

Cosmologie

# L'Histoire de l'Univers

Club Astro-Amateurs



SAINT SAUVEUR

# Sommaire

- Chapitre I : La période primordiale
- Chapitre II : La période stellifère
- Chapitre III : Le destin de l'Univers
  
- Chapitre IV : Un peu de cosmologie théorique.

# Quelques notions de physiques ...

## Les Interactions élémentaires

- Interaction nucléaire forte
  - La plus puissante
  - Rayon d'action très petit
  - Domaine de l'infiniment petit : permet la cohésion de la matière dans le noyau de l'atome.
- Interaction électromagnétique
  - Rayon d'action illimité
  - Attractive ou répulsive
  - Permet la cohésion de la matière : maintient les atomes entre eux
  - Electricité, Magnétisme ...
- Interaction nucléaire faible
  - Rayon d'action court
  - Joue un rôle dans la radioactivité et la fusion nucléaire
- Gravitation
  - La plus faible
  - Rayon d'action illimité
  - Domaine des grandes structures de l'Univers

# Quelques notions de physiques ...

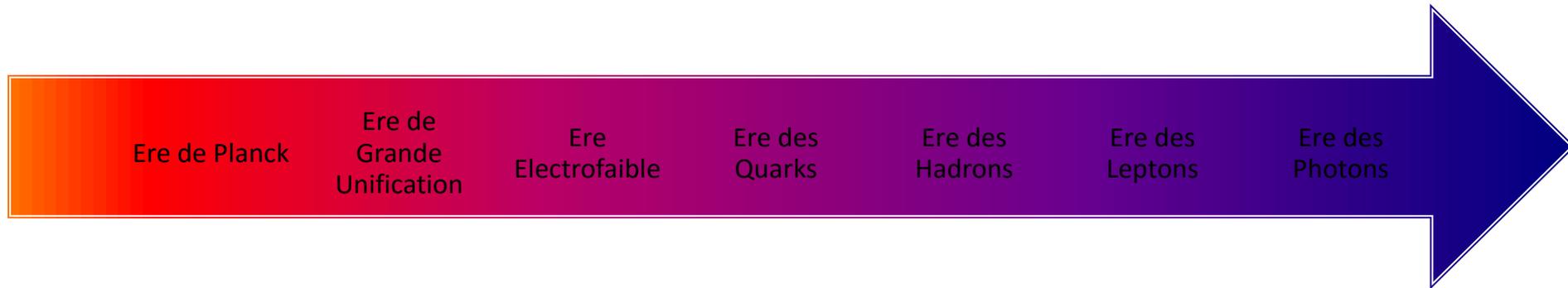
## Les Particules élémentaires

Fermion	Lepton		Quark		
I (stable)		Electron	Neutrino	Down	Up
II		Muon	Neutrino	Strange	Charm
III		Tauon	Neutrino	Bottom	Top

**Chaque fermion a son antiparticule associée.**

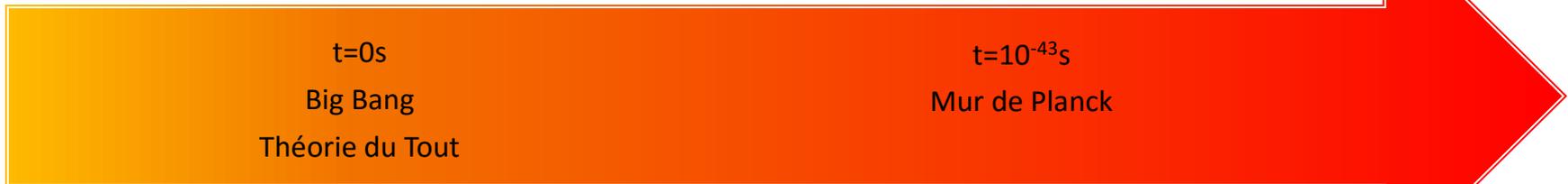
Boson	Photon (électromagnétisme)	Boson vecteur (interaction faible)	Gluon (intégration forte)	Graviton ? (gravitation ?)	Boson de Higgs ? (masse ?)
-------	-------------------------------	---------------------------------------	------------------------------	-------------------------------	-------------------------------

# Chapitre I : La période primordiale



# Chapitre I : La période primordiale

## Ere de Planck



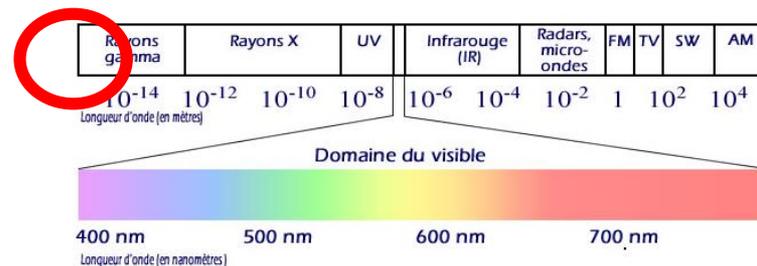
- L'Univers « *émerge* » d'une singularité gravitationnelle. Il n'y a « *rien* » avant l'instant t=0s.

- Période très méconnue

- Caractéristiques :

- Température :  $T > 10^{32}$  K

- Densité :  $D > 10^{96}$  x la densité de l'eau



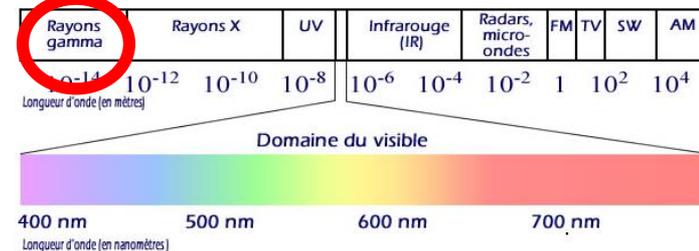
# Chapitre I : La période primordiale

## Ere de Grande Unification

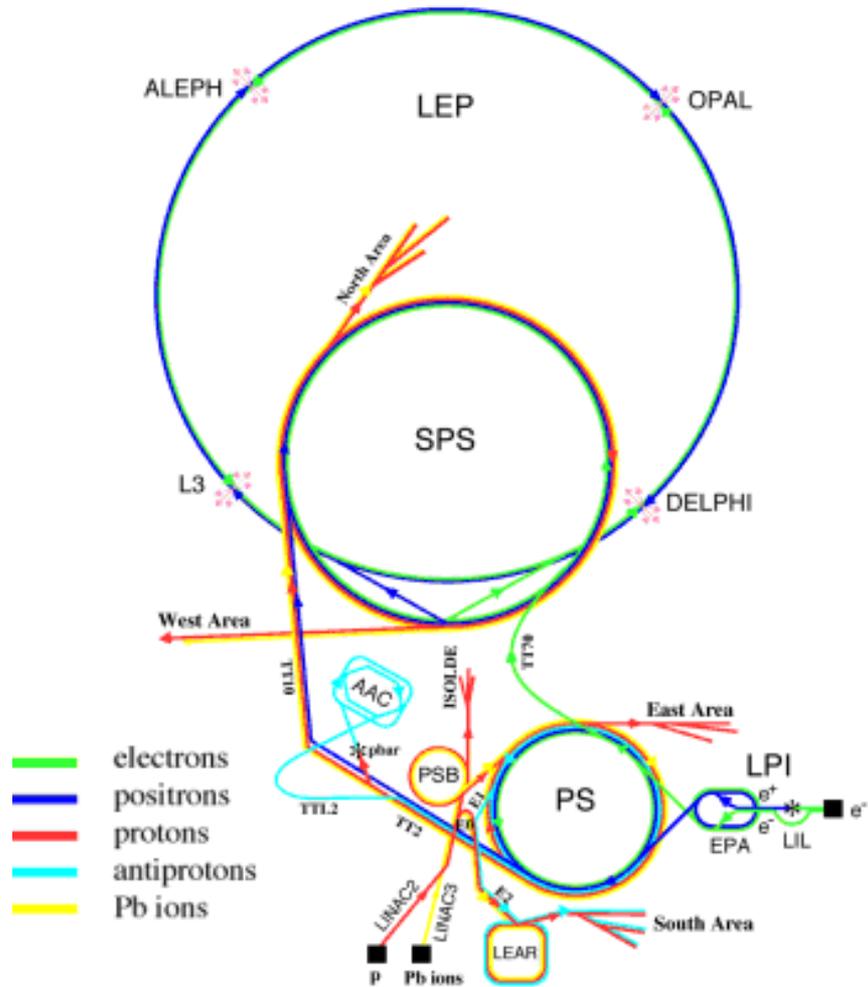
$$t=10^{-35}\text{s}$$

Théorie de Grande Unification

- 2 forces en jeu : gravitation et force électrofaible.
- Composition de l'Univers : Plasma de particules élémentaires (recréé au SPS au CERN)
- Caractéristiques :
  - Température :  $T = 10^{32}$  K
  - Densité :  $D = 10^{96}$  x la densité de l'eau
  - Taille : un milliards de milliards de milliards de milliards de fois plus petit que le noyau d'un atome.

