

# Les deux infinis





# Infiniment petit: sonder la matière.



Longueur d'onde de la lumière visible: 400 – 800 nm

**On ne peut pas sonder la matière en deca du micro-mètre avec un microscope standard ...**

**Grande énergie**

$$\lambda = \frac{h}{p}$$

**Petite longueur d'onde  
Meilleure résolution**

:  $\lambda$  est la longueur d'onde de la particule

$h$  est la constante de Planck

$p$  est la quantité de mouvement de la particule

**Sonde la matière à petite échelle = grande énergie**

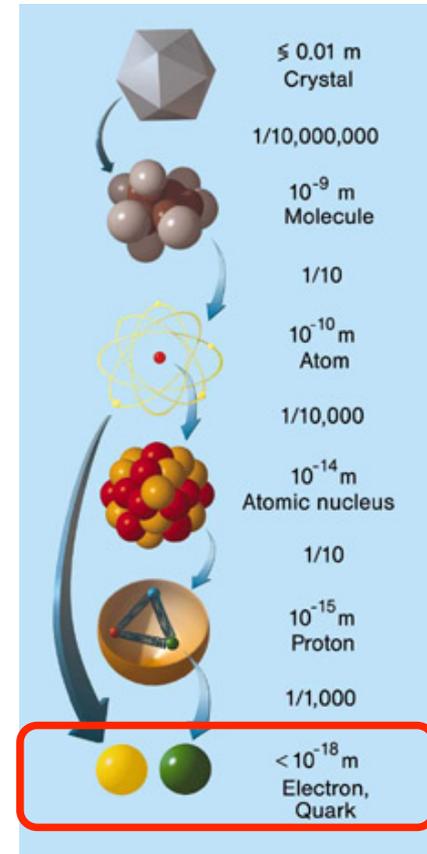
**Dualité onde-corpuscule (M.Q.):**

Utilisation d'électrons de haute énergie à la place de photons

longueur d'onde de De Broglie

Avec un microscope électronique en transmission : 0,08 nm

Avec un faisceau d'électron de 100 GeV :  $10^{-18}$  m



# Particules élémentaires

Charge électrique

Quarks

2.4 MeV	$\frac{2}{3}$	<b>u</b>
	$\frac{1}{2}$	up
4.8 MeV	$-\frac{1}{3}$	<b>d</b>
	$\frac{1}{2}$	down

*hadrons = fort*

938.2 MeV	<b>proton</b> (charge +1)
$u\left(+\frac{2}{3}\right)u\left(+\frac{2}{3}\right)d\left(-\frac{1}{3}\right) = p(+1)$	
939.5 MeV	<b>neutron</b> (charge 0)
$u\left(+\frac{2}{3}\right)d\left(-\frac{1}{3}\right)d\left(-\frac{1}{3}\right) = n(0)$	

Trois particules élémentaires suffisent à expliquer le contenu de toute la matière « ordinaire » et sa diversité .

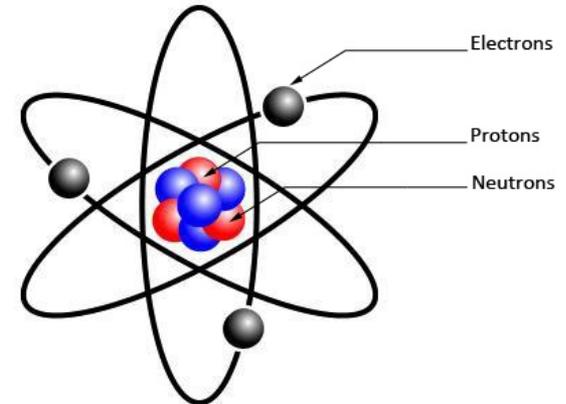
*Lepton = léger*

Leptons

0.511 MeV	$-1$	<b>e</b>
	$\frac{1}{2}$	electron

Masse

Spin

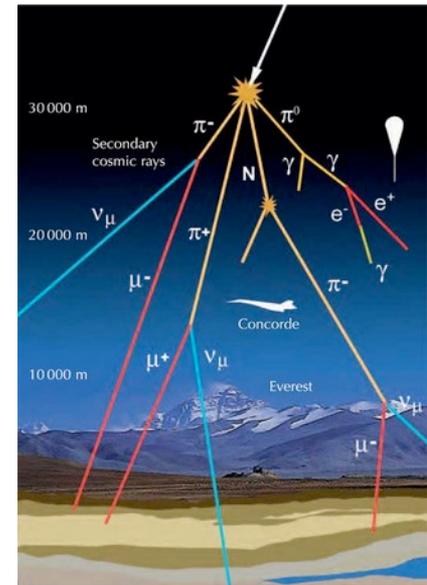


# Constituants élémentaires

	Fermions			Bosons		
Quarks	2.4 MeV $\frac{2}{3}$ $\frac{1}{2}$ <b>u</b> up	1.27 GeV $\frac{2}{3}$ $\frac{1}{2}$ <b>c</b> charm	171.2 GeV $\frac{2}{3}$ $\frac{1}{2}$ <b>t</b> top	0 0 1 <b><math>\gamma</math></b> photon		
	4.8 MeV $-\frac{1}{3}$ $\frac{1}{2}$ <b>d</b> down	104 MeV $-\frac{1}{3}$ $\frac{1}{2}$ <b>s</b> strange	4.2 GeV $-\frac{1}{3}$ $\frac{1}{2}$ <b>b</b> bottom	0 0 1 <b>g</b> gluon		
	<2.2 eV 0 $\frac{1}{2}$ <b><math>\nu_e</math></b> electron neutrino	<0.17 MeV 0 $\frac{1}{2}$ <b><math>\nu_\mu</math></b> muon neutrino	<15.5 MeV 0 $\frac{1}{2}$ <b><math>\nu_\tau</math></b> tau neutrino	91.2 GeV 0 1 <b>Z<sup>0</sup></b> weak force		
Leptons	0.511 MeV -1 $\frac{1}{2}$ <b>e</b> electron	105.7 MeV -1 $\frac{1}{2}$ <b><math>\mu</math></b> muon	1.777 GeV -1 $\frac{1}{2}$ <b><math>\tau</math></b> tau	80.4 GeV $\pm 1$ 1 <b>W<sup>±</sup></b> weak force		

Beaucoup de particules ne sont pas présentes dans la matière ordinaire stable:

- Elles sont **instables**



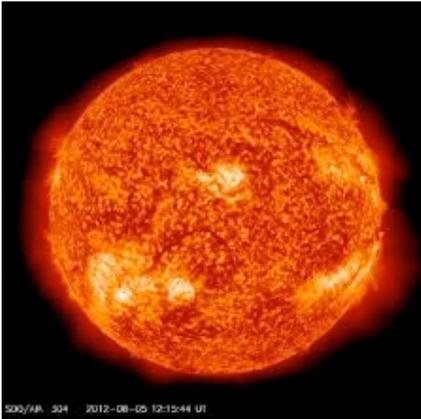
- Elles sont très **massives**

Ex: Masse (top) = Masse (Au)

$$E = mc^2$$

Il faut une **énergie cinétique** colossales pour les **produire** (ex: top)

# $E = mc^2$ : source de haute énergie



## Température du soleil

- au centre 15,1 MK
- à la surface 5 750 K

Qu'est ce que la température ?



$$E_c = 3/2 k T \text{ avec } k = 1,38 \times 10^{-23} \text{ J/K}$$

Pour  $T = 15 \cdot 10^6 \text{ K}$

$$E_c = 3.1 \cdot 10^{-16} \text{ J} = \mathbf{1.9 \text{ GeV}} \text{ ( au centre )}$$

Ceci est **l'énergie cinétique** moyenne.

