sont eux-mêmes la réalité, peut-on lui prouver qu'il a tort ?

L'Homme et l'Univers



- ▶ Bachelard, dans son livre, « Le Nouvel esprit Scientifique » fait observer que:
- ▶ L'étude de notre relation avec l'univers peut aussi bien conduire à une sorte de rationalisme redoublé qui retrouverait, dans les lois du monde, les lois de notre esprit, qu'à un réalisme universel imposant l'invariabilité absolue « aux lois de notre esprit » conçues comme une partie des lois du monde!

- 
- ▶ Les prémices de la cosmologie:
 - ▶ La cosmogonie

L'Univers de son origine et de son évolution jusqu'à l'homme

De tout temps l'homme s'est interrogé sur ses origines et l'origine du monde.

D'une réponse religieuse on a évolué vers une réflexion scientifique qui a vraiment pris corps au début du 20^{ième} siècle avec la relativité générale qui a permis de donner un sens physique à cette quête en montrant que l'univers est modelé par sa substance.



Egypte: Ré à bord de sa barque



Sceau sumérien représentant les Anunnaki



Bereshit *pereq aleph*, premier chapitre du Livre de la Genèse, écrit sur un œuf, musée Israël



Ygdrasil, l'arbre cosmique, assure la cohérence verticale des mondes de la mythologie nordique, tandis que le serpent de Midgard assure sa cohérence horizontale

.Peinture attribuée à Oluf Bagge

Cosmogonie antique

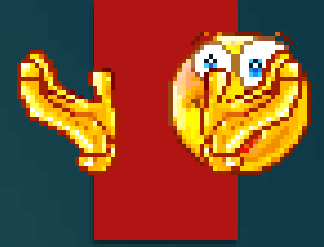
Cosmogonie classique





► La genèse de la cosmologie
moderne

Naissance de la cosmologie scientifique



► Fin 1915, Einstein publie ses équations de la relativité générale qui propose une représentation géométrique de la gravitation.

Fallait oser
le faire!

► Comme en relativité générale l'espace-temps est « déformé » par les toutes masses et toute l'énergie, l'univers (l'espace-temps) n'est plus un contenant indépendant de ce qu'il « contient » et on ne peut plus séparer contenant et contenu!

► Il peut alors être appréhendé par les objets le constituant:

► **La cosmologie scientifique était née!**



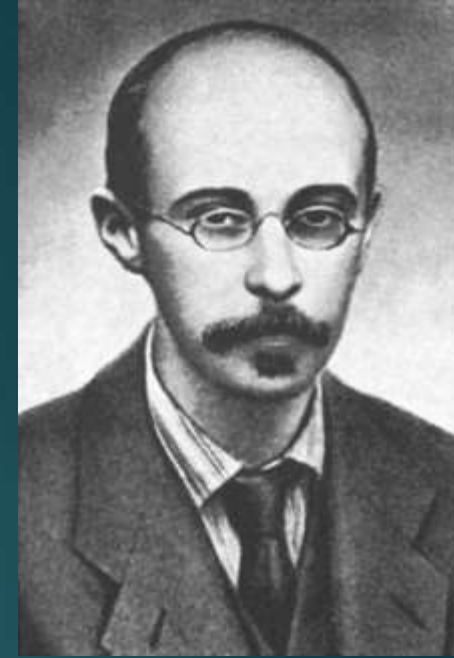
Le modèle statique d'Einstein (1917)

- ▶ En 1917, Einstein va appliquer ses équations de la relativité à la cosmologie : Il va faire 3 hypothèses
- ▶ L'univers est isotrope et homogène (pour simplifier et valide à très grande échelle seulement)
- ▶ L'univers est statique (Ce sont ce que montrent les observations de l'époque, on ne sait pas encore distinguer les nébuleuses des galaxies).
- ▶ Il satisfait au principe de Mach (régissant l'inertie)

Le modèle statique d'Einstein (1917)

- ▶ Cela commence mal: Pas de solution qui satisfait à ces hypothèses!
- ▶ Einstein modifie ses équations: Il ajoute une constante cosmologique
- ▶ L'effet de cette constante « répulsive » peut compenser l'attraction.
- ▶ Il obtient une solution statique. La suite montrera que cette solution est instable et que l'ajout de cette constante parait « ad hoc ».
- ▶ Einstein s'accrochera 10 ans à ce modèle avant de le renier!

Le modèle de Friedmann (1922)



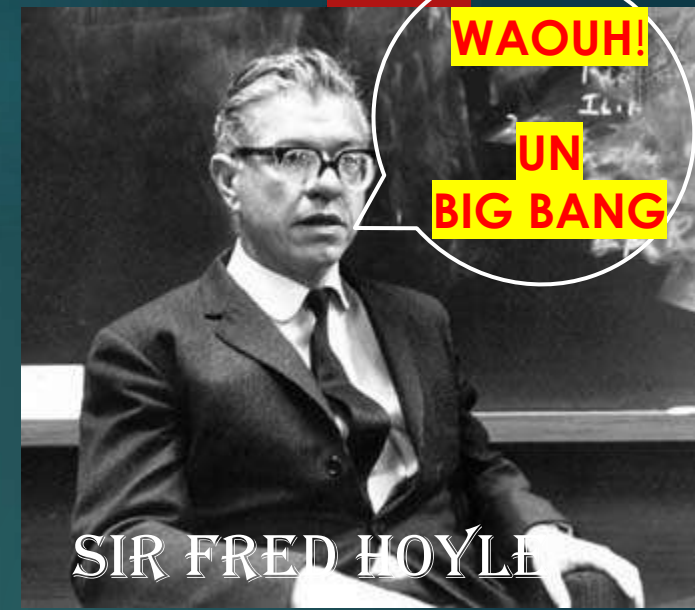
- ▶ Le russe Friedmann propose à Einstein une solution sans constante cosmologique mais qui n'est pas statique: L'univers est dynamique (en expansion et/ou en contraction).
- ▶ Einstein ne croit pas que cette solution mathématique ait un caractère physique.

Lemaître 1927-1932



LEMAÎTRE

UNIVERS EN
EXPANSION:
IL A ÉTÉ
MINUSCULE
DANS LE
PASSÉ!

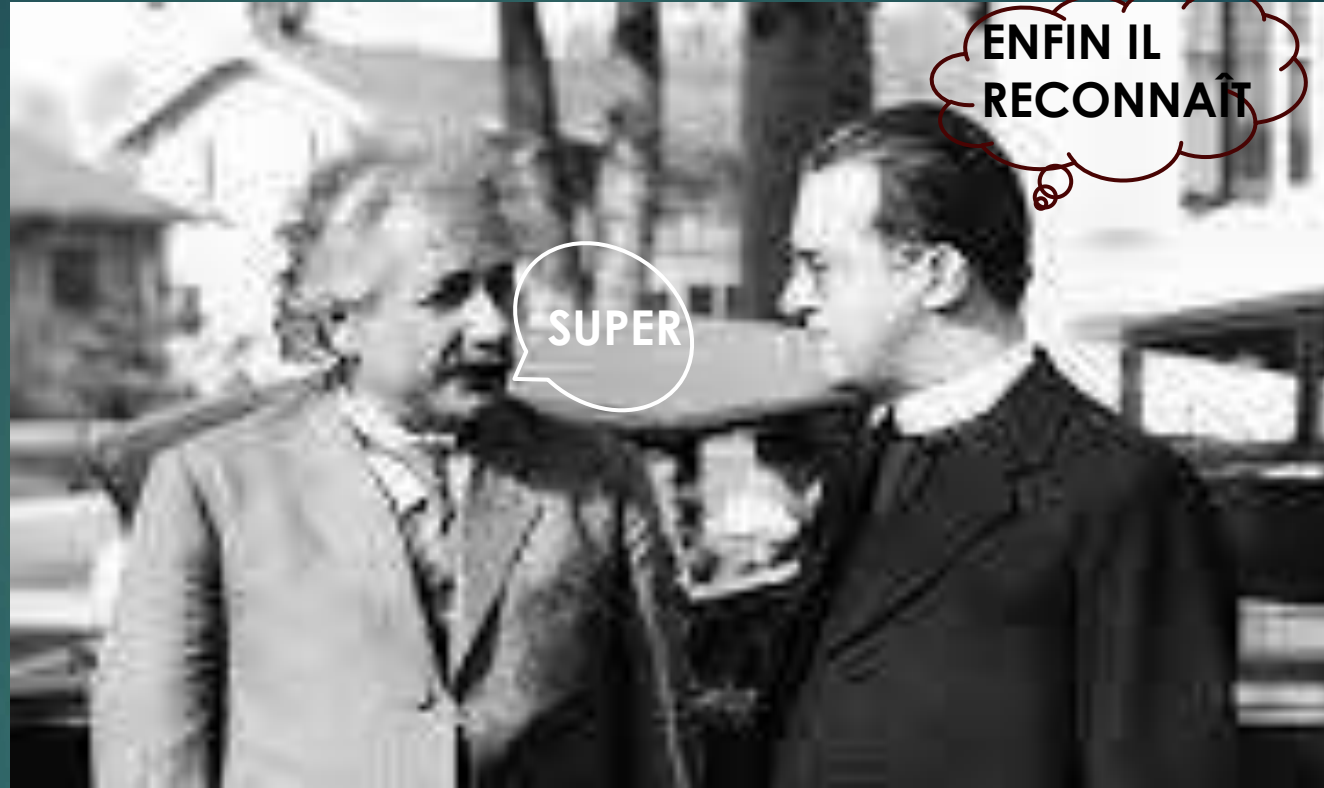


SIR FRED HOYLE

WAOUH!
UN
BIG BANG

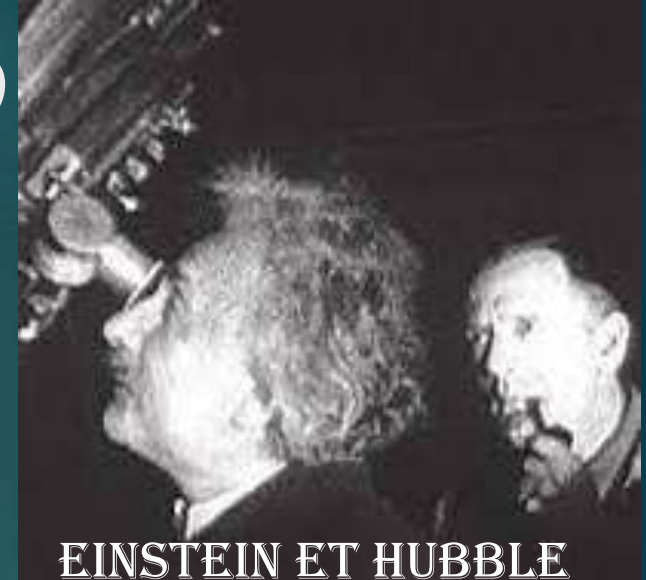
- ▶ Indépendamment de Friedmann, l'abbé Georges Lemaître, dans un premier article en 1927 complété par une synthèse en 1932, propose aussi un modèle dynamique (dit de l'atome primitif).
- ▶ Il sera qualifié ironiquement de Big Bang par F. Hoyle, un collègue de l'observatoire de Cambridge qui, avec 2 autres scientifiques (Gold & Bondi) défendait un univers stationnaire: L'univers est éternel...