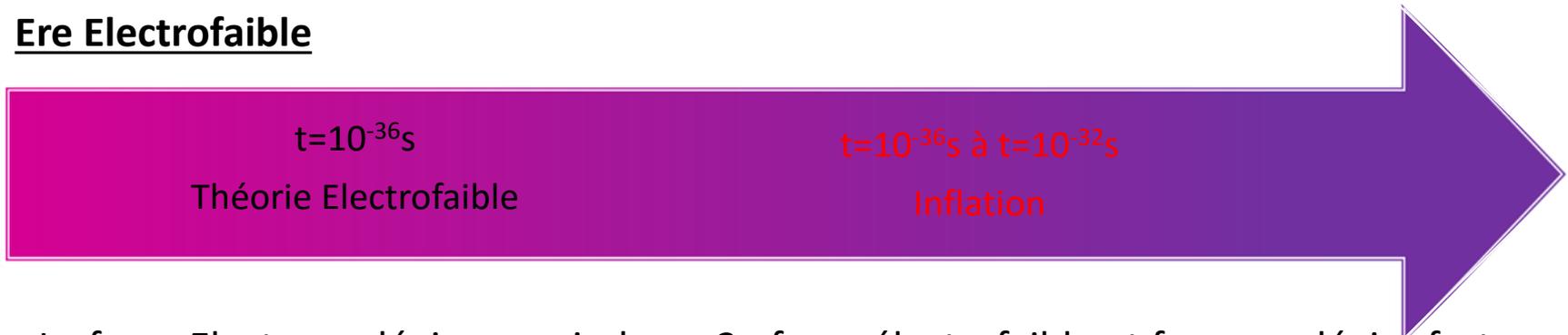


# Super Proton Synchrotron

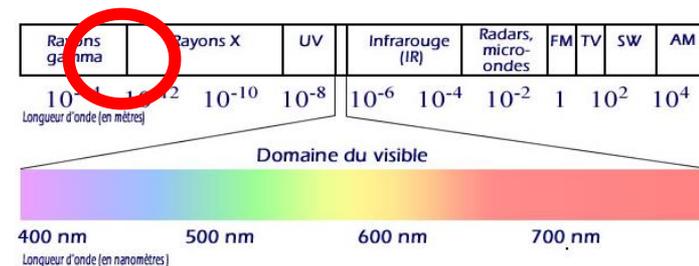


# Chapitre I : La période primordiale

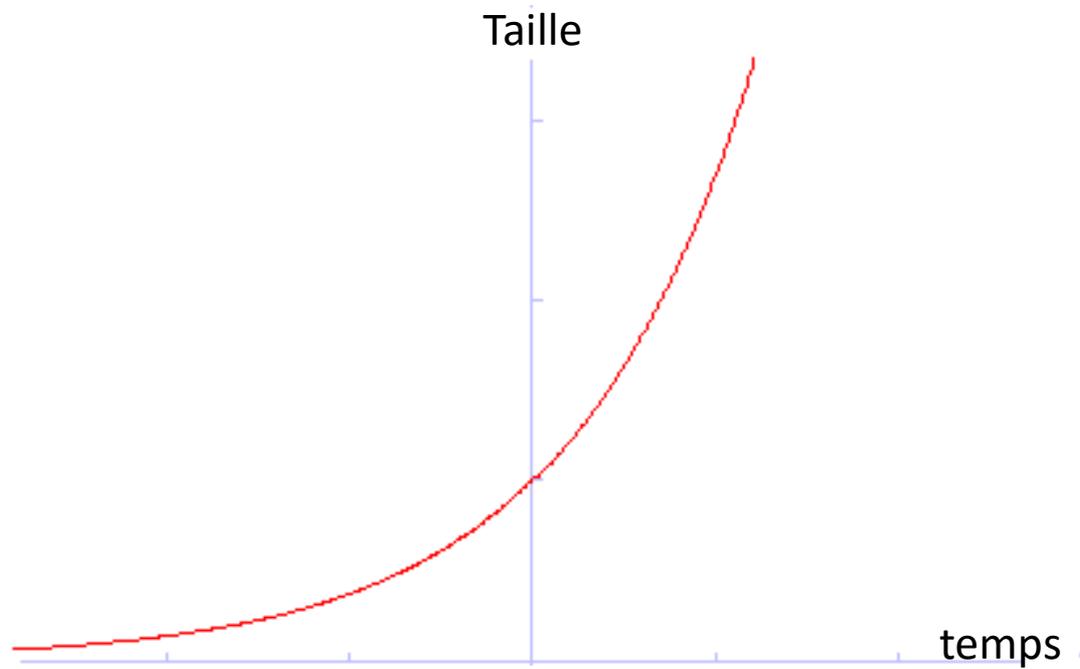
## Ere Electrofaible



- La force Electronucléaire se scinde en 2 : force électrofaible et force nucléaire forte. L'Univers se « *cristallise* ».
- Grande libération d'énergie : **Inflation** de l'Univers. Il triple ses dimensions 100 fois de suite. Le volume est multiplié par  $10^{150}$  (alors que pendant les 10 derniers milliards d'années, le volume à été multiplié par  $10^9$ ). L'inflation est dite : **exponentielle**.
- Caractéristiques :
  - Température :  $T = 10^{27}$  K
  - Taille : taille d'une orange.



# Chapitre I : La période primordiale



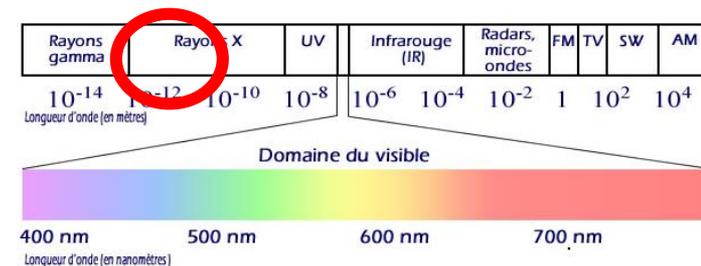
# Chapitre I : La période primordiale

## Ere des Quarks

$$t=10^{-12}\text{s}$$

Modèle Standard

- Nouvelle « *cristallisation* » : la force électrofaible se sépare en deux et donne la force nucléaire faible et la force électromagnétique.
- Caractéristiques :
  - Température :  $T = 10^{15}$  K
  - Taille : taille de l'orbite terrestre

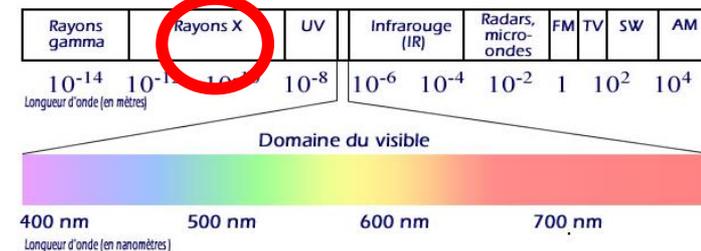


# Chapitre I : La période primordiale

## Ere des Hadrons (du grec : *fort*)

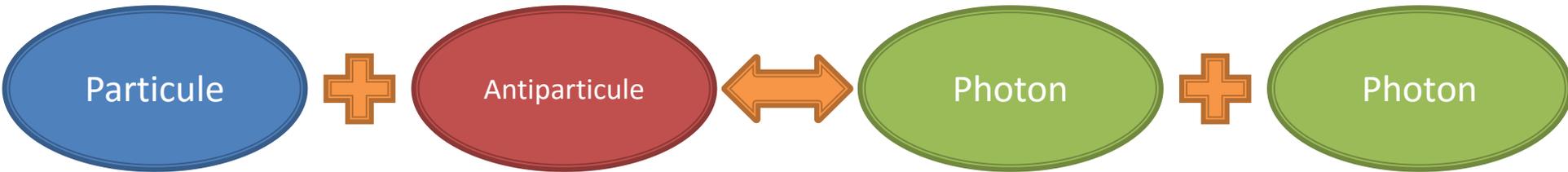
$t=10^{-6}s$   
Baryogénèse

- Emprisonnement des quarks par trois dans les hadrons (baryons et mésons) sous l'effet de la force nucléaire forte.
- Naissance des **protons** et **neutrons**.
- Première grande annihilation
- Caractéristiques :
  - Température :  $T = 10^{13}$  K
  - Taille : taille du système solaire