**Les bosons W, Z, H ou le quark top ne peuvent pas être produits dans les étoiles**

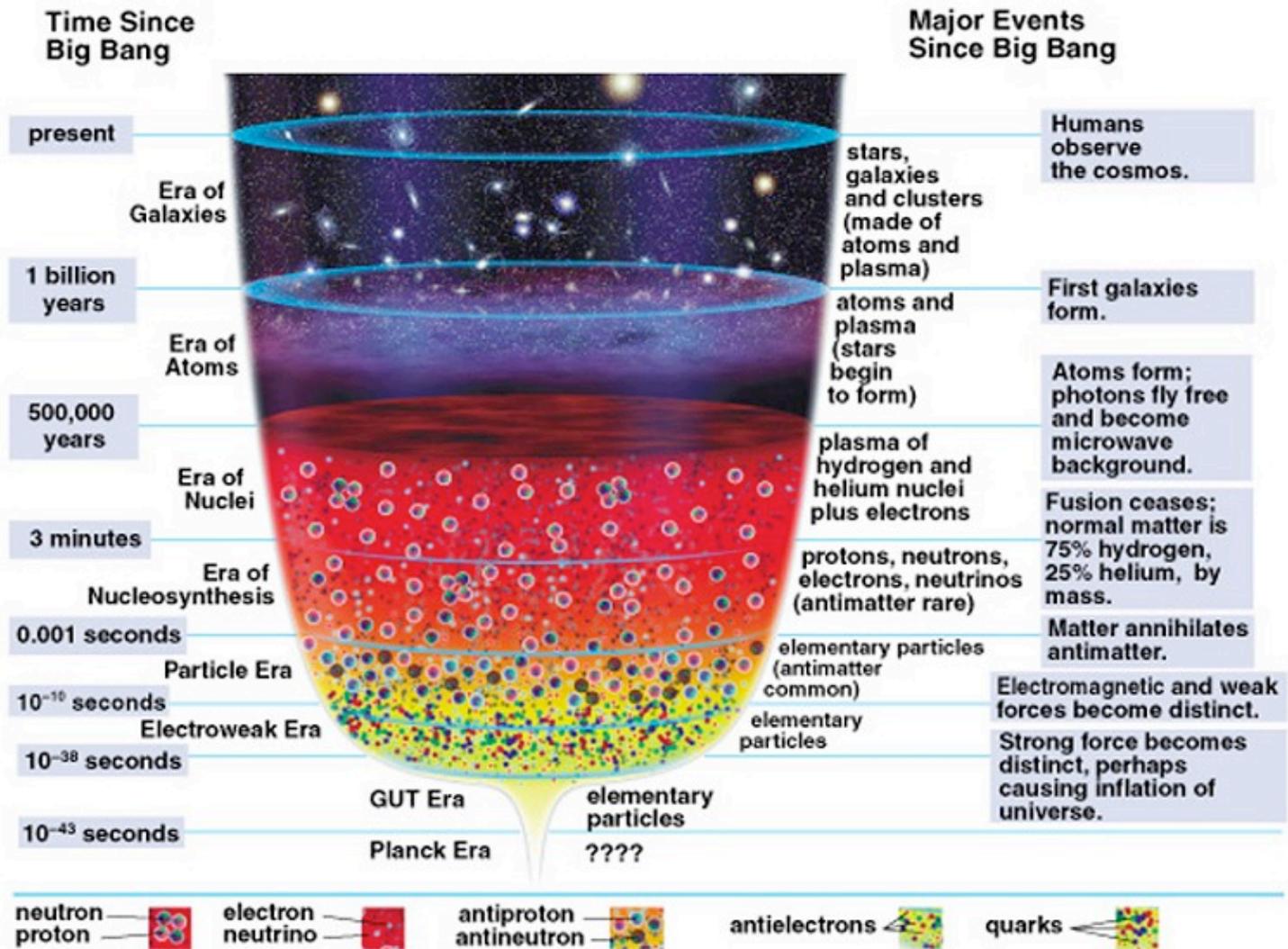
Comment produire ses particules ?



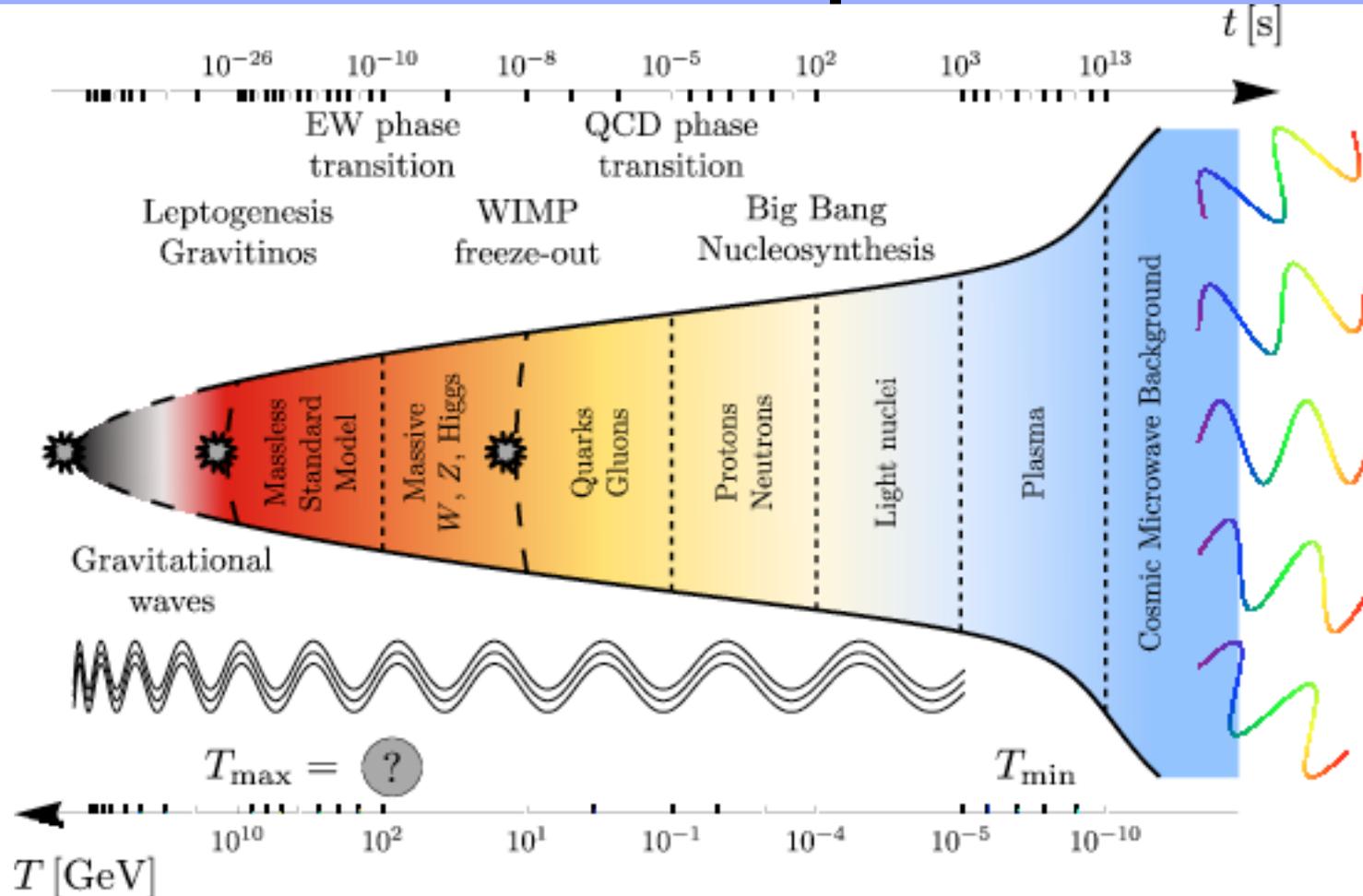
- Dans les collisionneurs
- Au début de l'histoire de notre Univers