Le modèle de Lemaître 1927-1932



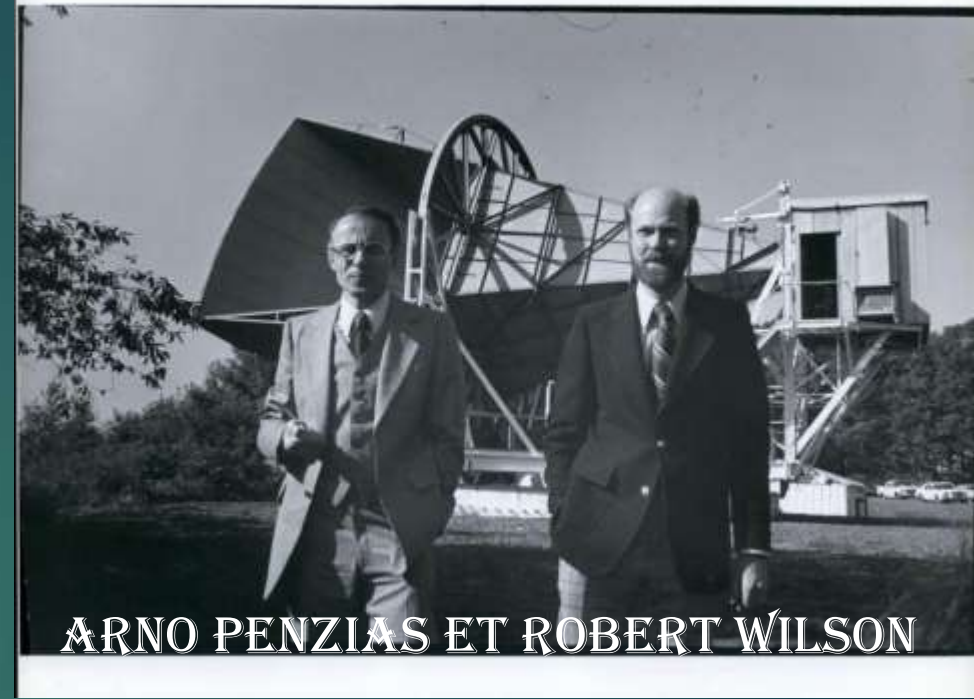
- ▶ Finalement, en 1933, suite aux observations de Hubble montrant une fuite des galaxies, Einstein se rallie au modèle de Lemaître en le qualifiant de « la plus belle explication de la cosmologie qui ait entendu! ».

L'évolution des modèles, à partir de 1929



- ▶ Avec les résultats de Hubble (très imprécis) on obtenait un âge de l'univers de 2 milliards d'années, incompatible avec l'âge qu'on prêtait à la Terre (4 milliards d'années, même si à cette époque cela n'était pas totalement établi). Lemaître ressuscite alors la constante cosmologique permettant d'allonger l'âge de l'univers.
- ▶ Mais, ultérieurement comme les mesures (beaucoup plus précises) donneront un âge de plus de 10 milliards d'années, la constante cosmologique n'était plus nécessaire et on l'oublia nouveau.

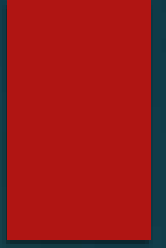
Le rayonnement fossile



ARNO PENZIAS ET ROBERT WILSON

- ▶ Une des conséquences de ce modèle dynamique est qu'au « début » l'univers avait du être rempli d'un rayonnement très chaud dont on devait trouver des traces.
- ▶ Les expériences pour le détecter allaient bon train quand 2 ingénieurs de la Bell qui avaient récupéré une antenne de télécommunications le découvrirent par hasard ce qui leur vaudra le prix Nobel.

Le rayonnement fossile



- ▶ Cela conforta un modèle dit « critique » (expansion nulle à l'infini) d'Einstein de Sitter qui prévalut jusqu'à la fin du 20^{ième} siècle.
- ▶ A noter qu'on avait besoin d'une matière noire de nature inconnue pour expliquer la dynamique, la matière « ordinaire » étant très insuffisante et d'une phase d'inflation cosmique pour expliquer la géométrie spatiale à courbure nulle du modèle.

L'univers en expansion accélérée (2000)



- ▶ Puis, coup de théâtre, des observations de la dynamique de l'univers en utilisant des supernovas lointaines mit par terre ce bel édifice!
- ▶ L'univers n'est pas critique mais en expansion accélérée sous l'effet d'une mystérieuse énergie « noire » dominante aujourd'hui et aussi toujours d'une quantité importante de matière noire, la matière connue (planètes, étoiles, galaxies, nuages de gaz, etc.) ne représentant au mieux que 5 % de ce qui régit la dynamique.

Did you
say Big
Bang ?



James Peebles Prix Nobel 2019, pour sa
contribution à la cosmologie moderne

- ▶ Le modèle standard de la cosmologie
 - ▶ Big Bang

Des propos qui ont surpris....

“La première chose à savoir sur ma discipline est que son nom, la théorie du Big Bang, n’est pas juste”, dit James Peebles, l’un des trois prix Nobel de physique 2019, devant un auditoire intrigué.

“Il connote un événement et un lieu, or les deux sont faux”, poursuit-il devant des amateurs de science venus écouter à la Maison de la Suède, à Washington, trois lauréats américains du Nobel. (Cité par Huffington Post)

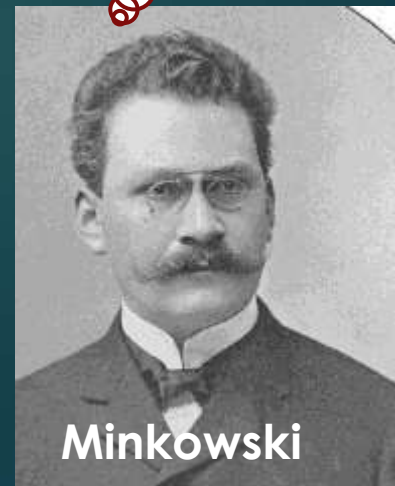
Des propos qui ont surpris!

James Peebles ne conteste pas les résultats du modèle standard, auxquels il a contribué, mais sa représentation à caractère anthropomorphique. L'univers est supposé avoir une naissance (le Big Bang est une création) quelque part, à un moment donné, une vie, une mort!

En effet, les concepts utilisés sont le temps et l'espace, avec lesquels, certes, nous sommes familiers, mais qui n'ont aucun caractère physique en relativité.

Zeit und
Raum
Kaputt!

Comme Minkowski l'avait déclaré dès 1907, seul l'espace-temps de la relativité a un caractère physique, la relativité ayant réduit le temps et l'espace à en être que des ombres!

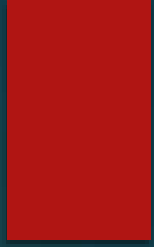


Minkowski

L'espace-temps: un concept difficile

- ▶ L'espace-temps n'a pas été créé à un moment en un lieu donné, il existe (ou non).
- ▶ En effet un espace-temps n'est pas créé dans un environnement de temps et d'espace, car il est plus que le temps et l'espace qui ne sont que ses ombres. Le temps et l'espace ne lui donc sont pas conférés par un environnement, ils sont des paramètres de l'espace-temps.
- ▶ Même s'il peut être limité, il n'a pas de frontières avec un « extérieur », ces limites sont une de ses propriétés internes.
- ▶ Tout cela qui peut paraître bien étrange est rigoureusement modélisé par les mathématiques, une activité humaine de type analytique au secours d'une autre activité humaine: la perception synthétique.

Les limites de notre pensée



- ▶ L'espace-temps n'est pas le seul concept que nous pose problème
- ▶ Une 4^{ième} dimension spatiale permettant de s'échapper d'une prison fermée sans fracturer les mur et portes nous parait inconcevable. Nous ne voyons pas où serait cette 4^{ième} dimension que les mathématiques décrivent bien. <https://bsmith156.github.io/Hypercube-Visualizer/>
- ▶ En supposant des êtres plats sur une surface (Flatland) si on dessine un cercle, cela définit un intérieur et un extérieur sur la surface et il est impossible d'aller de l'intérieur à l'extérieur sans couper le cercle.
- ▶ Avec une 3^{ième} dimension, la « hauteur », on peut sauter au dessus du cercle et passer de son intérieur à son extérieur sans le couper. C'est la même situation que précédemment mais avec une dimension de moins.



► L'univers a-t-il une histoire ou est –il
l'histoire?

L'univers a-t-il ou est-il l'histoire?

- ▶ L'équation d'Einstein définit l'univers comme un espace-temps. En langage newtonien cela signifie qu'il décrit l'univers dans toute son expansion spatiale et temporelle. Autrement dit il contient toute l'information.
- ▶ Pour ce qui concerne la gravitation, **il est donc l'histoire.**
- ▶ La relativité générale étant une théorie géométrique de la gravitation, cela est décrit par un objet géométrique qui n'a besoin de rien d'autre que lui-même pour définir totalement la phénoménologie afférente.

L'univers a-t-il ou est-il l'histoire?

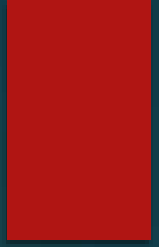
- ▶ Le problème qui se pose n'est donc pas celui de son émergence mais celui de son existence !
- ▶ Lorsque Leibnitz, se demande pourquoi il y a quelque chose plutôt que rien, la réponse est que s'il n'y avait rien, il n'y aurait personne pour se poser la question!
- ▶ Nous utiliserons le récit chronologique, (l'univers a une histoire), plus conforme à nos habitudes de pensée, en gardant à l'esprit qu'il résulte d'un feuilletage temps-espace particulier, et que si les phénomènes qu'il décrit ont un caractère physique, cette approche est arbitraire et peut conduire à une interprétation erronée de la dynamique de l'univers

Le schéma cosmologique usuel : Un récit chronologique

La phénoménologie d'un espace en expansion résulte de cette description particulière du modèle cosmologique et n'est que le point de vue d'observateurs parcourant des géodésiques divergentes orientées par leur temps propre, voyant les autres observateurs géodésiques s'éloigner.

Si elle simplifie les calculs, nous l'utiliserons, elle doit être prise pour ce qu'elle est : Une présentation parmi une infinité d'autres.

Le schéma cosmologique usuel : Un récit chronologique



Mais elle brouille une propriété essentielle de la description relativiste covariante:

L'équation d'Einstein définit l'existence d'un espace-temps, sans début, ni fin, qui n'a ni passé ni futur, et qui n'est pas en expansion.

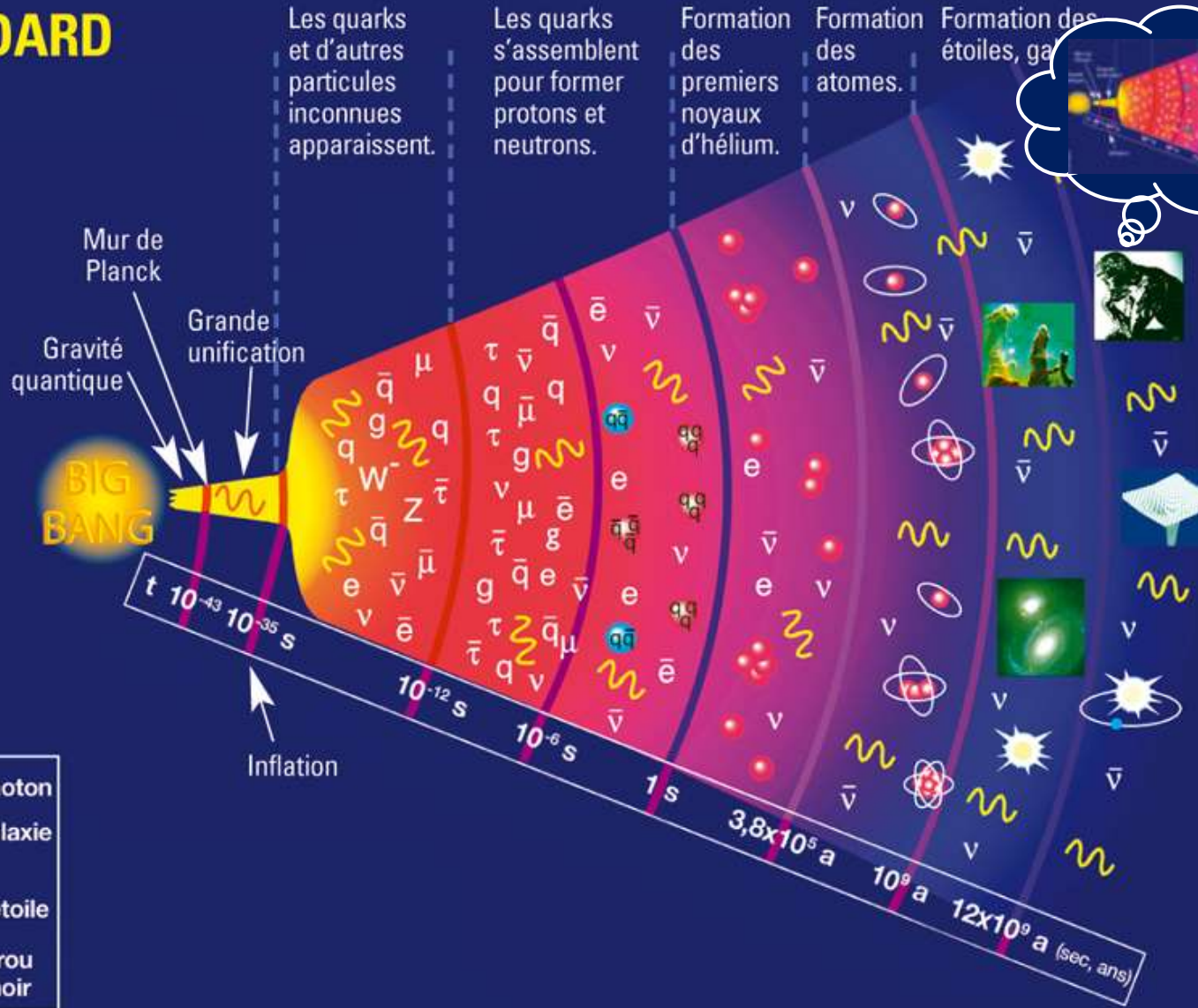
Passé, futur et expansion sont des propriétés internes liées à la structure de cet espace-temps.