# Chapitre I : La période primordiale

## Processus de création de matière



## Principe d'Equivalence Masse – Energie

$$E = m.c^2$$

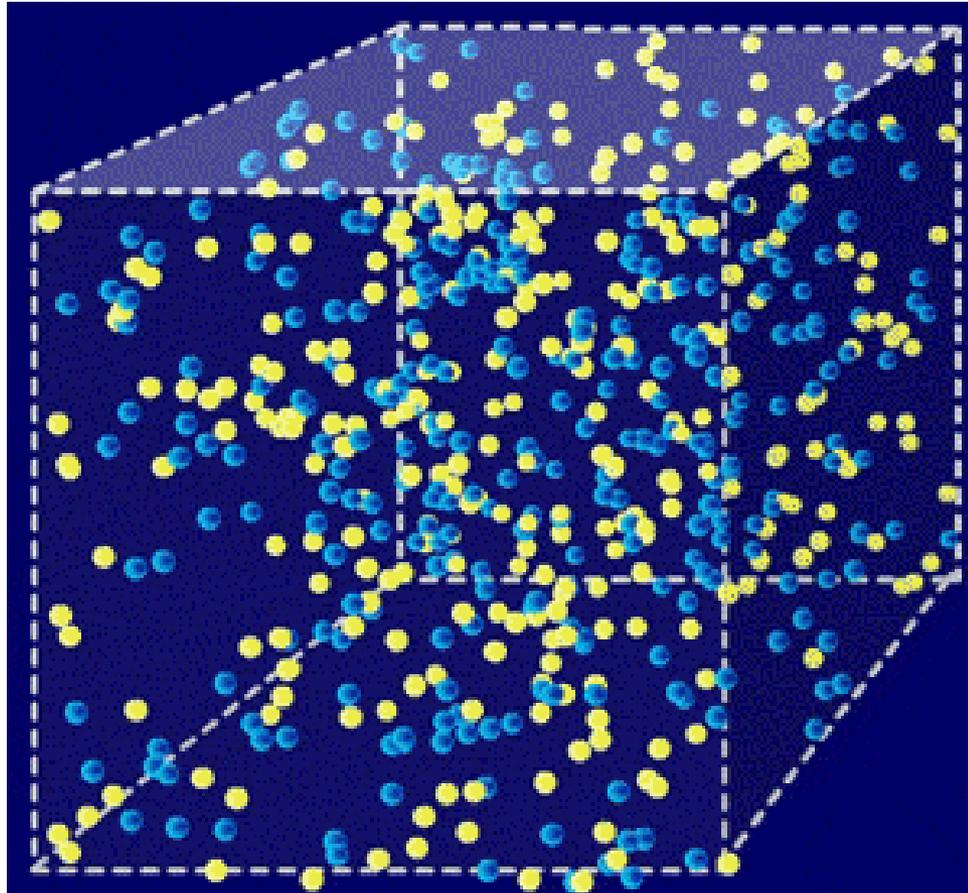
## Condition de Sakharov

Proportion antimatière / matière : 1 milliard contre 1 milliard plus 1 (voir cas du kaon)

## Conclusion

Annihilation des baryons et antibaryons créés pendant l'ère des Hadrons. Photons plus assez énergétiques pour donner naissance aux protons et neutrons (formation couple électron toujours possible) → léger résidu de matière dans l'Univers

# Chapitre I : La période primordiale



# Chapitre I : La période primordiale

## Ere des Leptons (du grec : *faible*)

$t=1s$

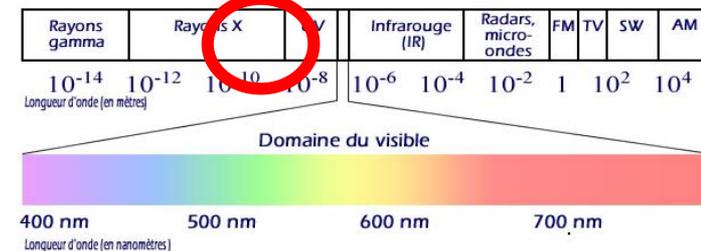
Domination des Leptons

- **Découplage des neutrinos.** Les neutrinos se libèrent car il ne subissent que la force faible. Or la force faible n'agit plus à ce moment car l'Univers est trop grand et les particules trop éloignées. → Emission du **Fond Cosmologique de Neutrinos.**

- Deuxième grande annihilation : formation couple électron désormais impossible. Diminution du nombre d'électrons.

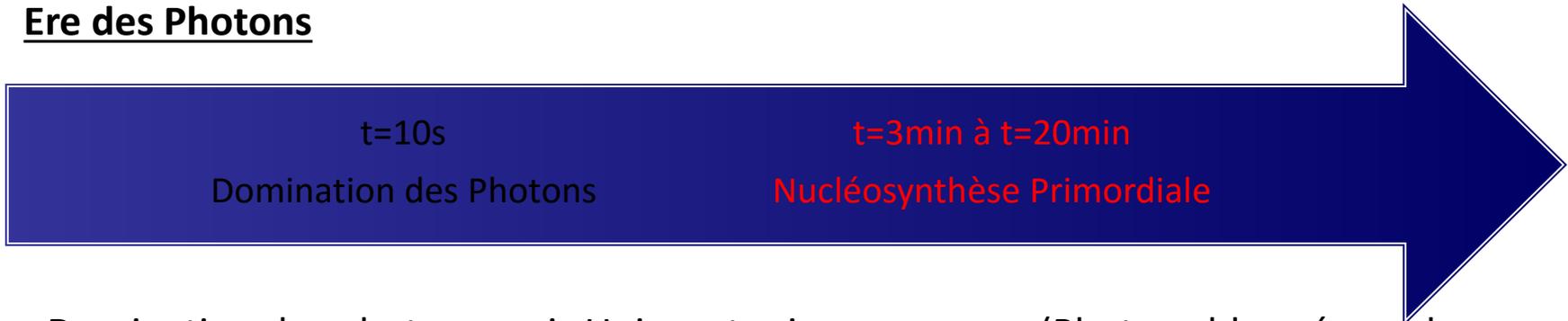
- Caractéristiques :

- Température :  $T = 10^{10}$  K
- Densité :  $1\text{cm}^3$  pèse 100 kg.

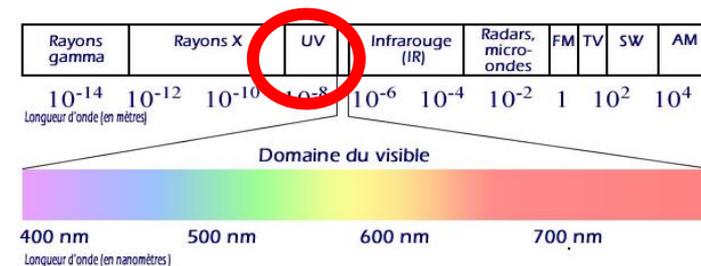


# Chapitre I : La période primordiale

## Ere des Photons



- Domination des photons mais Univers toujours opaque. (Photons bloqués par les électrons).
- Conditions rassemblés pour permettre la formation de noyaux d'atomes (**hydrogène**: proton, *deutérium*, *hélium 3*, **hélium 4**, *lithium*).
- 1 noyau d'hélium pour 12 noyau d'hydrogène.
- Caractéristiques :
  - Température :  $T = 10^9$  K