# Histoire de l'Univers



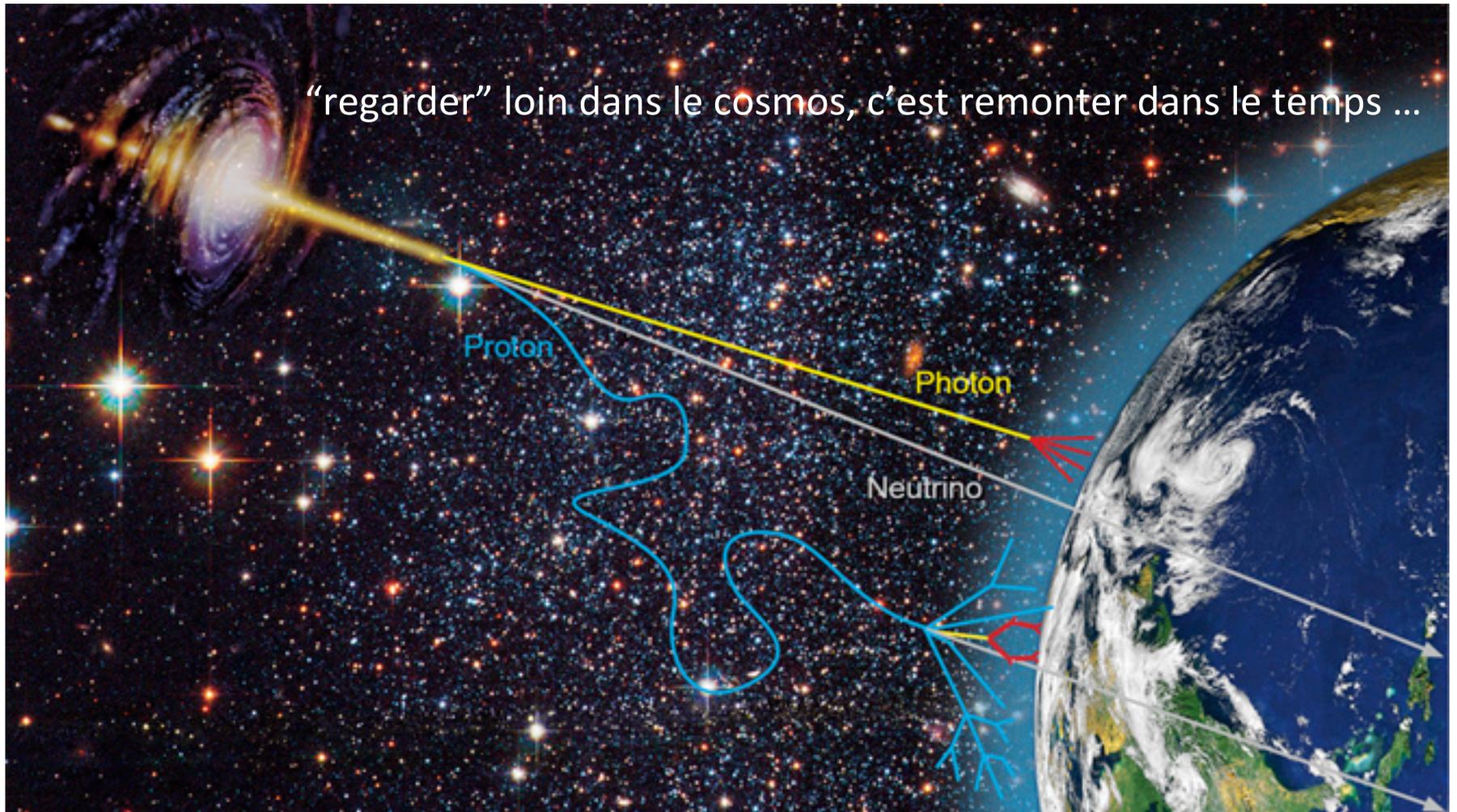
# Univers et température



Les interactions ayant eu lieu « aux premiers instants » de l'Univers mettent en jeu des énergies considérables.

La physique des particules permet de vérifier les lois de la nature à ces échelles (asymptotiquement ...)

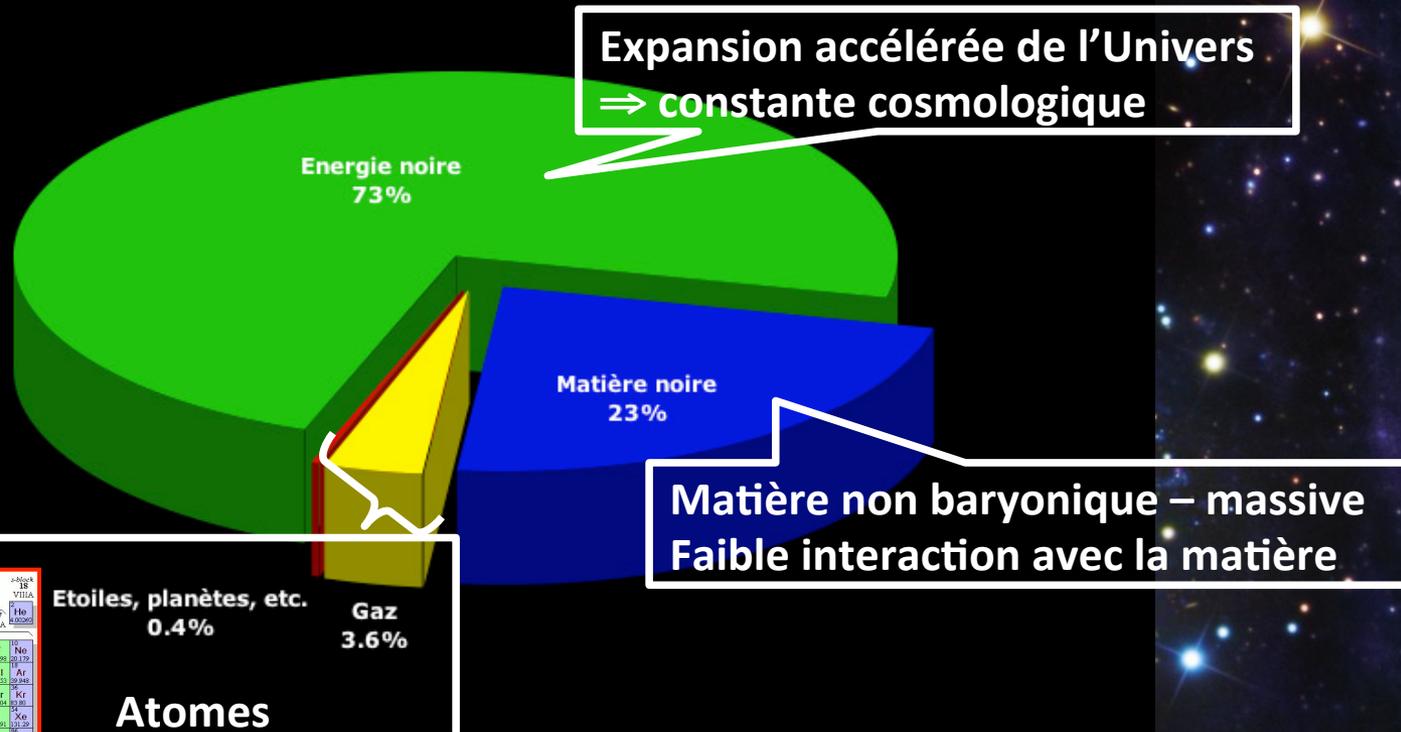
# Ces particules qui nous racontent l'Histoire de l'Univers