Il ne faut pas confondre notre passé et notre futur avec celui de l'univers!

L'UNIVERS SELON LE MODÈLE STANDARD

Depuis le Big Bang, l'Univers primordial a franchi de nombreuses étapes durant lesquelles les particules puis les atomes et la lumière ont peu à peu émergé avant qu'étoiles et galaxies ne prennent corps. C'est cette histoire que raconte la théorie du « modèle standard » en vigueur aujourd'hui.

L'Univers devient transparent.



Légendes		W, Z bosons	photon
q quark	meson	galaxie	
g gluon	baryons	étoile	
e électron	ions	trou noir	
μ muon	atome		
τ tau			
ν neutrino			

Modèle standard de l'évolution de l'univers

Echelle dimensionnelle



Le modèle standard attribue 13,7 milliards d'année (en temps cosmologique) à notre univers .

Si on fait remonter l'histoire de l'humanité à 13 700 ans, dans l'histoire de l'univers nous sommes **des nouveaux nés** (dernier millionième).

Sur ces données, le ratio entre l'âge de l'univers et la durée moyenne de vie humaine (80 ans) serait d'environ de 170 millions.

Echelle dimensionnelle



Mais cette comparaison est inadéquate, car le temps cosmologique n'est pas notre temps propre.

Évalué en notre temps propre le Big Bang est à l'infini du passé car, entre les deux temps, le rapport donné par ce qu'on appelle « la dilatation temporelle », associée au décalage spectral vers le rouge, tend vers l'infini, vers le big Bang!

Autrement dit, même à supposer que nous disposions d'un instrument très puissant pour voir loin dans l'espace et notre passé, nous ne pourrions jamais voir ce « Big Bang » rejeté à l'infini de notre passé.

Gigantisme vs complexité

En espace, le ratio entre la taille de l'univers (40×10^9 al aujourd'hui, compte tenu de l'expansion, dans ce modèle de feuilletage) et celle d'un humain (1,7 m) est d'environ : $2,2 \cdot 10^{26}$ en linéaire, soit environ 10^{79} en volume, un chiffre gigantesque à comparer au nombre de particules estimées de l'univers 10^{79} !

A l'immensité matérielle (environ 10^{79} protons) de l'univers, le cerveau de l'humain, qui en fait partie, répond par une complexité combinatoire gigantesque immensément supérieure.

- 
- ▶ L'univers primordial
 - ▶ Des champs aux particules

Le Modèle cosmologique standard (Big-Bang).

L'univers du temps de Planck 10^{-43} s jusqu'à $t = 10^{-40}$ s

On suppose que l'univers était incroyablement chaud et très homogène. L'immense univers qu'on observe aujourd'hui était confiné dans un volume très petit, et où seuls existaient des champs (avec leurs caractéristiques propres) que la température effroyable masquait.

Cet univers est en expansion très rapide, (dans le modèle standard).

Le Modèle cosmologique standard

La grande unification se brise vers 10^{-40} s

La température est si élevée que toutes les interactions sont indiscernables.

Vers 10^{-40} s une brisure de symétrie va se produire permettant aux interactions de se différencier soit toutes simultanément (théorie supersymétrique: spéculative) soit d'abord la gravitation et l'ensemble des 3 autres qui se différencieront un peu plus tard par une autre brisure de symétrie (modèle standard de la QFT).

On suppose également que le champ de Higgs conférant une masse à certaines particules émerge de cette brisure vers cette époque.

Le Modèle cosmologique standard (Big-Bang).

L'inflation : vers 10^{-34} s

Très tôt dans l'histoire de l'univers, entre 10^{-34} s et 10^{-32} s, on suppose qu'une phase d'inflation (expansion exponentielle) très courte ($\approx 10^{-32}$ s) mais de durée égale à 100 fois l'âge de l'univers, (expansion exponentielle: e^{100}) s'est produite.

Elle va jouer un rôle important notamment en dilatant les fluctuations quantiques. Grâce à la matière noire, elles vont résister au lissage thermodynamique. Elles vont être les germes des grandes structures.

Cette inflation va également résoudre le problème de l'horizon et la courbure quasi nulle de l'espace.

Création de la matière

En se dilatant, comme un gaz, l'univers se « refroidit ». Autour du GeV (10^{13} °K) les particules et antiparticules peuvent commencer à se former.

Tant que l'énergie ambiante n'est pas trop inférieure à leur énergie de masse (1 GeV pour les nucléons) elles sont sensiblement à l'équilibre. Ensuite elles vont s'annihiler en générant des photons.

$t = 10^{-4}$ s, l'excès de matière, la domination écrasante des photons à l'œuvre

Malgré la symétrie des équations, l'imperfection, à l'œuvre, fait qu'il y a un léger excès de matière, ce qui demeure un mystère, non encore vraiment élucidé, même s'il y a des pistes.

L'annihilation massive matière-antimatière fait qu'il y a un milliard de photons par nucléon rescapé, tous contribuant à l'équilibre thermique!

Les protons et neutrons restants après annihilation avec les antiprotons et antineutrons seront stables vers $t = 0,0001$ s (la température ambiante est alors environ de 100 MeV).

$t = 10^{-4}$ s, l'excès de matière, la domination écrasante des photons à l'œuvre.

Mais l'équilibre entre protons et neutrons qui résultait des réactions symétriques à haute température ($p \leftrightarrow n$) va se briser car le neutron est handicapé par sa masse légèrement supérieure à celle du proton et à $t = 0,01$ s il ne reste plus que 9 neutrons pour 10 protons.

- 
- ▶ La nucléosynthèse primordiale
 - ▶ Les premiers noyaux atomiques

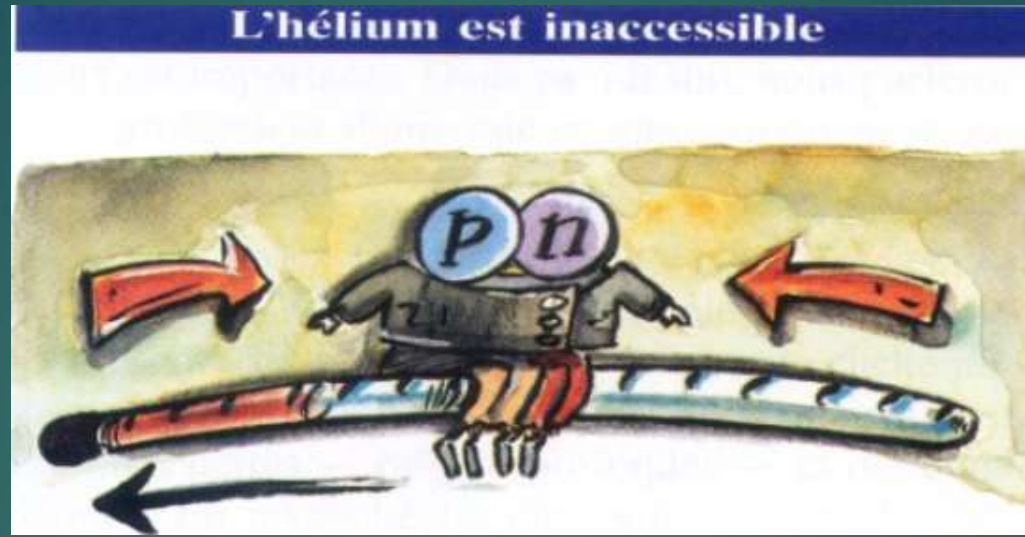
$t = 1 \text{ s}$, la nucléosynthèse primordiale

La température est d'environ 1 MeV soit dix milliards de degrés Kelvin (≈ 700 fois la température au centre du Soleil) soit de l'ordre de grandeur de l'énergie de liaison des nucléons dans le noyau.

Il ne reste plus qu'un seul neutron pour trois protons!

La seule façon de les sauver serait de s'incorporer avec des protons dans des noyaux stables.

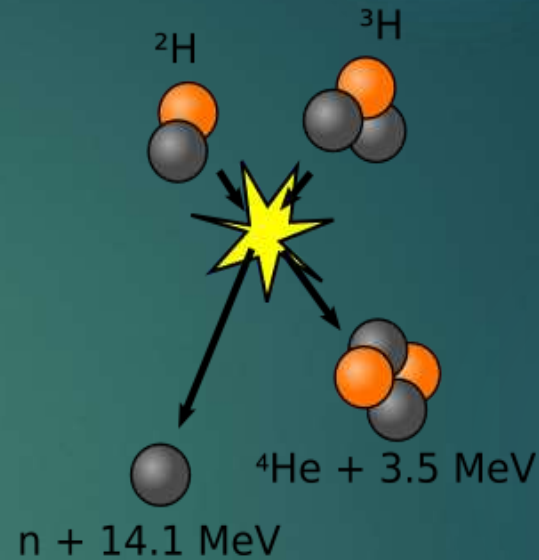
$t = 1$ s, la nucléosynthèse primordiale



Cela passe par le deutérium, la température est suffisamment basse pour le permettre, mais il a un noyau fragile, (chicane du deutérium).


L'expansion encore rapide de l'espace ne favorise pas cette réaction mais surtout, le bain de photons, à l'équilibre thermique selon la loi statistique du corps noir, en surnombre écrasant (1 milliard par nucléons) détruit systématiquement les noyaux formés.

t = 100 s, la nucléosynthèse devient efficace



La température est tombée à un milliard de degrés Kelvin (environ 70 fois la température du centre du Soleil): Le deutérium devient stable.

L'univers entier entre en fusion nucléaire et, en quelques dizaines de secondes, les neutrons survivants (1 neutron pour 7 protons) sont incorporés dans les noyaux de deutérium qui eux-mêmes fusionnent en hélium 4.



En moins de 100 s , la nucléosynthèse a sauvé les neutrons tout en préservant 90% d'hydrogène, du carburant pour la suite, juste ce qu'il fallait faire...