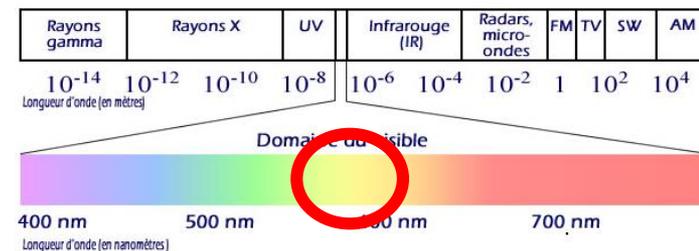


# Chapitre I : La période primordiale

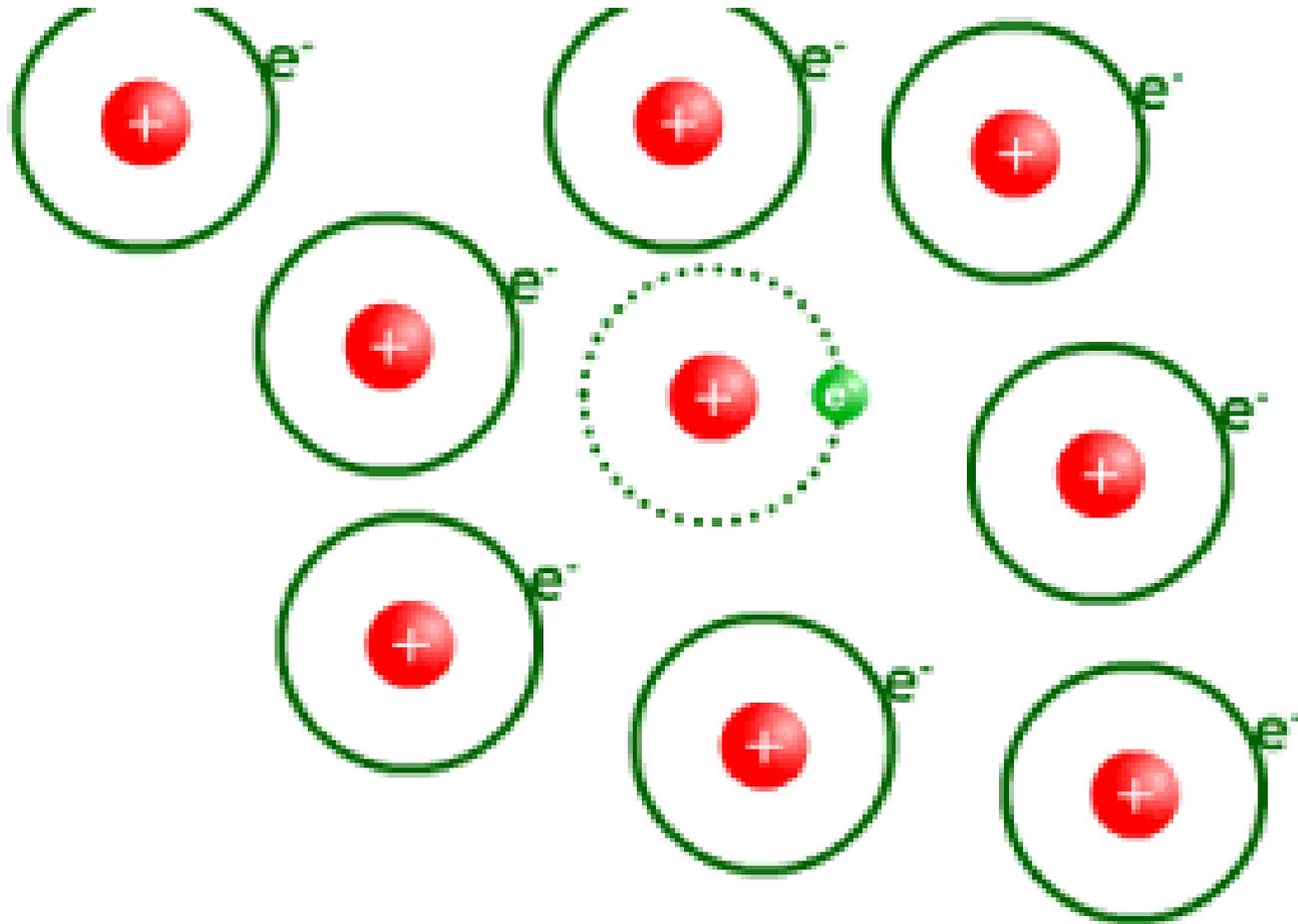
## Ere des Photons



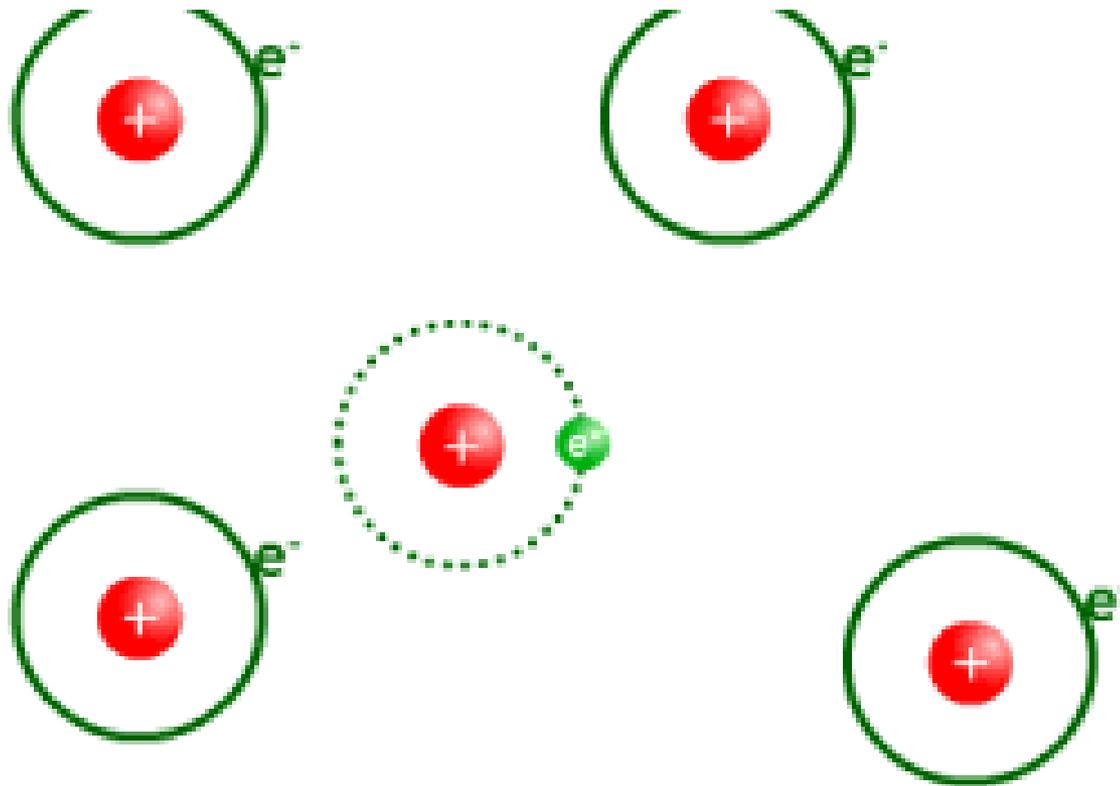
- La matière devient plus énergétique que les photons.
- La force électromagnétique entre en jeu : les noyaux d'atomes (charge positive) attirent des électrons (charges négatives). Les électrons ne sont plus libres : les photons peuvent se déplacer librement → Emission du **Fond Diffus Cosmologique**.
- L'Univers devient transparent : Fin de la période primordiale.
- Caractéristiques :
  - Température :  $T = 3000 \text{ K}$