**Astroparticules:** études astrophysiques et cosmologiques grâce à la détection des particules produites par des sources lointaines et intenses

# Composition de l'Univers

L'univers selon nos observations

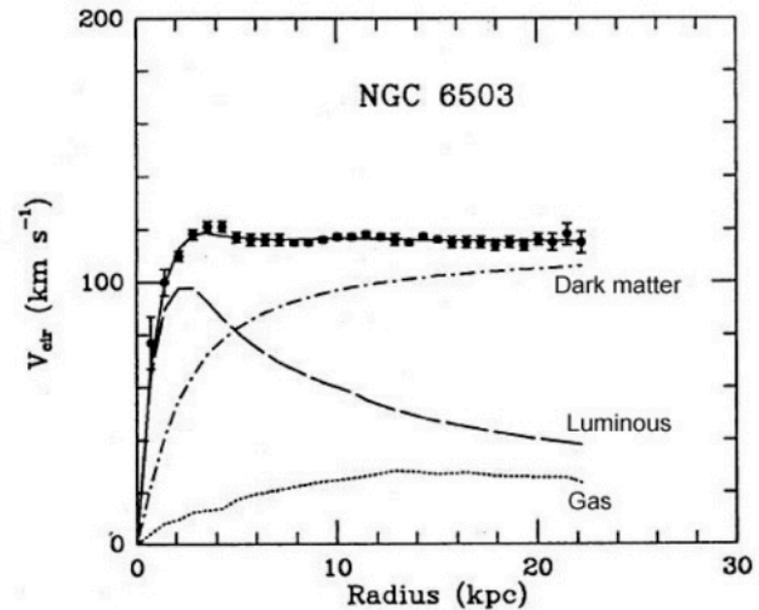
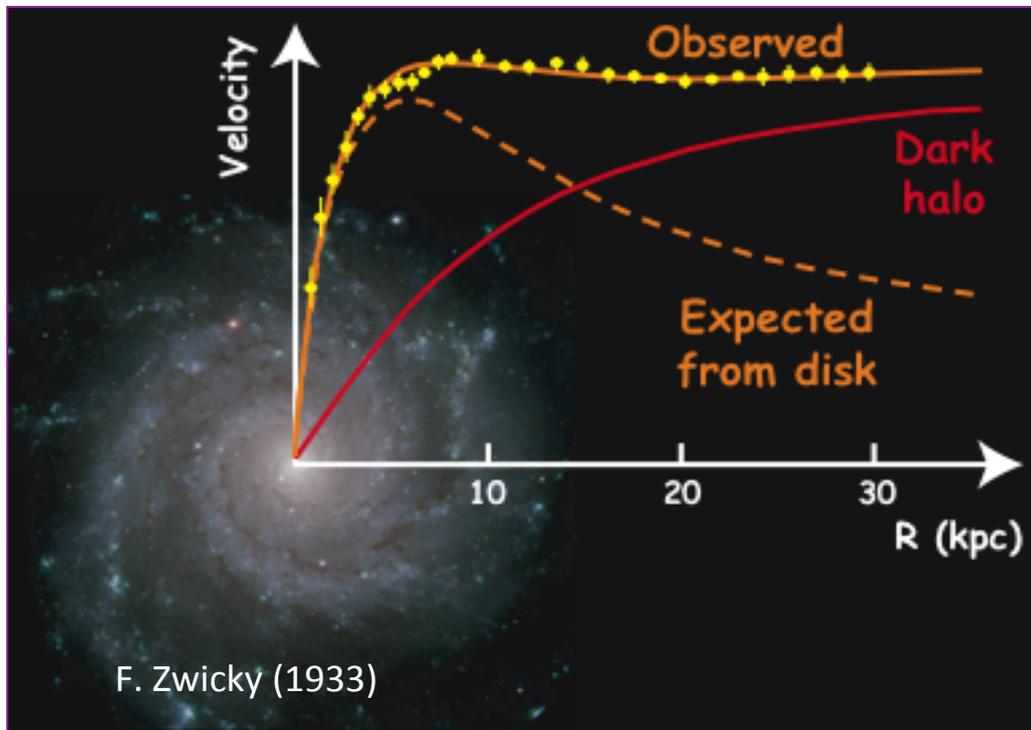


New Designation		Non-Metals																VIII A										
Original Designation																		VIII A										
1	2	Transition Metals										Non-Metals						VIII A										
IA	IIA	III A	IV A	V A	VI A	VII A	VIII A	IX A	X A	XI A	XII A	III A	IV A	V A	VI A	VII A	VIII A	IX A	X A	XI A	XII A	IA	IIA					
Atomic #																												
Symbol																												
Atomic Mass																												
1	H	He											B	C	N	O	F	Ne							Na	Mg		
2	Li	Be											Al	Si	P	S	Cl	Ar							K	Ca		
3	Na	Mg											Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr
4	K	Ca											Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe
5	Rb	Sr											Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn	
6	Cs	Ba											Rf	La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
7	Fr	Ra											Rg	Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr

Nous ne comprenons que 4% de notre Univers ...

# Matière noire: indications

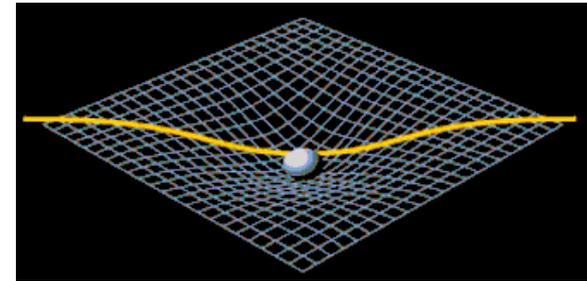
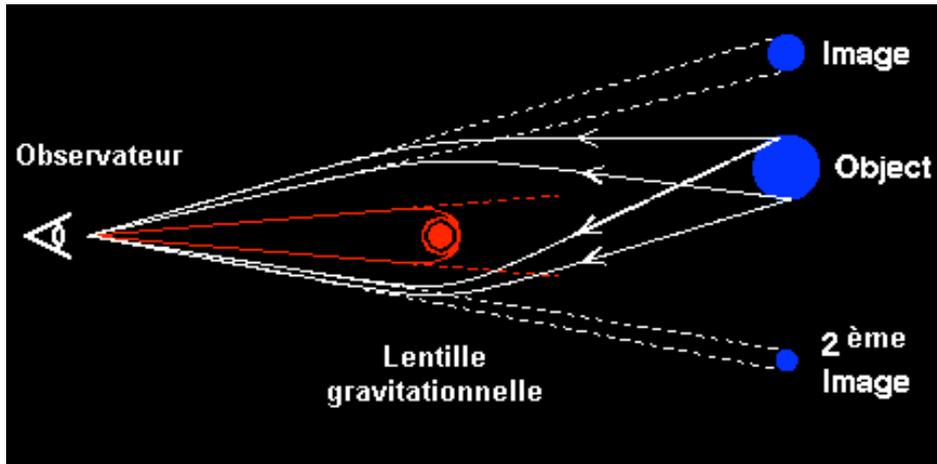
## Courbe de rotation des galaxies