Il était temps, car déjà décimés par les réactions $p \leftrightarrow n$ qui le pénalisaient, le neutron libre est instable et se désintègre en proton avec une période de 15 mn environ. Cette fusion tardive fait que la température est trop basse pour générer des quantités significatives d'autres éléments elle va s'arrêter à $t = 200s$.

L'imperfection comme principe créateur

Sans l'indétermination de la mécanique quantique l'univers, trop symétrique, trop parfait aurait été stérile.

Sans la dissymétrie matière-antimatière, aucune matière ne serait restée, sans la valeur critique de cette dissymétrie (10^{-9}), la nucléosynthèse aurait été soit trop importante, soit inefficace et l'histoire se serait probablement arrêté là.

Ce principe, qui indique qu'un système ne peut pas être dans un état parfaitement déterminé (précision infinie), apparaît comme un principe fondateur et nécessaire de la physique qui a permis notre apparition !

Sans ce principe, l'univers n'aurait pas pu évoluer suffisamment longtemps pour permettre notre apparition...



► Les premiers atomes, l'univers devient transparent au rayonnement électromagnétique

t= 380 000 ans, découplage matière-rayonnement

Le plasma électrons-noyaux dans l'espace continue de se dilater en se refroidissant et lorsqu'il atteint environ 3000 K, les électrons vont pouvoir être associés de façon stable aux noyaux pour constituer des atomes « neutres »:

L'univers devient transparent à la lumière.

t= 380 000 ans, découplage matière-rayonnement

C'est cette « surface » de « dernière » diffusion (RFC) que les satellites comme Planck analysent car c'est le témoignage observable par le rayonnement le plus ancien de l'histoire de l'univers.

Remarquons que c'est en analysant les motifs des fluctuations de température (des empreintes laissées par les événements antérieurs et que la matière noire a permis de préserver) qu'on induit, dans le cadre du modèle théorique, cette histoire antérieure.

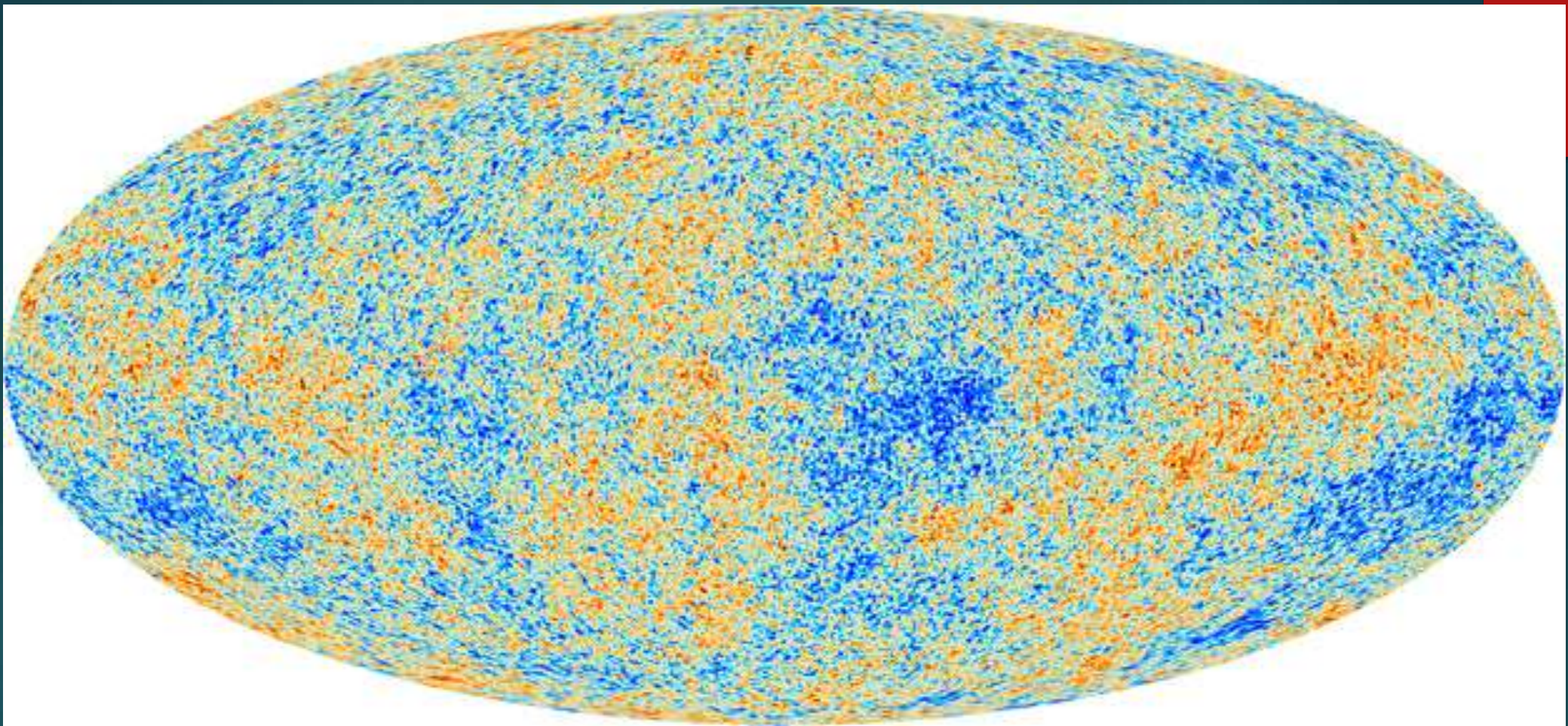


Image du RFC observée par le satellite Planck (température en fausses couleurs) L'information, les empreintes de l'histoire, est contenue dans l'image. On est exactement dans le schéma de la caverne de Platon: On voit l'ombre d'une supposée réalité physique!

► Les briques de base de la matière et la dynamique de l'univers à l'œuvre:

Standard Model of Elementary Particles

	three generations of matter (fermions)			interactions / force carriers (bosons)	
	I	II	III		
mass	$\approx 2.2 \text{ MeV}/c^2$	$\approx 1.28 \text{ GeV}/c^2$	$\approx 173.1 \text{ GeV}/c^2$	0	$\approx 124.97 \text{ GeV}/c^2$
charge	$\frac{2}{3}$	$\frac{2}{3}$	$\frac{2}{3}$	0	0
spin	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1	0
QUARKS	u up	c charm	t top	g gluon	H higgs
	d down	s strange	b bottom	γ photon	
	e electron	μ muon	τ tau	Z Z boson	
LEPTONS	ν_e electron neutrino	ν_μ muon neutrino	ν_τ tau neutrino	W W boson	

Ce tableau représente intégralement de quoi la matière est constituée (les fermions) et toutes les interactions (portées par les bosons) possibles entre elles.

Cela apparaît bien mince pour expliquer la complexité inouïe de l'univers et par conséquent la nôtre!

Pour être complet il faudrait ajouter l'antimatière, mais elle semble quasi inexistante dans l'univers.

Les quatre interactions connues

Gravitation: Compte tenu de son extrême faiblesse ne va régir l'univers qu'à grande échelle - Très grosses masses (galaxies, étoiles, planètes et leurs satellites, comètes, etc.): Régit les grandes structures.

Electromagnétisme : Interaction 10^{40} fois plus forte que la gravitation, Assure la cohésion des atomes, des molécules, des solides...

Interaction forte: S'exerce entre les quarks et assure, entre autres, la cohésion des protons et neutrons.

Interaction faible: Permet aux quarks de changer de saveur et ainsi transformer un neutron en proton et vice versa. Ceci modifie l'élément chimique qui dépend du nombre de protons. Viole la symétrie de parité..

L'importance critique des neutrons



Au niveau des éléments « chimiques », briques de la matière (92 éléments « stables » à différents degrés) cette diversité est permise par les neutrons qui assurent la cohésion du noyau.

Les protons qui sont chargés positivement se repoussent et la force nucléaire serait rapidement vaincue si les neutrons qui ne sont pas chargés ne venaient pas la renforcer.

L'importance critique des neutrons



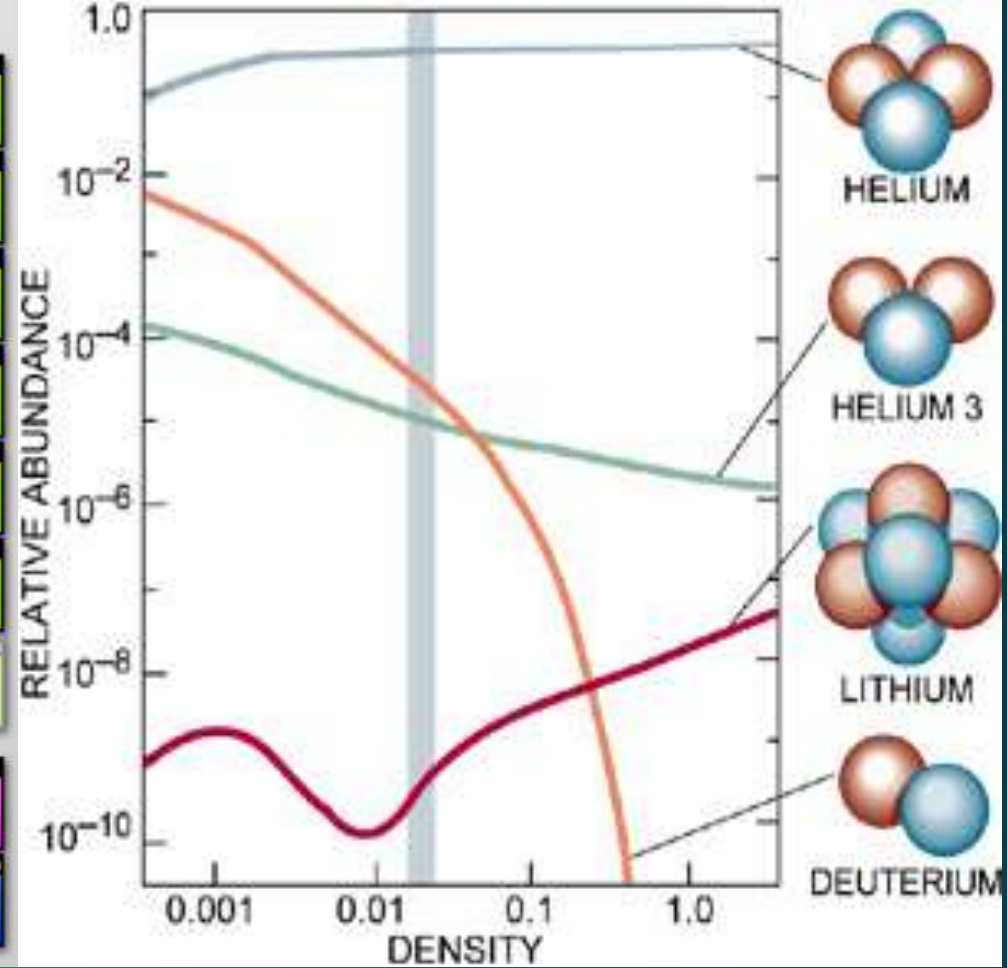
Sans neutrons le nombre d'éléments stables seraient très réduit et une chimie permettant la vie telle qu'on la connaît qu'on appellera désormais la vie, fondée principalement sur des éléments comme le carbone, l'oxygène, l'azote et l'hydrogène entre autres ne serait pas possible

tableau-periodique.fr

Légende:

- Non-métaux
- Métaux alcalins
- Métaux alcalino-terreux
- Métaux de transition
- Métaux pauvres
- Métalloïdes
- Halogènes
- Gaz nobles
- Lanthanides
- Actinides