# Chapitre I : La période primordiale



# Chapitre I : La période primordiale



# Chapitre II : La période stellifère

Âges Sombres

Formation des structures

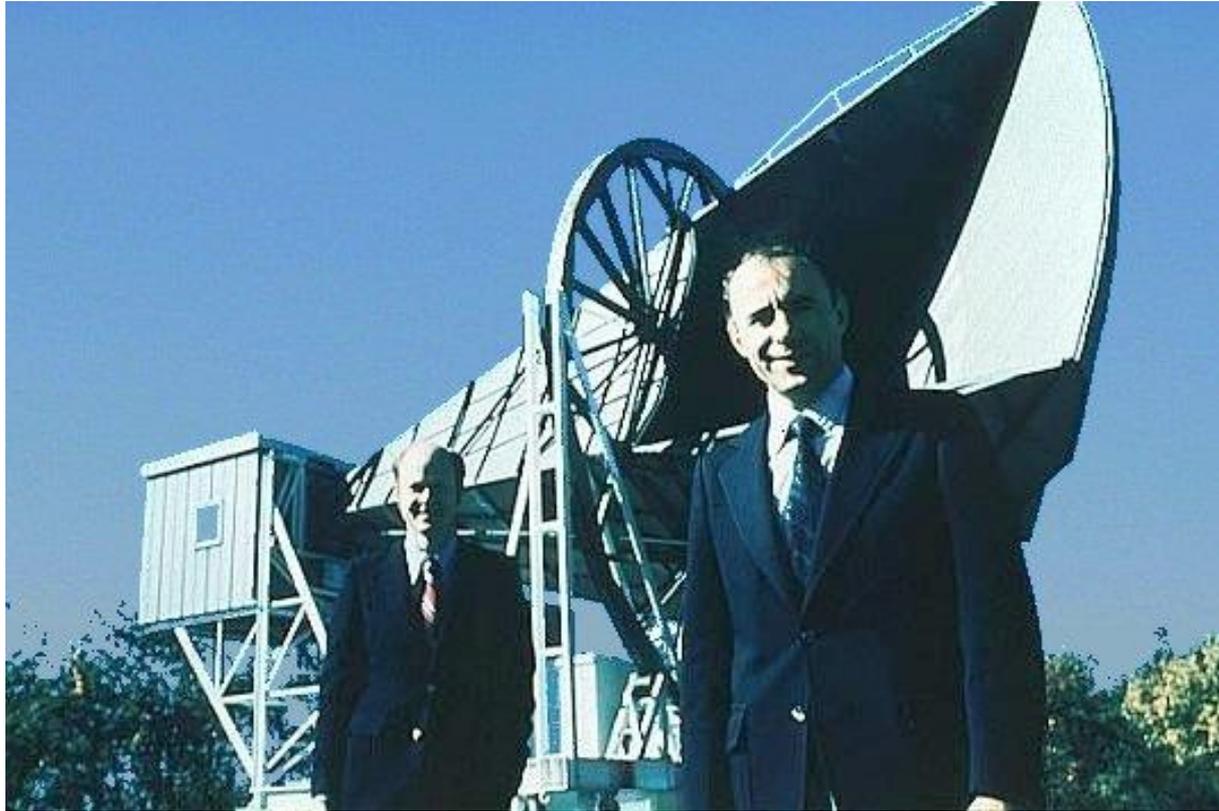


# Chapitre II : La période stellifère

## Âges sombres

- Après l'émission du FDC : température très élevée ( $T=3000\text{k}$ ) et luminosité du ciel très importante (cf luminosité du soleil), domaine visible et proche infrarouge.
- Avec expansion de l'Univers : la température et la luminosité du ciel diminuent.
- A  $t= 100$  millions d'années : la température passe sous  $0^{\circ}\text{C}$ . L'Univers est froid et sombre.

# Le Fond Diffus Cosmologique



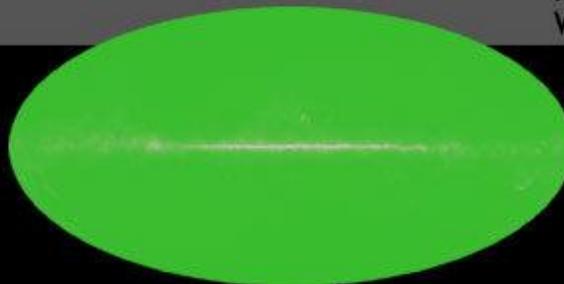
R.Wilson (gauche) et A.Penzias devant le radio télescope de Holmdel.

# Le Fond Diffus Cosmologique

1965



Penzias and Wilson

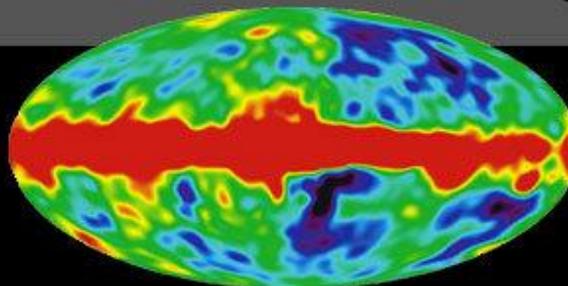


Température : 2,726K

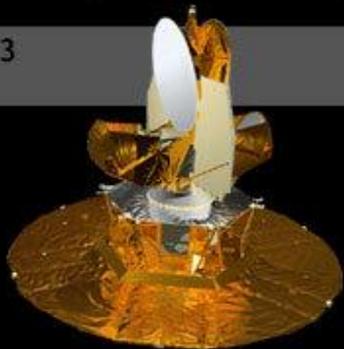
1992



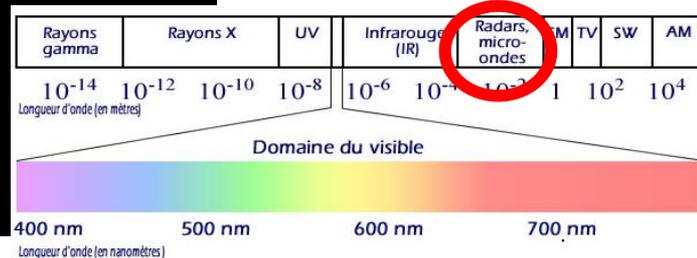
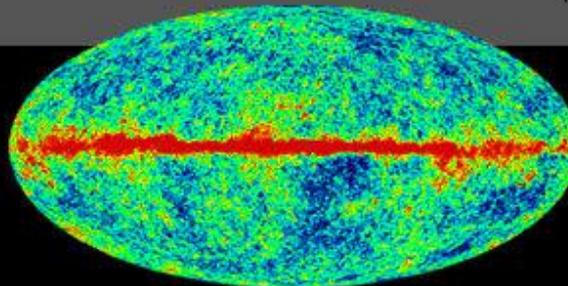
COBE