$$V_{rot} = \sqrt{\frac{GM(r)}{r}}$$

Voie Lactée:  
 $M_{\text{halo}} \sim 10 \times M_{\text{visible}}$

# Matière noire: indications



Lentille Gravitationnelle



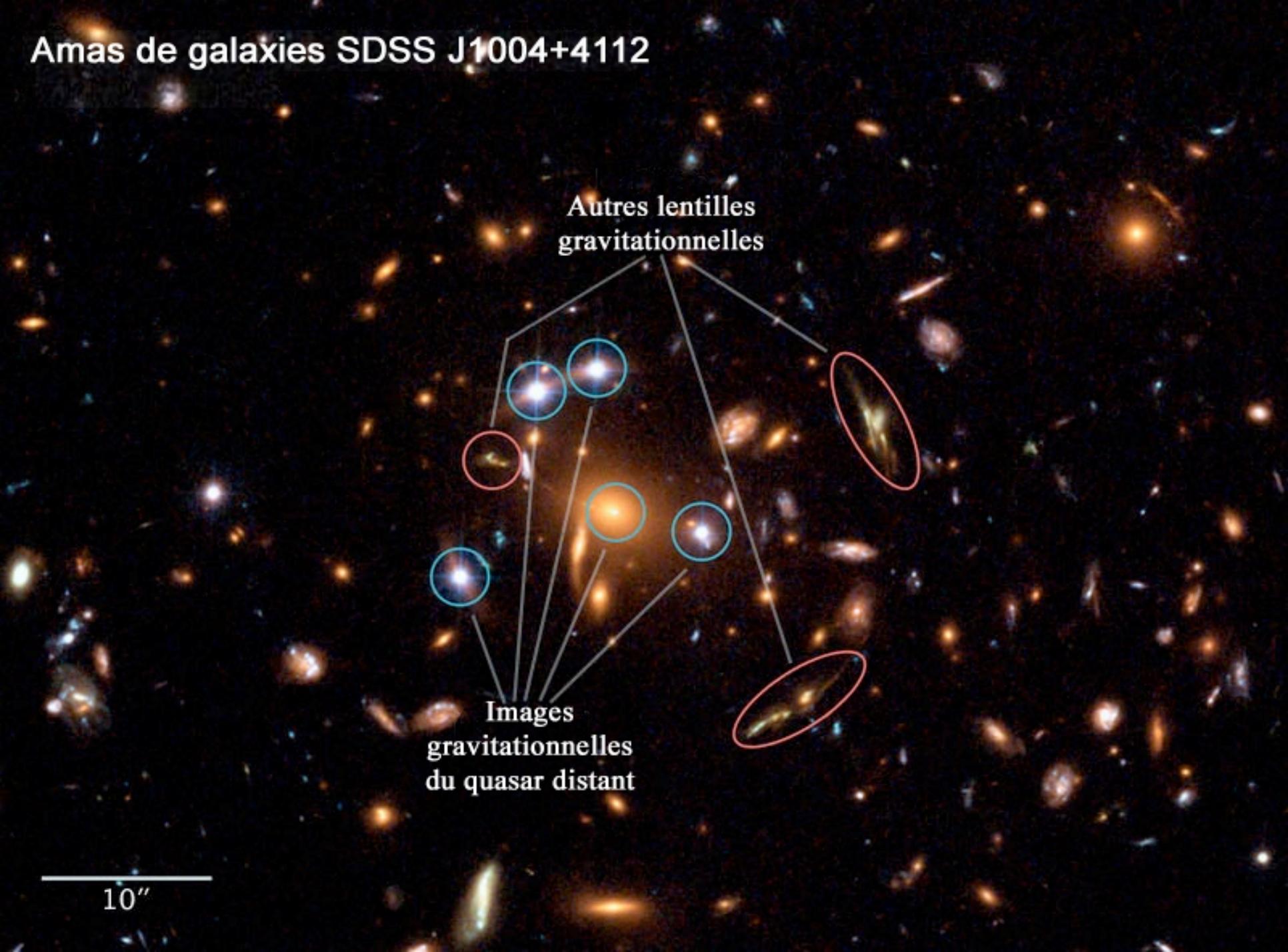
Lentille gravitationnelle : la déviation de la lumière par un fort potentiel gravitationnel (l'amas de galaxies 0024+1654) conduit à de multiples images d'un objet situé derrière le centre de masse du défecteur.

# Amas de galaxies SDSS J1004+4112

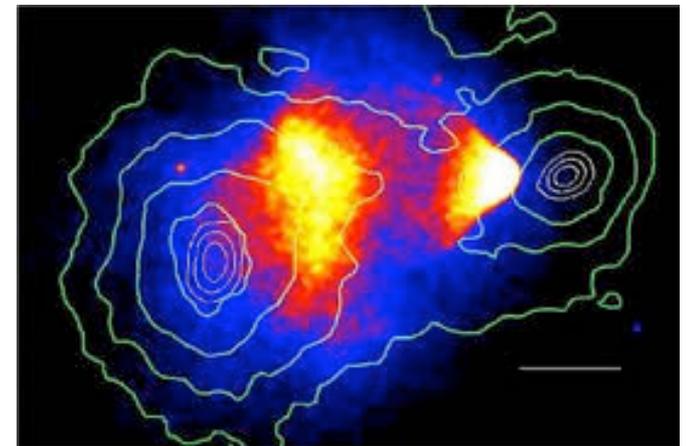
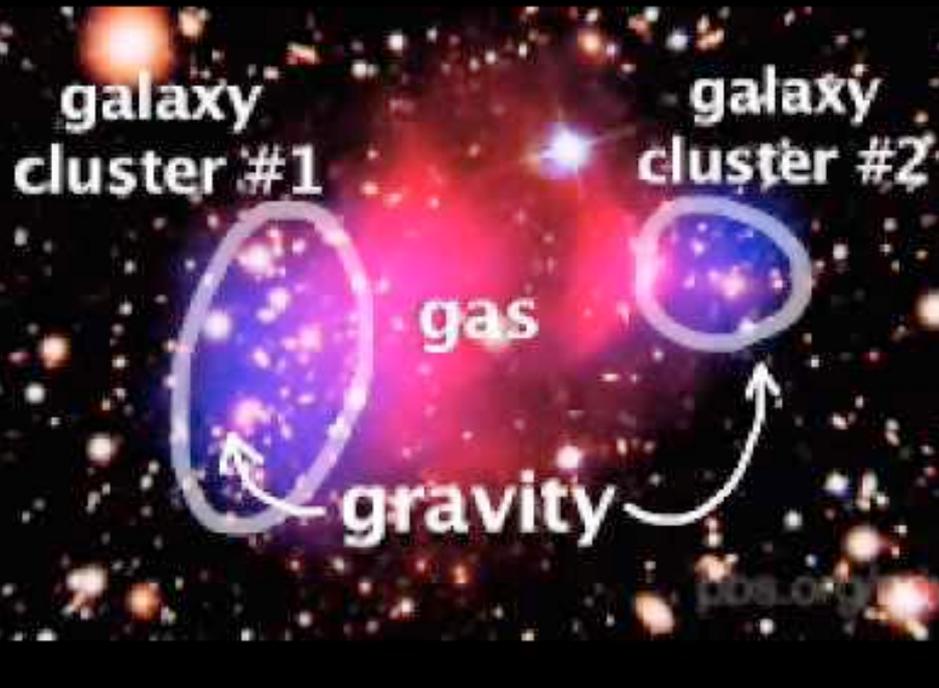
Autres lentilles  
gravitationnelles