PERIODE	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18		
1	Hydrogène 1 H																		Hélium 2 He	
2	Lithium 3 Li	Béryllium 4 Be											Bore 5 B	Carbone 6 C	Azote 7 N	Oxygène 8 O	Fluor 9 F	Néon 10 Ne		
3	Sodium 11 Na	Magnésium 12 Mg											Aluminium 13 Al	Silicium 14 Si	Phosphore 15 P	Soufre 16 S	Chlore 17 Cl	Argon 18 Ar		
4	Potassium 19 K	Calcium 20 Ca	Scandium 21 Sc	Titane 22 Ti	Vanadium 23 V	Chrome 24 Cr	Manganèse 25 Mn	Fer 26 Fe	Cobalt 27 Co	Nickel 28 Ni	Cuivre 29 Cu	Zinc 30 Zn	Gallium 31 Ga	Germanium 32 Ge	Arsenic 33 As	Sélénium 34 Se	Brome 35 Br	Krypton 36 Kr		
5	Rubidium 37 Rb	Strontium 38 Sr	Yttrium 39 Y	Zirconium 40 Zr	Niobium 41 Nb	Molybdène 42 Mo	Technétium 43 Tc	Ruthénium 44 Ru	Rhodium 45 Rh	Palladium 46 Pd	Argent 47 Ag	Cadmium 48 Cd	Indium 49 In	Étain 50 Sn	Antimoine 51 Sb	Tellure 52 Te	Iode 53 I	Xénon 54 Xe		
6	Césium 55 Cs	Baryum 56 Ba	Lanthanides		Hafnium 72 Hf	Tantale 73 Ta	Tungstène 74 W	Rhénium 75 Re	Osmium 76 Os	Iridium 77 Ir	Platine 78 Pt	Or 79 Au	Mercury 80 Hg	Thallium 81 Tl	Plomb 82 Pb	Bismuth 83 Bi	Polonium 84 Po	Astatoïde 85 At	Radon 86 Rn	
7	Francium 87 Fr	Radium 88 Ra	Actinides		Rutherfordium 104 Rf	Dubnium 105 Db	Seaborgium 106 Sg	Bohrium 107 Bh	Hassium 108 Hs	Méitnerium 109 Mt	Darmstadtium 110 Ds	Roentgenium 111 Rg	Copernicium 112 Cn	Uut 113	Uuq 114	Uup 115	Uuh 116	Uus 117	Uuo 118	
			Lanthanides																	
			Actinides																	



La nucléosynthèse primordiale (univers entier en fusion) n'a généré pratiquement que de l'hélium, (la composition de l'univers étant alors d'environ 90% d'hydrogène de 10% d'hélium) et de traces de deutérium et de lithium. Piètre résultat au vu du phénomène cosmique à l'œuvre.

Mais c'est heureux, car si elle avait été totale l'histoire s'arrêterait là! En effet, elle a préservé le « carburant » essentiel de la fusion (l'hydrogène) pour la suite des évènements et a sauvé les neutrons ce qui autorisera la chimie complexe et variée que nous connaissons.

La synthèse miraculeuse du carbone



Ce carbone synthétisé, entre autres, dans les supernovas, est un élément fondamental de la chimie du vivant.

L'abondance qu'on constate est considérablement plus grande que ce que la théorie prédisait. Il a bénéficié du fait qu'un état d'énergie du noyau de carbone est, de façon surprenante, en « résonance » avec les énergies des éléments à fusionner, sinon elle aurait été très peu efficace. Ceci n'a été validé mathématiquement que récemment par des supercalculateurs.

- 
- ▶ Ces mêmes acteurs de la dynamique de l'univers vont aussi permettre l'apparition de la vie

Le hasard créateur ?

- ▶ L'imperfection créatrice à l'œuvre, (nous avons indiqué que la perfection était stérile) semble impliquer que l'univers obéisse aux lois du hasard.
- ▶ En fait ce hasard est contraint par les quatre interactions fondamentales que nous avons citées qui jouent le rôle de « l'ADN » de l'univers. Tout n'est pas possible, ne peut exister et se produire que ce qui est compatible avec ces interactions.
- ▶ A noter que le contexte énergétique joue un rôle essentiel, en permettant à ces interactions d'exprimer avec plus ou moins de vigueur leurs caractères propres. Nous avons vu qu'une température infernale les masquait toutes.

Le hasard créateur ?



- ▶ Ainsi la diversité de la chimie du vivant nécessite un contexte dans une fenêtre à basse énergie pour manifester toute sa complexité.
- ▶ Les règles induites par les 4 interactions fondamentales semblent bien minces pour décrire toute cette complexité;
- ▶ Mais, de ces quelques lois il découle une combinatoire de possibilités considérable, en particulier par l'interaction électromagnétique, comme le montre l'extrême diversité d'association d'atomes en molécules permise par la structure en couches des électrons.

La gravitation à l'œuvre

La matière noire à l'œuvre

Comme nous l'avons indiqué l'interaction du rayonnement avec la matière ordinaire a pour effet de niveler les inhomogénéités.

Mais comme la matière noire ne se couple pas avec le rayonnement, elle a permis de préserver ces défauts rendant la constitution des grandes structures possibles. C'est ce qui s'est passé pour le plasma, constituant l'univers jusqu'au découplage, dont le satellite Planck montre l'état des inhomogénéités.

Le schéma de formation des galaxies

Ces grumeaux de matière (constitué essentiellement de gaz) vont s'effondrer par un mécanisme complexe puis à un niveau plus local ce gaz va donner des étoiles avec leurs cortèges de planètes.

Les étoiles finissent le travail

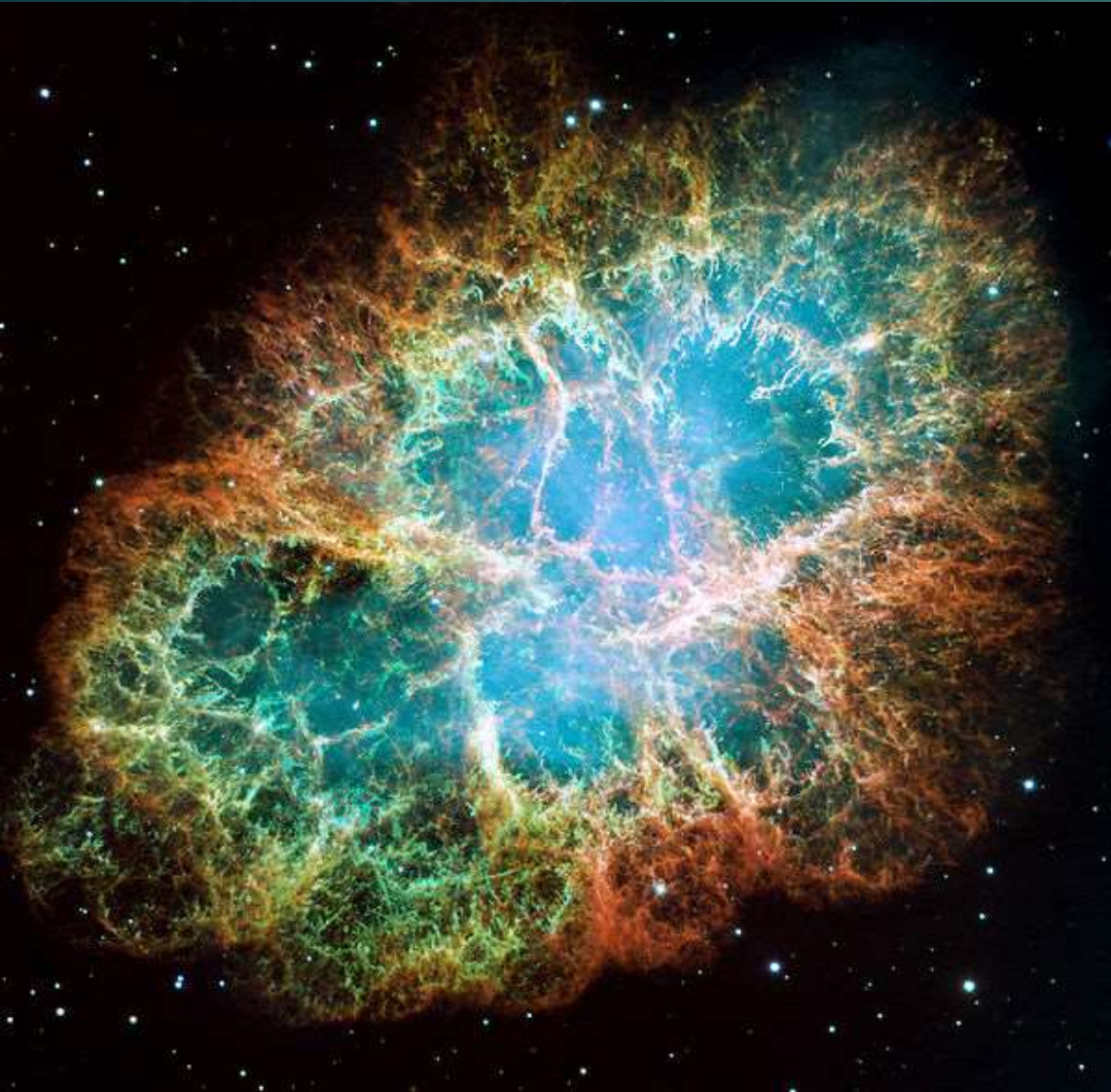
Ensuite les étoiles qui sont les usines à atomes vont produire d'autres éléments.

En particulier, les **supernovæ** qui, dans une fusion explosive, synthétisent de nombreux éléments, comme le carbone, l'oxygène l'azote etc... vont les disperser dans l'espace.

Ceci permettra à une autre génération d'étoiles, qui peuvent être **stables**, incorporant ces éléments, de générer des systèmes planétaires.

Le **Soleil** avec son cortège de planètes, de leurs satellites et d'une myriade d'autres corps, fait partie de ces étoiles de deuxième génération.

Explosion de supernova



La supernova SN1054, qui a explosé il y a 1000 ans environ, dont les « débris » s'étendent actuellement sur des centaines de milliards de km, ensemence le milieu d'éléments lourds synthétisés pendant la vie de l'étoile et pendant son explosion. Ces éléments lourds sont les constituants des planètes telluriques comme la Terre et sont nécessaires à la vie.

Explosion de la nova de 1572 (Tycho)

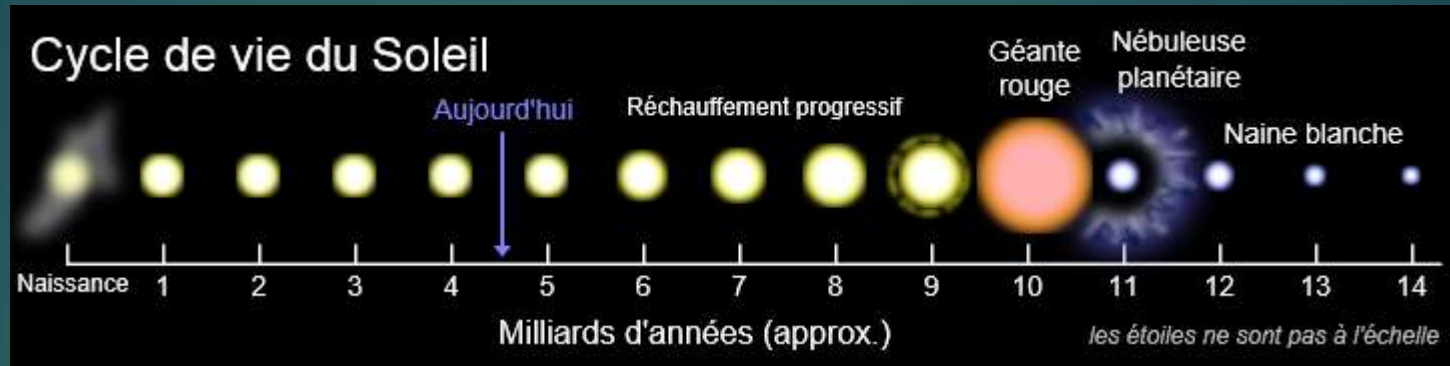


Ce type de phénomène (une nouvelle étoile visible à l'œil nu) a toujours suscité des réactions d'effroi dans les populations. Pour les scientifiques elles ont été une aubaine. L'absence de parallaxe et la position fixe par rapport aux étoiles fixes a mis fin au dogme de l'incorruptibilité des étoiles, ce qui a valu tout de même quelques désagréments majeurs à quelques adeptes de cette nouvelle interprétation jugée hérétique.