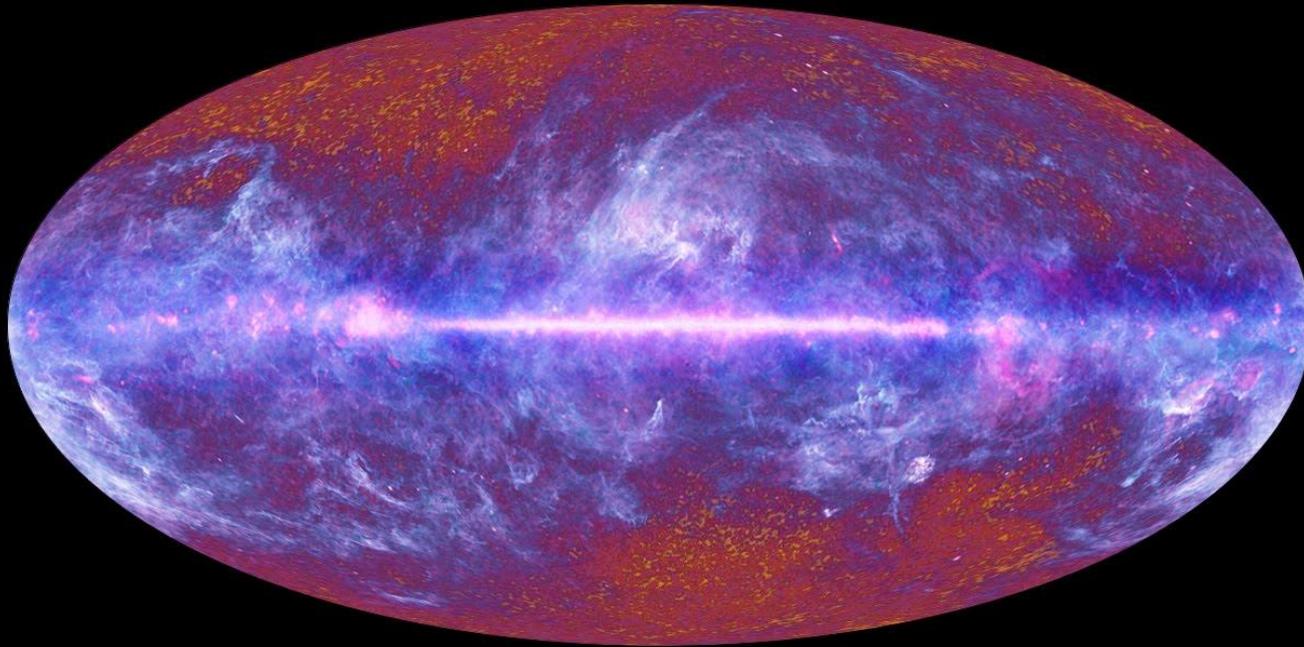
2003



WMAP



# Le Fond Diffus Cosmologique



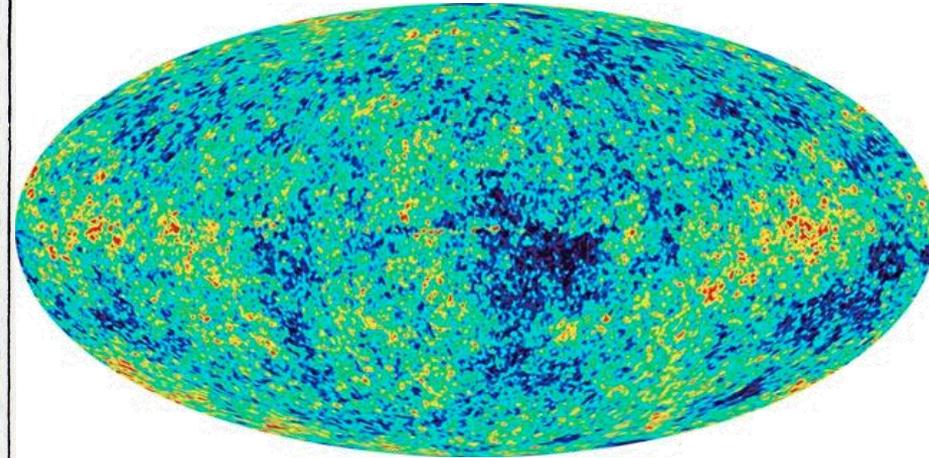
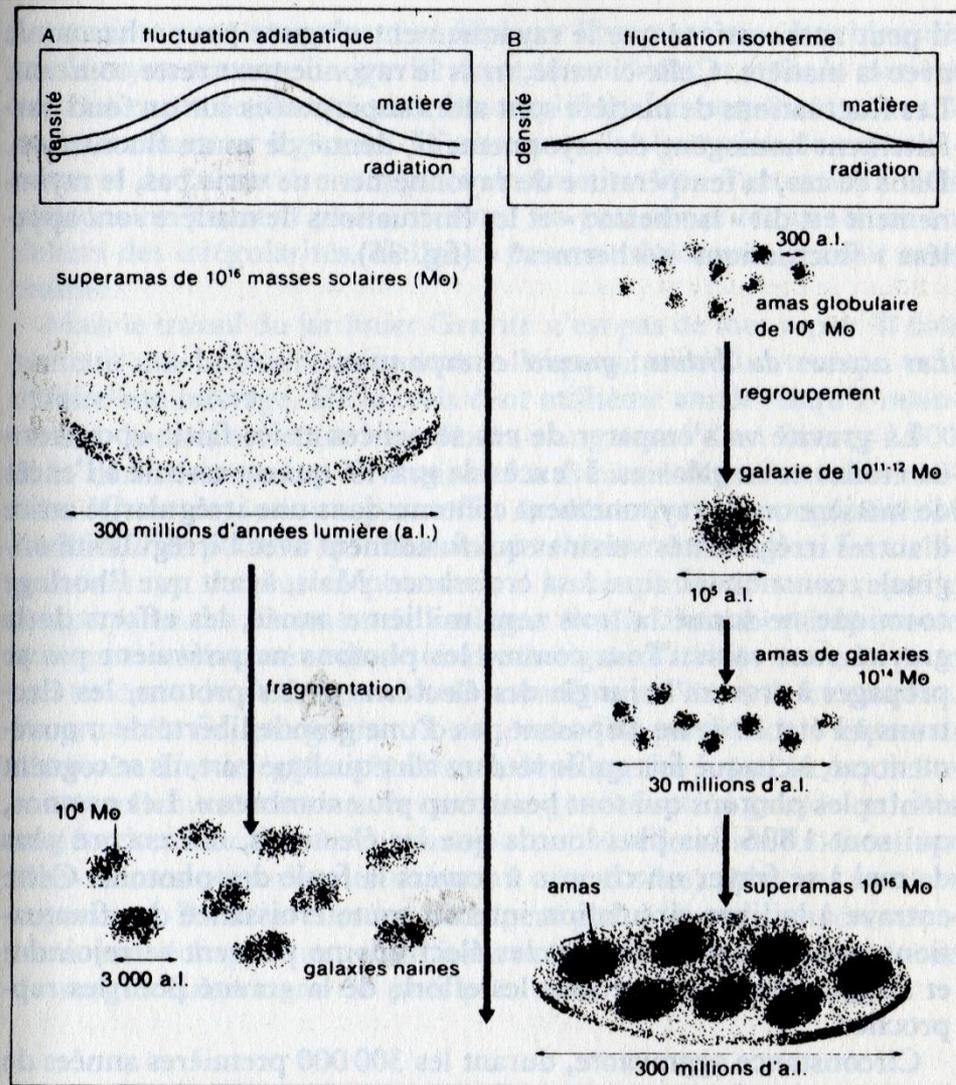
The Planck one-year all-sky survey



(c) ESA, HFI and LFI consortia, July 2010



# Chapitre II : La période stellifère



Des anisotropies de matières :  
Les **germes** des structures :

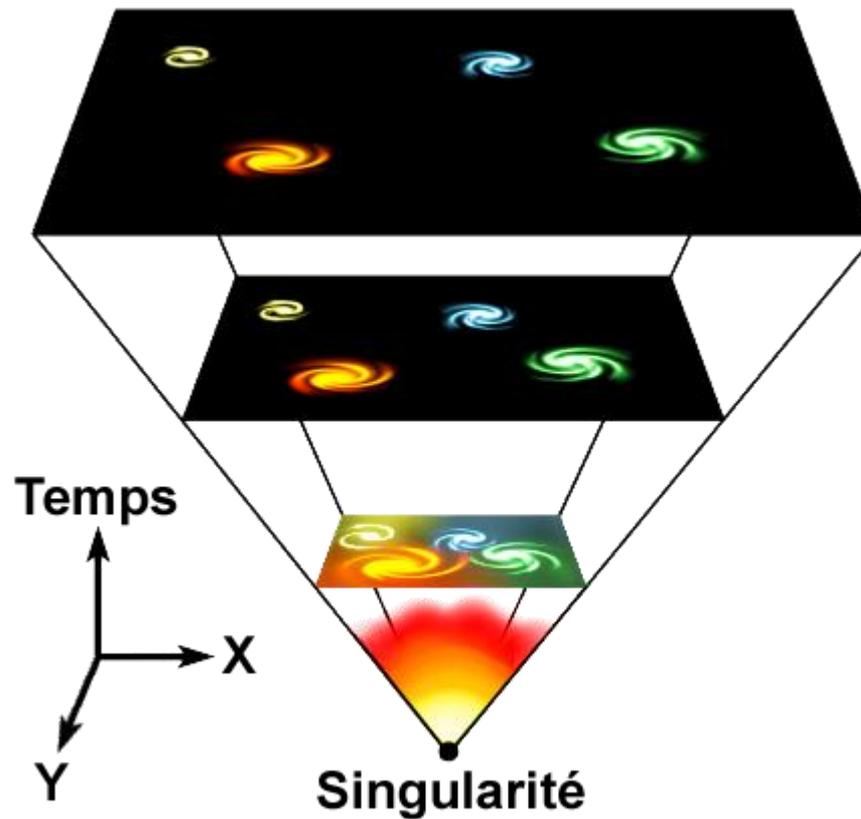
- Fluctuation de densité (et donc de chaleur)
- Apparition pendant l'inflation (« *défaut de cristallisation* » )
- Après la recombinaison : la gravité fait « germer » les fluctuations.

# Chapitre II : La période stellifère

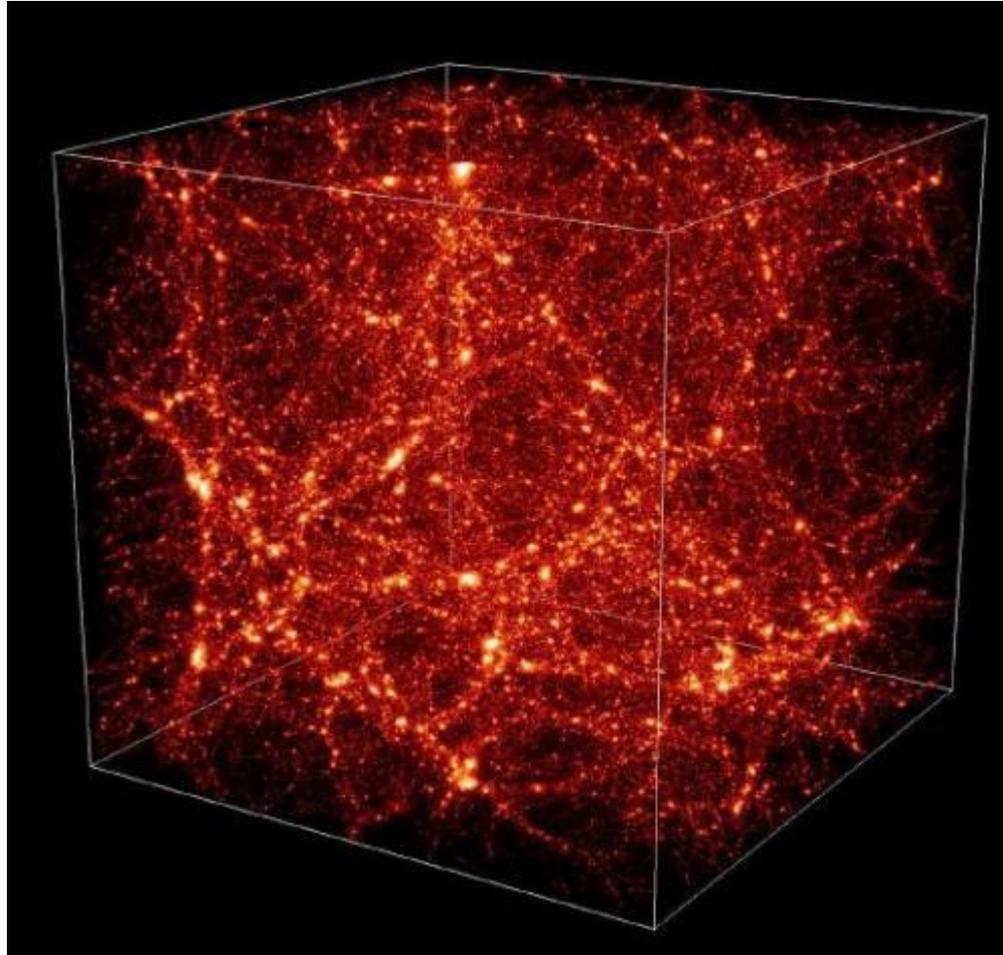
## Gravité VS expansion

- L'expansion a pour but de «diluer» les anisotropies et réduit l'attraction entre elles. La gravité a de plus en plus de mal à faire les faire grandir à mesure que le temps passe.
- Exemple : Un cheval de course qui tente en vain de franchir la ligne d'arrivée sur une piste qui n'arrête pas de s'allonger.
- La gravité gagne : les irrégularités sont très massives et se détachent de l'expansion.