Images  
gravitationnelles  
du quasar distant

10''



# Matière noire: indications



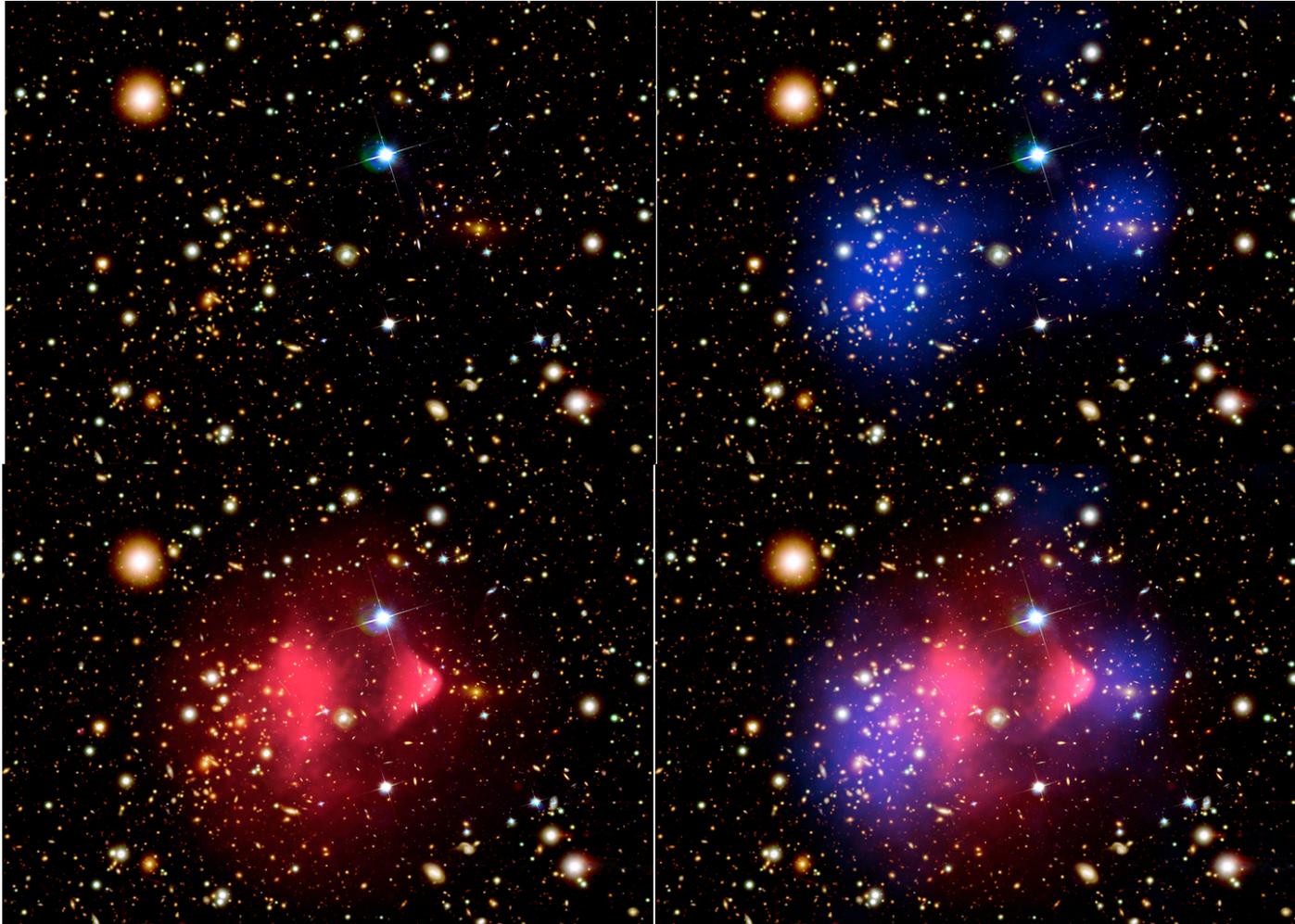
**Cluster bullet: collision de 2 galaxies  
découverte en 2006**

# Matière noire: indications



# Matière noire: indications

e



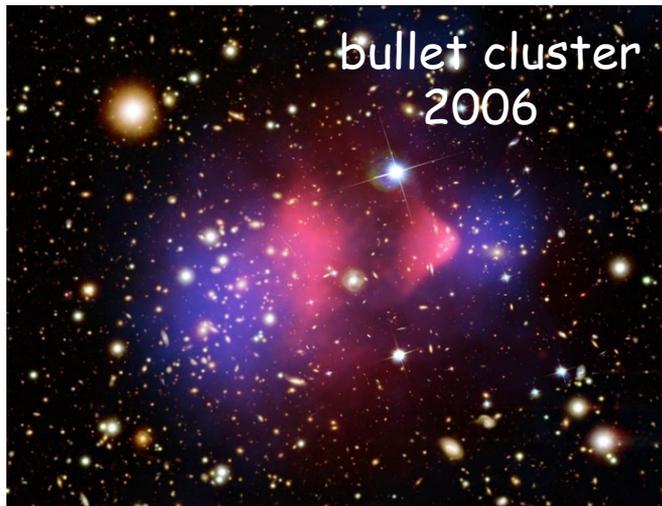
Collision entre  
deux ensembles de  
galaxies  
provoquant des  
onde de choqe

Rayons X  
Gaz,

ondes de  
choqe  
(red)

Grav.  
Lensing  
(blue) :

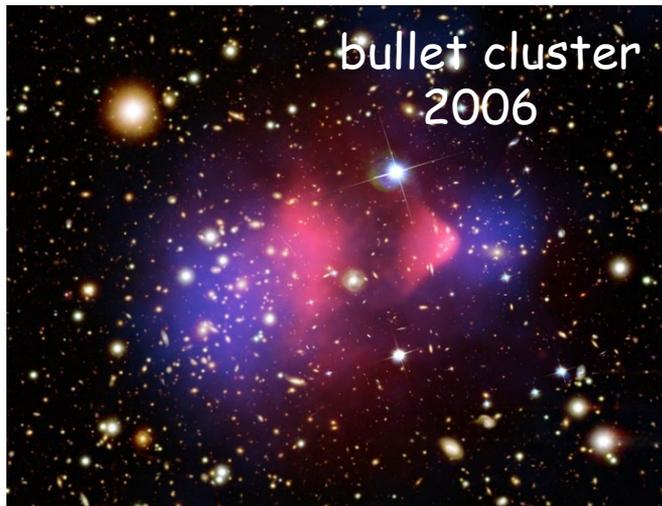
# Matière noire: indications



- *Gaz chaud (détection x)*
- *Matière Noire (détection par lentille gravitationnelle)*

- Preuve de l'existence de la matière noire
- Un amas traverse un autre amas
- La Matière Noire (gravitation) se comporte différemment de la matière baryonique, pas d'interaction
- Le gaz chaud reste piégé entre les 2 amas (interaction E-M)