► Formation et évolution du système solaire

Naissance et vie du Soleil



Il y a quatre milliards et demi d'années une étoile a explosé au voisinage (au sens cosmologique : $d < \text{qq al}$) de la région où le Soleil (notre étoile) allait se former.

Elle aensemencé cette région en éléments chimiques variés (qu'on va retrouver dans le soleil et les planètes) et l'onde de choc de l'explosion va provoquer un effondrement (sur des centaines de millions d'années) du gaz conduisant à la formation du système solaire.

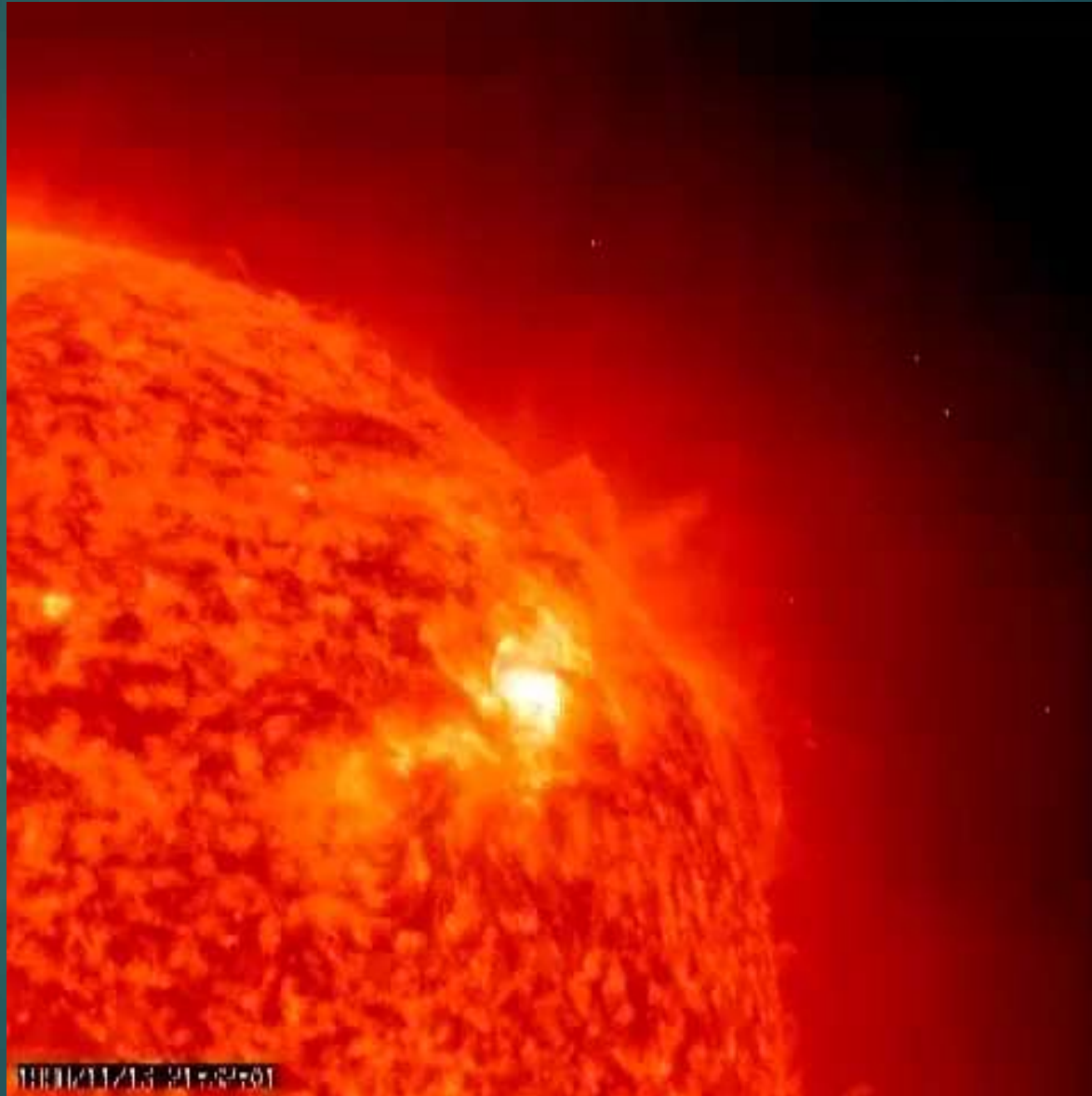
Le Soleil

Le résultat de cet effondrement est une étoile de masse telle que les réactions nucléaires ont du mal à se produire (le cœur est à 15 millions de degrés Kelvin bien loin du milliard de degrés de la nucléosynthèse primordiale). L'effet tunnel joue un rôle important (pic de Gamow).

Chaque kilogramme de Soleil produit moins de 1 mW, mille fois moins que notre corps!

Ce rendement poussif est une aubaine, car brûlant mal il brûle longtemps et satisfait à une des exigences pour l'apparition de la vie, processus qui demande du temps.

Le Soleil, un ami qui ne nous veut pas que du bien



Le système solaire primordial



D'un côté le nuage d'hydrogène s'effondre en tourbillonnant, par un processus complexe, et pour cela il doit se débarrasser de son moment angulaire, d'où les proto-planètes, jusqu'à s'échauffer pour allumer les réactions de fusion.

C'est un scénario cataclysmique où les plus gros corps encore brûlants, subissent des bombardements incessants de météorites de toutes tailles déchirant la croûte provoquant l'apparition de volcans.

Le système solaire primordial





▶ Formation et évolution de la Terre

Le système solaire primordial

C'est l'enfer. Cela ne va se calmer qu'au bout de quelques centaines de millions d'années. Mais la température élevée du centre de la Terre (plusieurs milliers de degrés) est la relique de cette formation dont le refroidissement est ralenti par la radioactivité naturelle (10^{13}W), à comparer au 3.10^{17}W solaire. Mais dans ces conditions inutile de dire qu'aucune vie ne peut se développer.

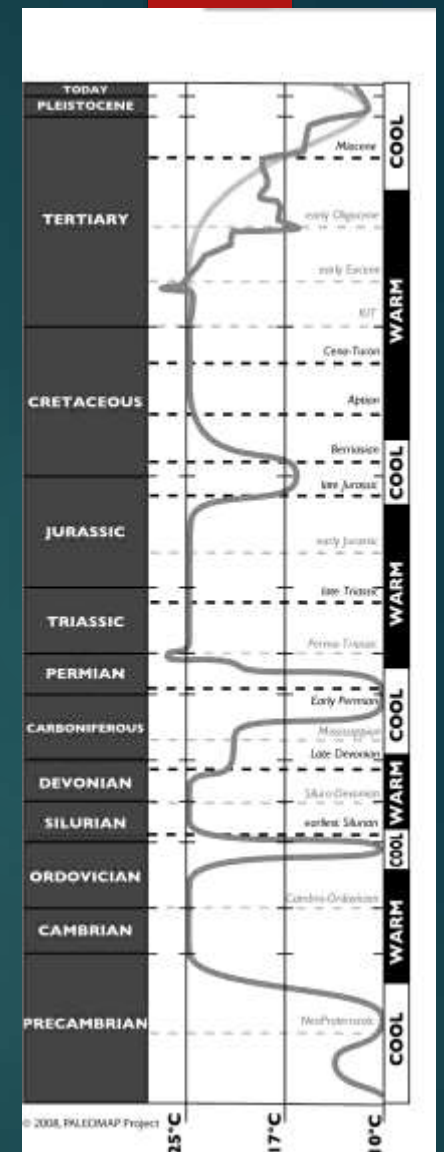
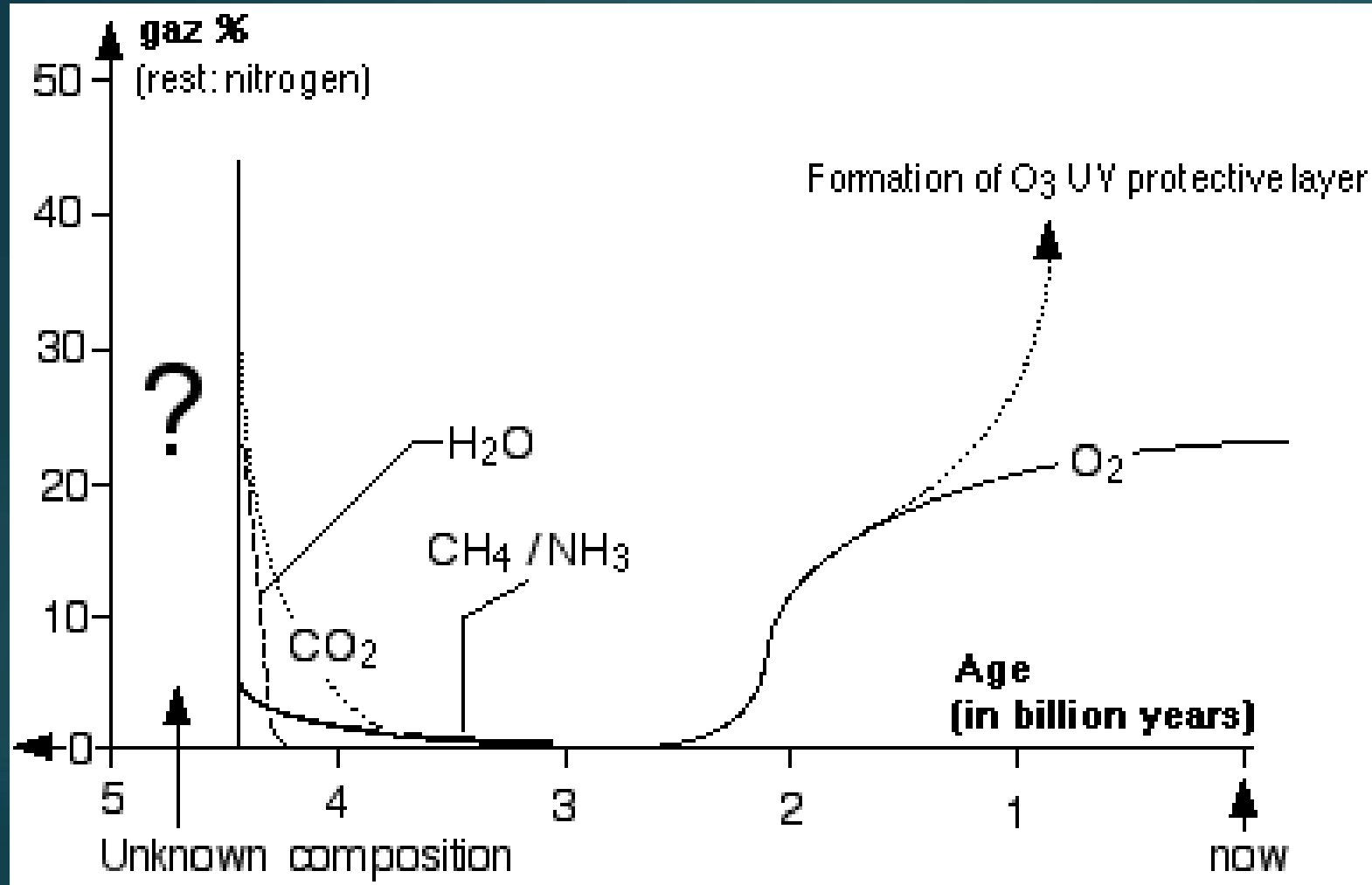


L'atmosphère

Une planète de la taille de la Terre peut retenir durablement une atmosphère de gaz pas trop légers. Si elle va perdre rapidement son hydrogène (abondant) et sans doute aussi l'hélium plus rare, la Terre peut retenir durablement les molécules de gaz tels que l'azote N^2 (d'origine volcanique), ce que Mars, plus petit, ne peut pas faire.