# Chapitre II : La période stellifère



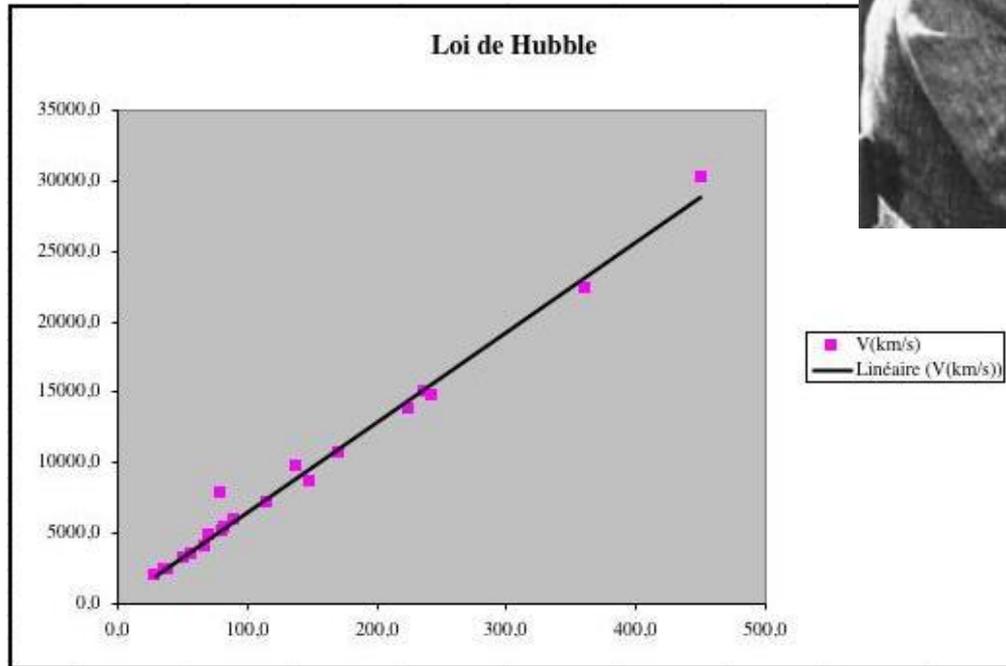
# Chapitre II : La période stellifère



# Chapitre II : La période stellifère

Une autre preuve du Big Bang :

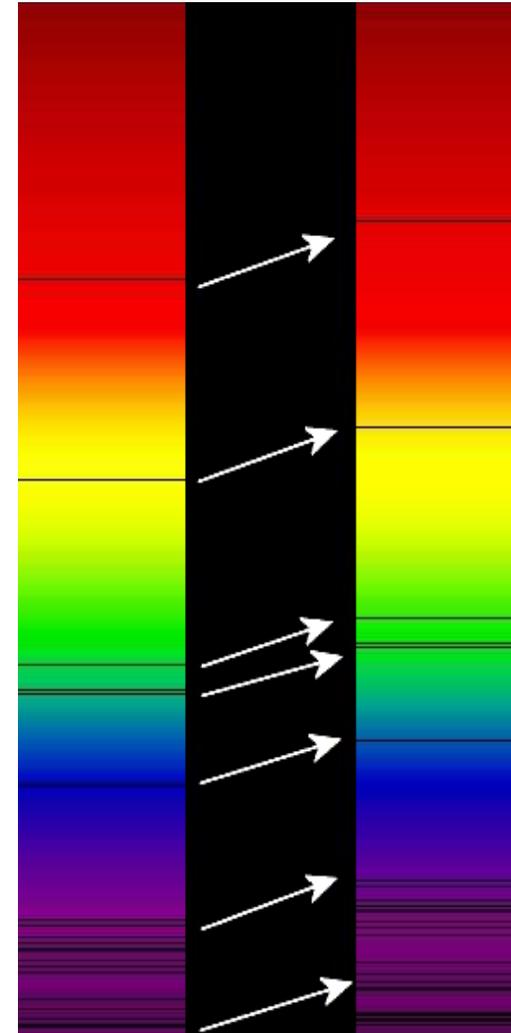
- l'effet Doppler-Fizeau
- le Redshift
- la Loi de Hubble



$$z = \frac{\lambda - \lambda_0}{\lambda_0}$$

$$v = c \cdot z$$

$$D = v / H_0$$



# Chapitre II : La période stellifère

- 100 millions d'années : Premières Etoiles
- Effondrement gravitationnel de nuages gazeux.
- Etoiles de type III : étoiles très massive ( $< 100 M_{\odot}$ ) : Formation des éléments lourds.

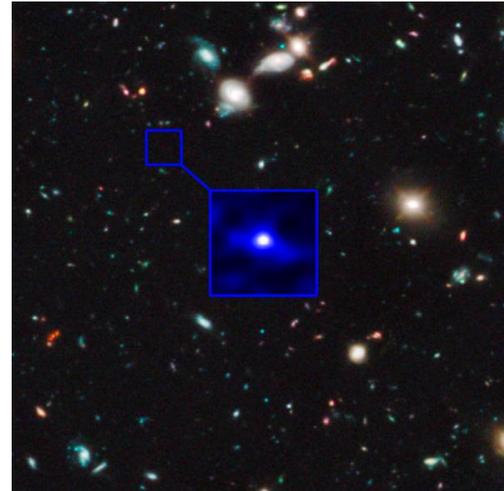
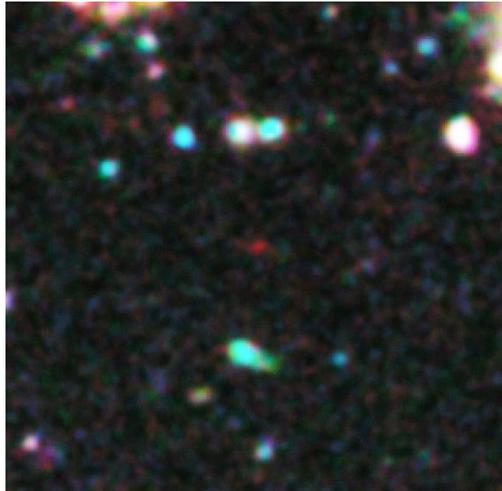


# Chapitre II : La période stellifère

- 600 millions d'années : Premières Galaxies
  - Gravitation
  - Etoiles de types I et II

Galaxie la plus ancienne : **UDFj-39546284**

(HST)



# Chapitre II : La période stellifère

Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre
Big Bang 		Formation de la Voie Lactée 					Formation du Soleil et de la Terre 	Première cellule 		Premier individu pluricellulaire 

Calendrier cosmique - <http://tristan.ferroir.free.fr>

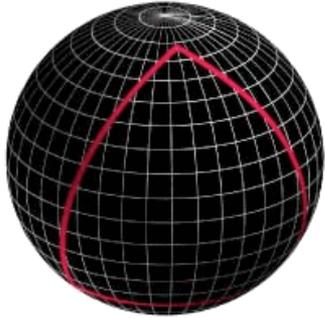
## Décembre

1 Apparition du dioxygène dans l'atmosphère 	2	3	4	5	6	7
8	9	10	11	12	13	14
15 Explosion cambrienne 	16 Terre boue de neige 	17 Premier vertébrés 	18	19	20 Premier tétrapode 	21 Diversification des insectes 
22	23	24 Premier dinosaure 	25 Ancêtre des Mammifères 	26 Formation et dislocation de la Pangée 	27 Premier oiseau 	28
29 Disparition des dinosaures 	30	31 10H15 : Apparition des Primates 21H24 : Premier ancêtre humain à marcher debout 22H48 : Apparition de l'Homo Erectus 23H59 et 50s : Construction des Pyramides d'Egypte 12Ème coup de minuit : Aujourd'hui				