# Matière noire: indications

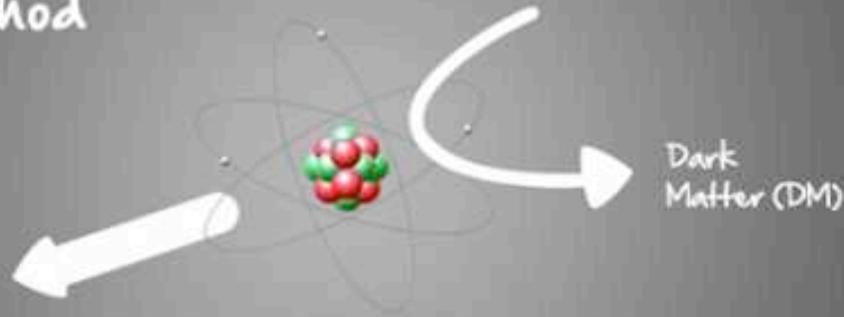


- *Gaz chaud (détection x)*
- *Matière Noire (détection par lentille gravitationnelle)*

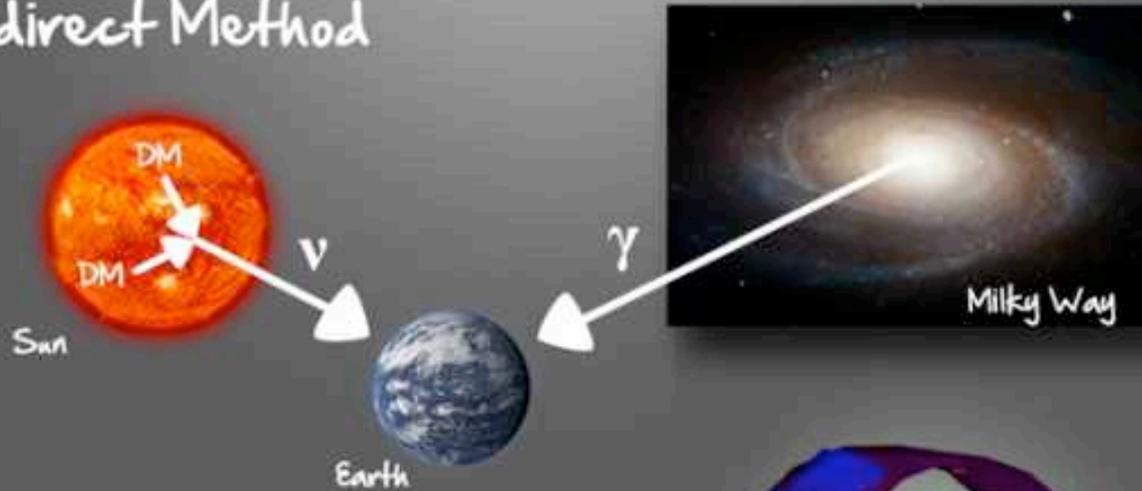
- Preuve de l'existence de la matière noire
- Un amas traverse un autre amas
- La Matière Noire (gravitation) se comporte différemment de la matière baryonique, pas d'interaction
- Le gaz chaud reste piégé entre les 2 amas (interaction E-M)

# Dark Matter search strategies

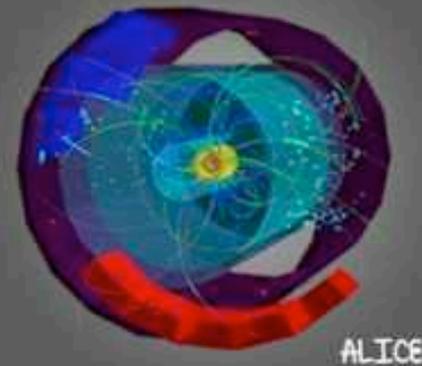
## Direct Method



## Indirect Method



## Production at the Large Hadron Collider



Incoming Particle

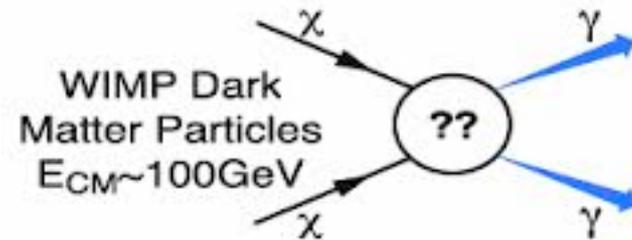
bound  
ty

# Matière noire: recherche

Détection directe

Détection indirecte

Annihilation de matière noire

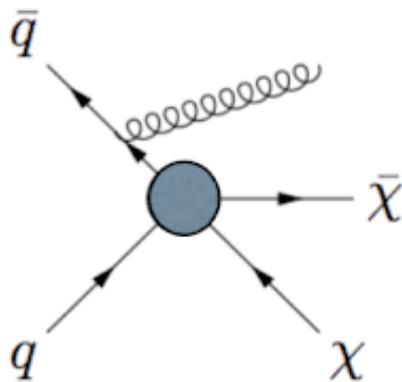
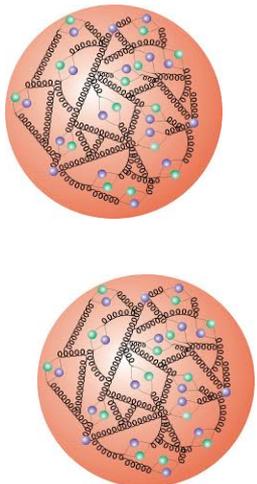
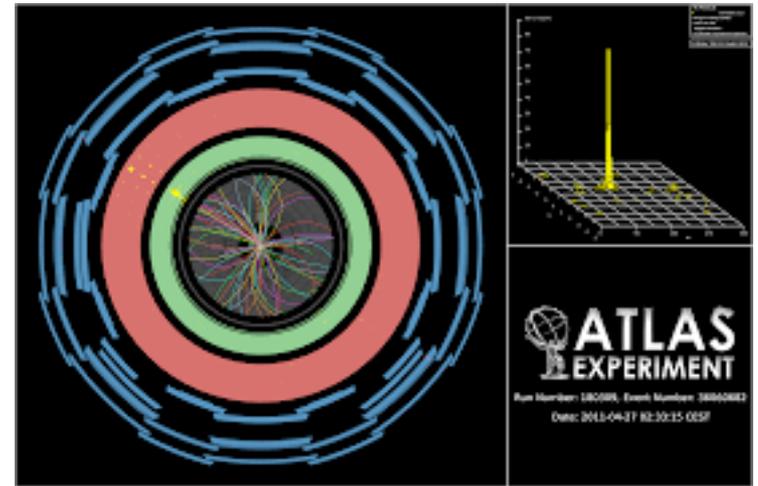


# Matière noire: recherche

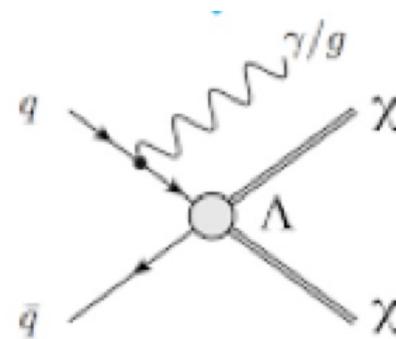
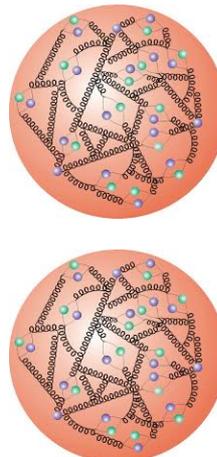
Détection directe