Il n'y a pas d'oxygène libre (gazeux O^2) à cette époque, les premières formes de vie vont être anaérobiques.

Atmosphère et température



L'effet de serre de l'atmosphère, élève de 35°C la température à la surface de la Terre (15°C au lieu de -20°C). Notons l'évènement majeur de « grande oxygénation », il y a environ 2 milliards d'années.

Le problème de l'eau liquide

Lorsque le bombardement météorique s'est calmé la température peut se stabiliser. L'eau liquide est indispensable au développement de la vie telle qu'on la connaît. En fait la molécule d'eau est relativement assez abondante dans l'univers (Les comètes faites de glace en attestent).

Différentes hypothèses existent sur la formation des océans :

Certains pensent que c'est la pluie consécutive aux orages très violents qui en est la cause, d'autres préfèrent l'attribuer au passage proche de la queue d'une comète. Cette dernière hypothèse qui avait le vent en poupe est remise en cause. On pense que la Terre incorporait déjà une grande quantité d'eau dans ses roches.

Le problème de l'eau liquide



- 
- ▶ Conditions pour l'apparition et le développement de la vie (telle que nous la connaissons)

Cela suffit-il pour la vie?

Il faut des conditions supplémentaires très contraignantes.

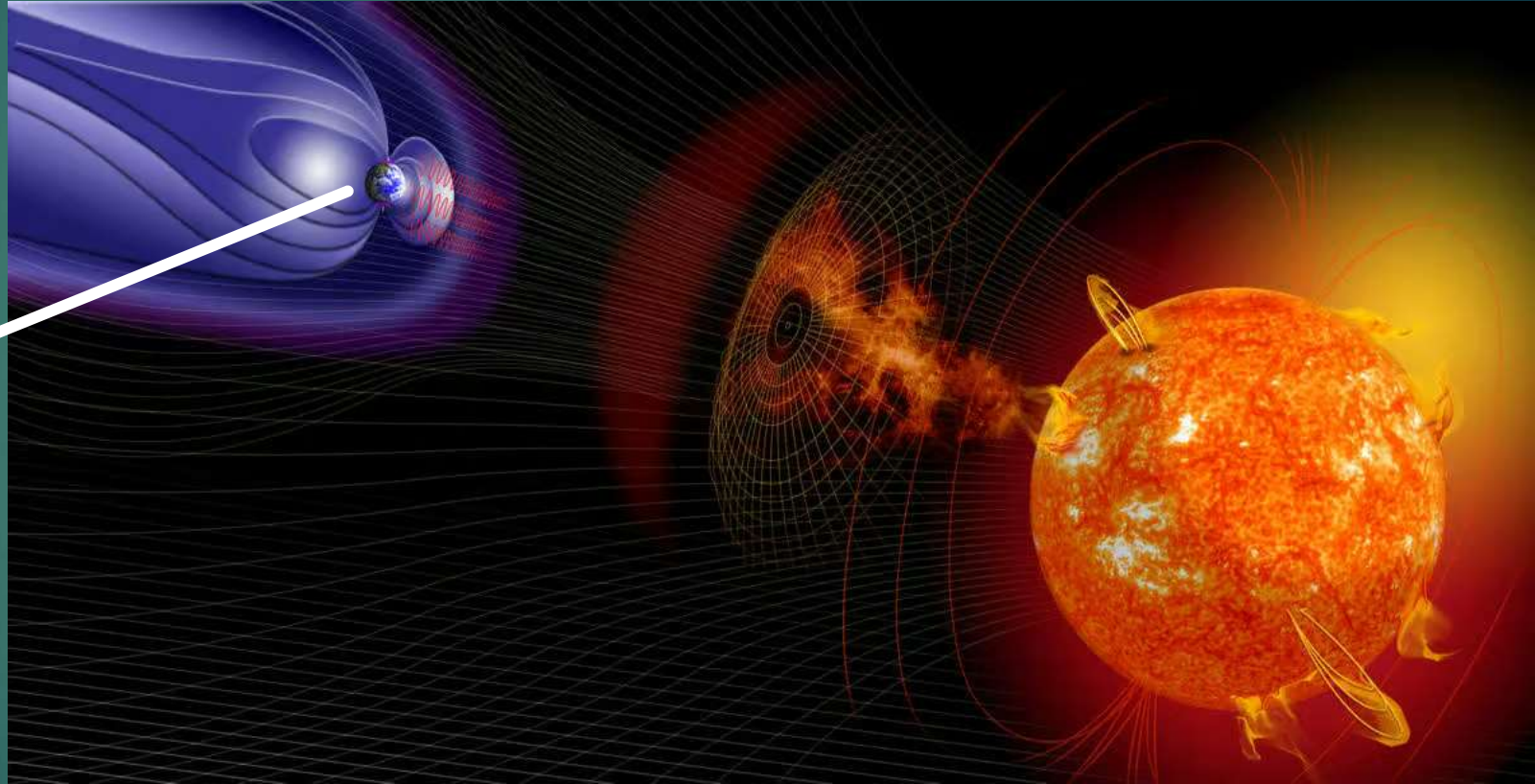
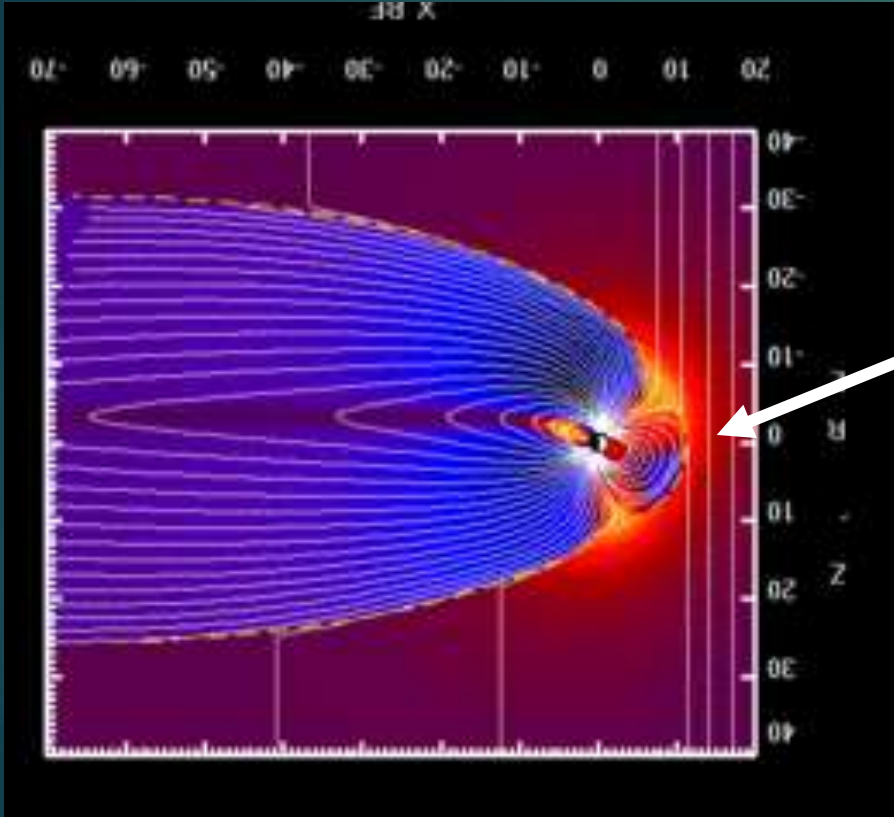
Une planète dont la température présente des régions dans une fenêtre étroite autour de 15°C pour que les réactions chimiques du vivant soient optimales, autrement dit, en général une étoile proche stable qui la baigne dans son rayonnement, pas d'étoiles instables à « proximité ».

De l'eau à l'état liquide.


Une atmosphère gazeuse appropriée pour les réactions chimiques avec les êtres vivants, qui protège (O³) des rayonnements nocifs et des météorites de petites tailles et aussi des résidus de vents solaires nocifs.

► Un bouclier magnétique pour dévier les particules chargées nocives avec l'atmosphère en deuxième rideau de défense (aurores boréales).

Effet du vent solaire sur le bouclier magnétique de la Terre





- 
- ▶ Et que tout cela soit relativement stable, car le processus de l'évolution vers des êtres complexes a pris des milliards d'année sur Terre, mais avec des catastrophes (exemple extinction des dinosaures) de temps en temps pour sortir « d'états stables » pas nécessairement optimum. Peut-être que quelque chose de semblable pourrait nous arriver....
 - ▶ Des mutations et un mécanisme de « sélection-évolution » naturelle.
 - ▶ Autrement dit un monde non figé où ce sont les erreurs qui conduisent et permettent l'évolution.



▶ Emergence et évolution de la vie

Molécules organiques dans le milieu interstellaire

D'où viennent les molécules organiques? Les observations du milieu interstellaire montrent une diversité et une richesse moléculaire importante. Plus de 180 molécules ont été détectées dans le milieu interstellaire, dans les enveloppes stellaires et pré-stellaires et dans les comètes.

Ces molécules sont pour la plupart de type organique (contiennent l'élément carbone) et une soixantaine d'entre elles sont considérées comme complexes (contiennent au moins 6 atomes).

Cf: <https://www.techno-science.net/actualite/molecules-organiques-zones-froides-interstellaire-N13933.html>

Les conditions d'émergence de la vie

- ▶ La gravitation permet la création d'un contexte assurant un hébergement (les planètes) et, en coopération avec les autres interactions, de l'énergie: Dans les étoiles la stabilité est assurée par l'équilibre entre gravitation et pression thermique des réactions nucléaires.
- ▶ Les interactions, forte, faible permettent la constitution et l'évolution des quelques dizaines de noyaux stables des atomes qui vont être les briques du vivant.
- ▶ L'électromagnétisme intervient dans la constitution de molécules complexes via les couches d'électrons.

L'émergence mystérieuse de la vie



- ▶ La possibilité n'implique pas la réalisation, mais rappelons qu'une théorie est une auberge espagnole, on y trouve ce qu'on y a mis.
- ▶ Comme on ne fait pas partie explicitement des hypothèses, il peut paraître étonnant que la possibilité de notre émergence puisse exister.
- ▶ Mais, à l'instar d'une représentation théâtrale où si l'auteur n'est pas physiquement présent sur scène il l'est dans l'histoire, une théorie étant une construction humaine, notre existence est bien, implicitement, dans les hypothèses.
- ▶ La théorie résultante, par cohérence et construction, contient notre existence. Mais cela n'introduit-il pas un biais logique?

Serions nous des esclaves de l'ADN?



- ▶ Dans "Sapiens", Y. Harari suppose que le vrai gagnant de l'évolution du Sapiens n'est pas l'individu mais son ADN (l'espèce). Nous ne serions qu'un simple support de sa reproduction!
- ▶ Coup dur pour notre ego!
- ▶ Notre caractère de mortel serait justifié par une meilleure efficacité de la reproduction de l'ADN avec le cycle de base : Naissance-croissance-reproduction et mort lorsque la reproduction n'est plus active.

Les limites de la pensée scientifique



- ▶ L'existence de singularités en relativité générale et l'indétermination quantique marquent les limites de ces théories.
- ▶ Ces théories ne sont ni parfaites ni définitives, mais on peut se demander si ces limites sont structurelles ou simplement liées à des défauts de ces théories.
- ▶ Si on peut espérer faire reculer ces limites par de nouvelles théories, peut-on vraiment les supprimer?

Les limites de la pensée scientifique



- ▶ En cosmologie, où cette particularité est exacerbée puisque nous faisons partie de l'univers.
- ▶ Nous avons souligné l'empreinte implicite de l'esprit du physicien, dont la nature et les limites contraignent la théorie.
- ▶ Mais son esprit en fait un objet extérieur, ceci en contradiction avec les vérifications qu'il en fait qui sont réalisées de l'intérieur!