9,1 milliards d'années :  
naissance du soleil

13,7 milliards d'années :  
aujourd'hui

# Chapitre III : Le destin de l'Univers

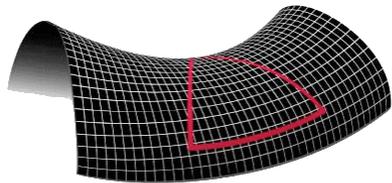


**Univers fermé**  
(courbure positive)

*densité d'énergie sombre négative*

Inversion de l'expansion

**Big Crunch** et modèle cyclique ( $1 \times 10^{11}$  ans)

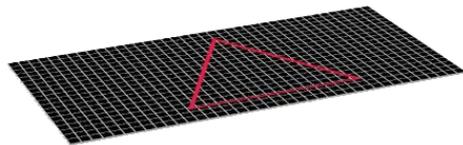


**Univers ouvert**  
(courbure négative)

*densité d'énergie sombre en augmentation*

Expansion accélérée

**Big Rip** ( $2 \times 10^{10}$  ans)



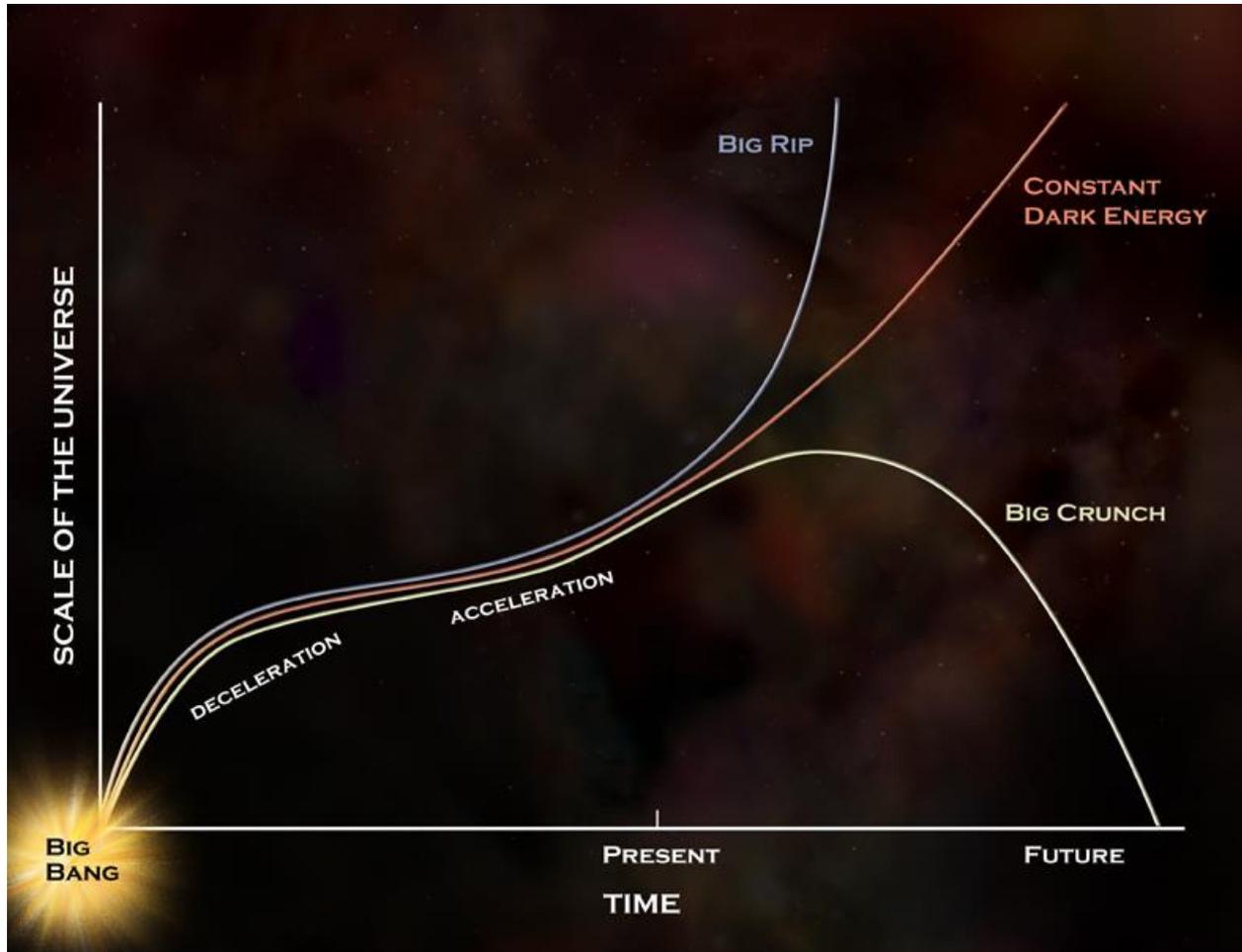
**Univers plat**  
(courbure nulle)

*densité d'énergie sombre constante*

Expansion continue

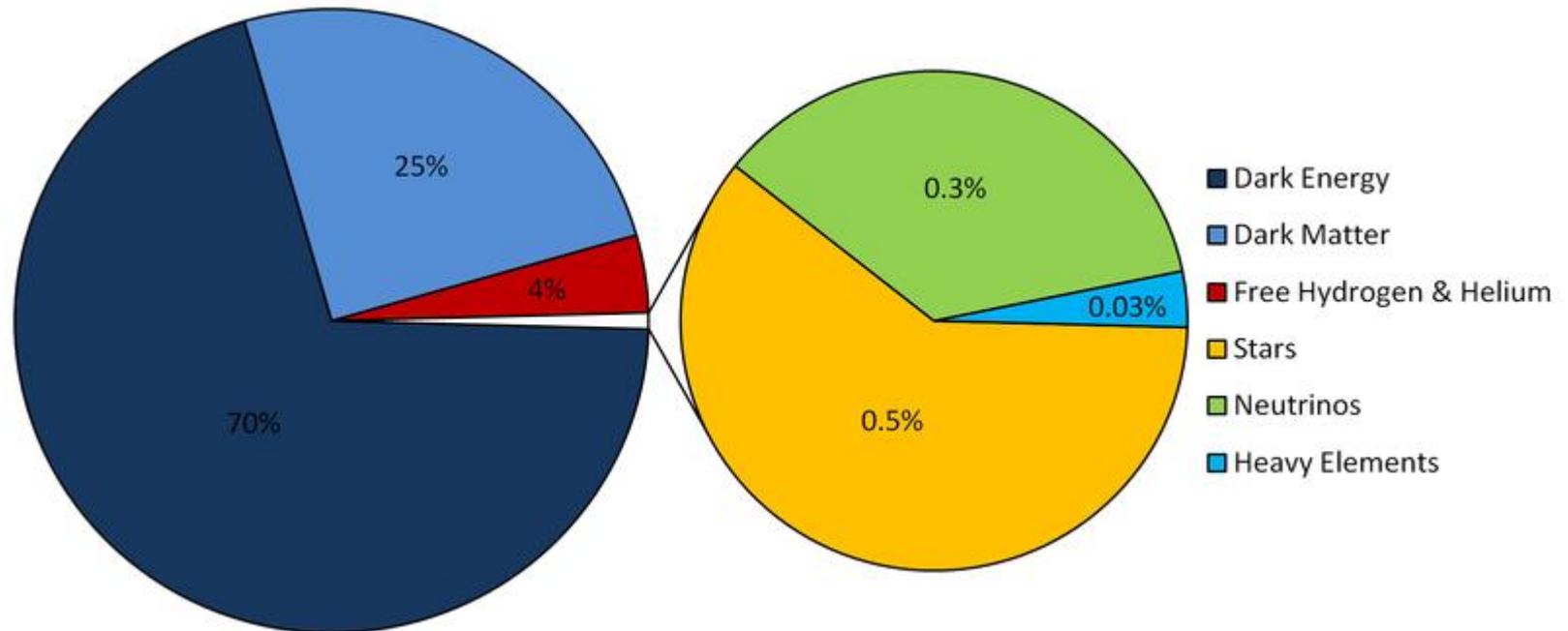
**Big Freeze** ( $1 \times 10^{14}$  ans)

# Chapitre III : Le destin de l'Univers



# Un peu de cosmologie théorique

## Modèle Standard de la Cosmologie



# Résumé