Les limites de la pensée scientifique

- ▶ De même qu'en relativité l'espace le temps et le mouvement ont été remplacés par l'espace-temps qui n'en est pas une synthèse mais un nouvel élément dont, le temps l'espace et le mouvement ne sont que des ombres, ne faudrait-il pas créer une nouvelle entité, sur la base d'une covariance généralisée, qui sur ce modèle intégrerait l'espace, le temps, le mouvement et l'esprit du physicien comme ombres?

Les limites de la pensée scientifique



- ▶ L'information d'un système physique, incluant les humains en interaction avec lui, en serait la variable fondamentale.
- ▶ Une mesure est un transfert d'information d'une partie du système vers une autre partie.
- ▶ L'exemple de la mécanique quantique, montre que la possibilité d'une mesure modifie la nature d'une expérience.

Les limites de la pensée scientifique



- ▶ Dans l'expérience des fentes de Young, la **possibilité** de détection du passage d'un photon par une fente modifie la phénoménologie (pas de franges d'interférence), même si le détecteur ne détecte rien (contrafactuel).
- ▶ Mais on a acquis une information (le photon est passé par l'autre fente) contrairement au cas sans détecteur!

Les limites de la pensée scientifique

- ▶ Dans l'expérience EPR, 2 photons intriqués A et B se séparant vont avoir des polarisations opposées, (probabilité de 50% pour chacun). Mais on ne sait pas laquelle.
- ▶ La mesure de A fixe la polarisation de B. On suppose que l'état de A, est transmis instantanément à B (distant).
- ▶ Mais la phénoménologie est identique, si on suppose que l'état de A était déterminé, mais inconnu, sa connaissance révèle celle de B!

Principe anthropique



- ▶ Ce principe qu'il faudrait plutôt appeler argument anthropique se décline en deux versions:
- ▶ Principe anthropique faible: Il stipule que puisque nous sommes là pour en parler, il ne faut pas s'étonner que l'univers ait toutes les caractéristiques requises pour permettre notre existence.
- ▶ Principe anthropique fort: Il stipule une finalité. Indépendamment de toute réponse religieuse qui a ses propres récits, l'univers devait nécessairement produire des êtres comme nous. Cela peut être vu comme une réponse à une frustration de se sentir comme un enfant non désiré mais cela reste un sujet de réflexion, plutôt à caractère philosophique, ouvert.



▶ L'avenir commence au présent...

La préservation de la vie




Quel destin pour l'humanité?



- ▶ Nous avons montré comment, et à travers quel scénario invraisemblable, l'univers a pu accoucher de l'humanité.
- ▶ Sommes-nous un cas exceptionnel voire unique ou, simplement, le croyons nous, du fait de notre isolement lié aux distances considérables qui séparent les étoiles et les galaxies?
- ▶ Quoi qu'il en soit, notre destin est, au moins partiellement, entre nos mains.
- ▶ Pour prendre conscience de la valeur de ce que l'univers nous a apporté, rien de tel que prendre un peu de recul.

La Terre, notre vaisseau spatial dans un espace hostile



- 
- ▶ Les missions spatiales habitées nous ont montré que l'espace était un milieu très inhospitalier du fait qu'il ne contient pas les éléments indispensables à notre vie et qu'il faut les emporter.
 - ▶ Il est de plus hostile, car on y est exposé aux météorites et à des rayonnements nocifs d'une violence inouïe.
 - ▶ La Terre avec toutes les ressources et protections qu'elle nous offre (qui ont permis le développement de vie) fonçant à 1 million de km/h dans l'univers est notre vaisseau spatial, sachons le maintenir en état.

Epilogue

- ▶ Nous avons décrit le cheminement tortueux qui a mené jusqu'à nous. Si le récit chronologique nous a permis de décrire la phénoménologie afférente, c'est dans une vision anthropomorphique.
- ▶ L'approche covariante, où la modélisation de l'univers fait appel à un espace-temps, qui n'a besoin de rien d'autre que lui-même pour exister, nous montre que le seul problème à se poser est celui de **son existence en fait, plutôt de la nôtre**, si on suit les existentialistes, qui comme J.P Sartre, considèrent notre existence préalable, à toute chose.
- ▶ Si nos habitudes de pensée ne sont pas familières avec cette approche, la relativité générale, par exemple, en propose un modèle.

Epilogue

- ▶ Par ailleurs, les singularités, incontournables en relativité générale, Hawking a démontré des théorèmes à ce sujet, marquent les limites asymptotiques de la physique. L'indétermination quantique, la contra-factualité et le paradoxe EPR défient l'entendement.
- ▶ Nous-mêmes, en supposant que nous soyons seuls, abandonnés dans un lieu immuable, entre le moment où nous prendrions conscience de notre existence et celle où nous la perdrons, aurions nous élaboré le concept d'un avant notre vie et d'un après ? Nous aurions conscience de notre existence au présent, d'un passé et futur pendant notre existence, mais extrapolerions nous au-delà ?

Epilogue

- ▶ Une issue se trouve peut-être dans un changement de notre mode de pensée, car si nous le tenons pour « raisonnable » il n'est pourtant qu'une sorte d'habitude façonnée par notre expérience.
- ▶ Quand on considère les renoncements qu'il a fallu infliger à notre esprit pour décrire la relativité qui a anéanti nos concepts de temps et d'espace que l'on pensait universels et liés à la nature même de notre esprit et les renoncements encore pires liés à la mécanique quantique où c'est, en plus, le déterminisme qu'il a fallu abandonner, nous voyons que nous ne sommes pas à l'abri d'un nouveau bouleversement de ce type.

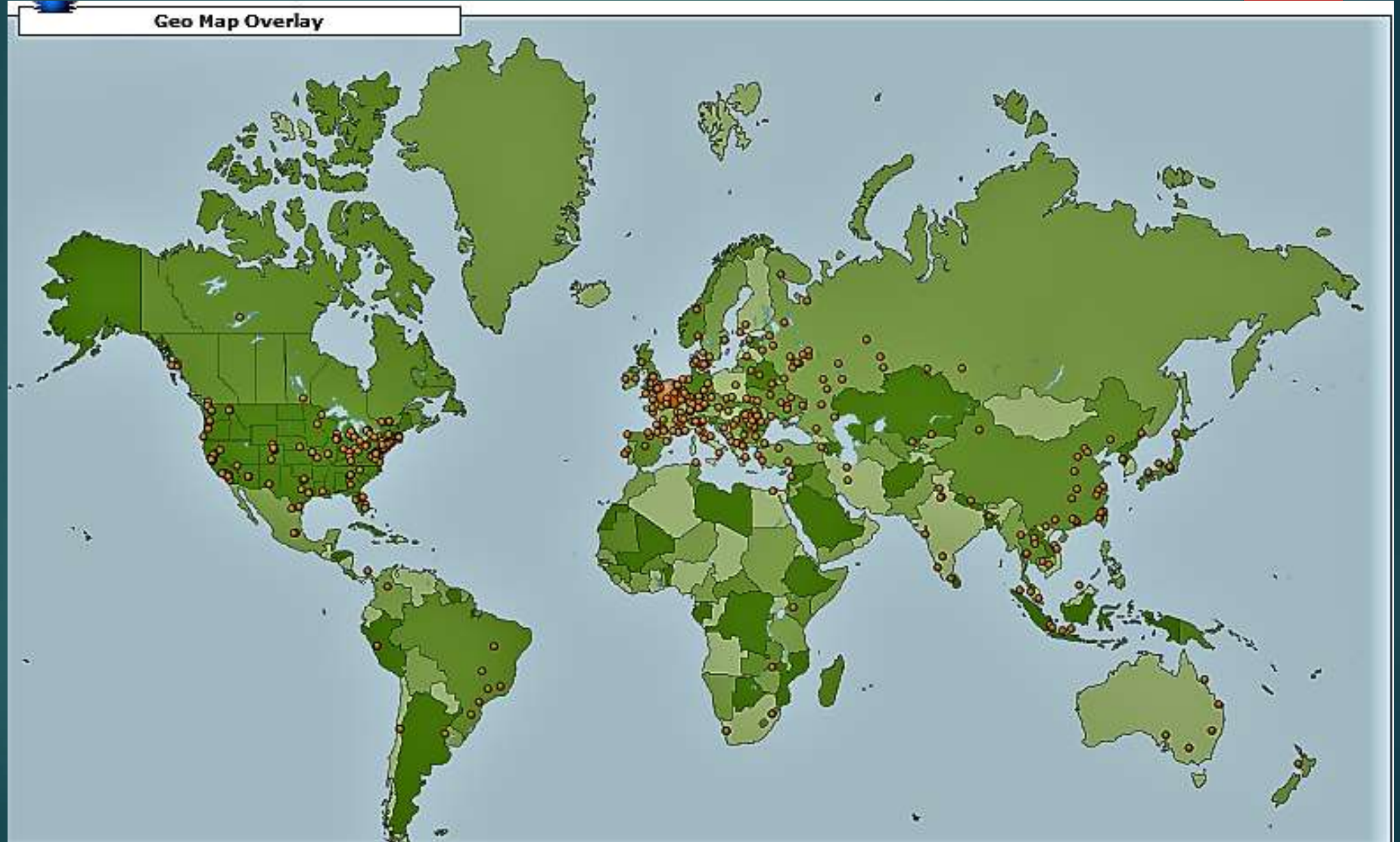
Réflexion complémentaire sur le big bang



<https://www.lestroiscolonnes.com/auteur/jacques-fric/vous-avez-dit-big-bang/>

<https://vous-avez-dit-bigbang.fr/>

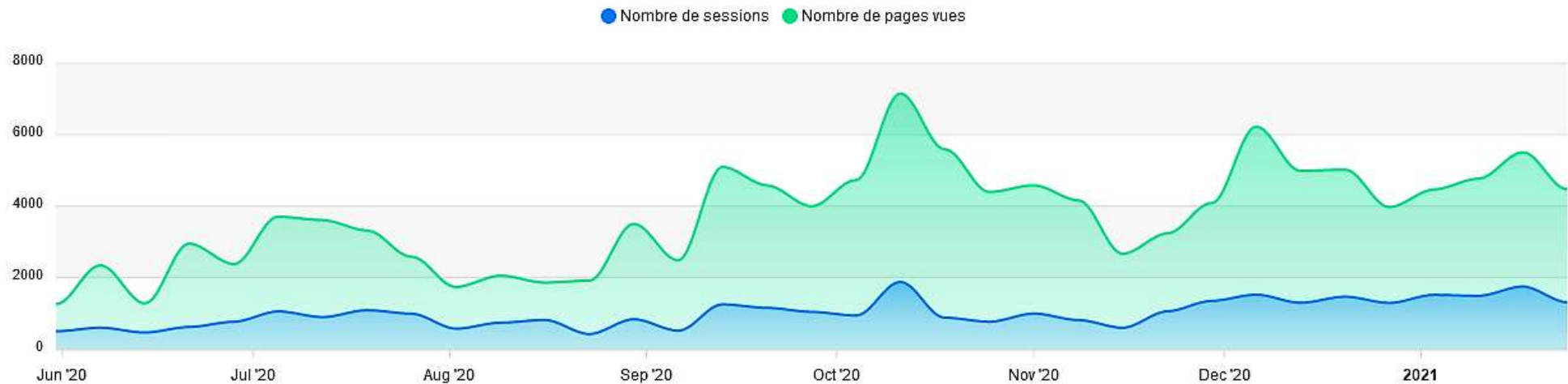
Points de visites du site



Historique de consultation du site

Sélection de la période
1 juin 2020 - 31 janv. 2021

Evolution du trafic



130 518

Pages vues et en erreur



34 869

Nombre de sessions



1min 3sec

Temps moyen d'une session