Détection indirecte

Production au LHC



mono-jet+MET

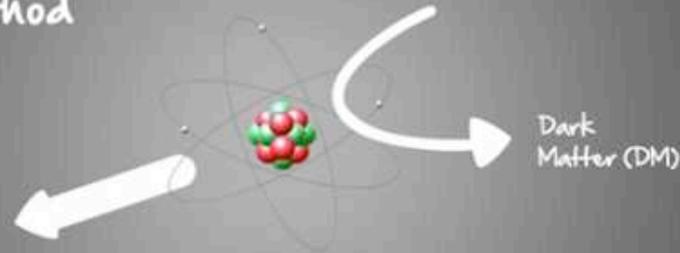


mono-photon+MET

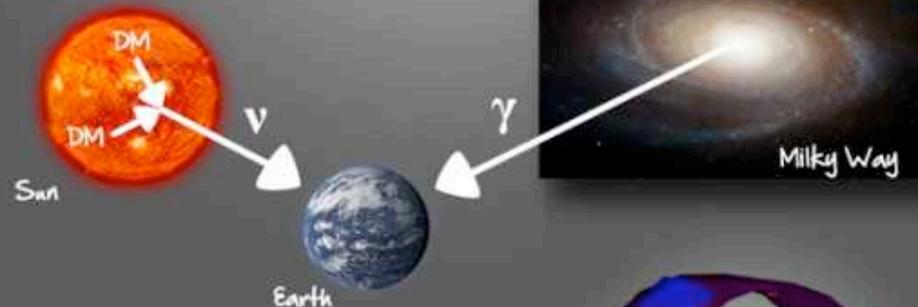
# Matière noire: recherche

## Dark Matter search strategies

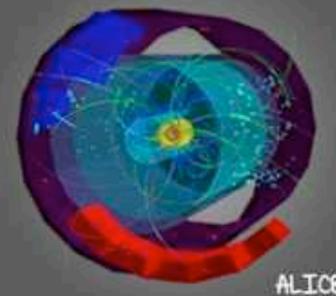
Direct Method



Indirect Method



Production  
at the Large Hadron Collider



# Les questions « ouvertes »



Quelle est l'origine de la **matière noire** ?

Comment peut-on introduire la **gravité** dans le modèle standard ?

Quelle est l'origine de l'**asymétrie matière-antimatière** observée dans l'Univers ?

Etudier le mécanisme de **Higgs** en détail

**Neutrinos** massifs et oscillants

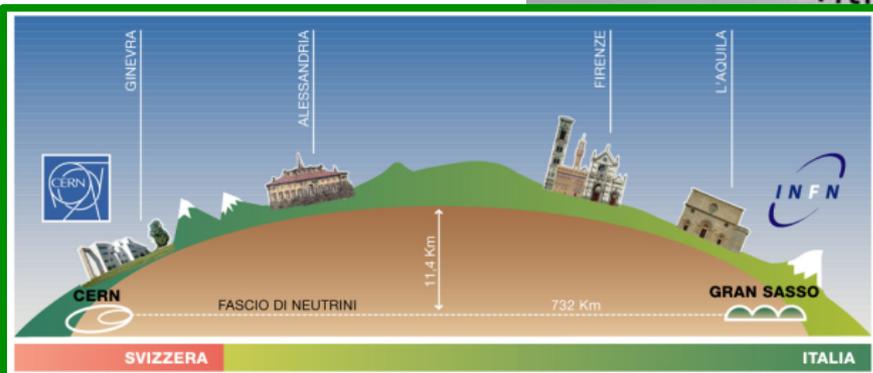
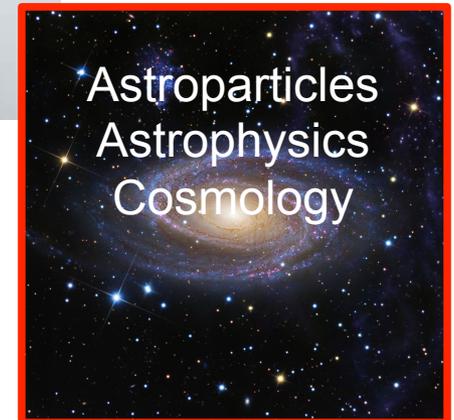
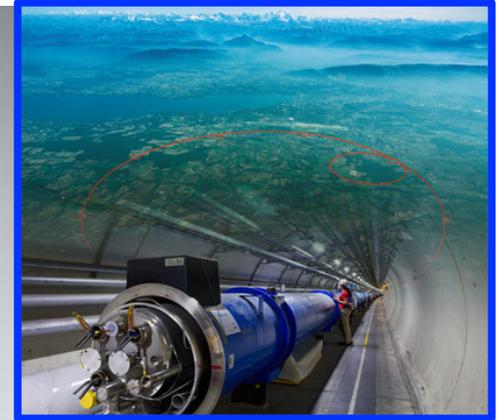
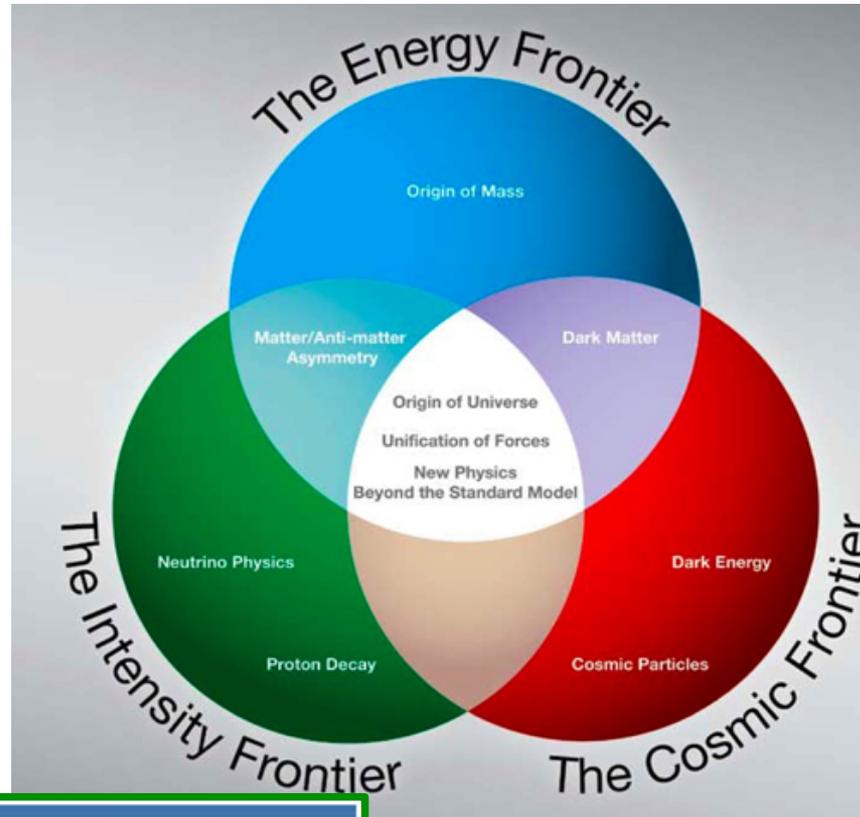
Quelques résultats sur collisionneurs qui mettent en « **tension** » la théorie

Questions « **conceptuelles** » :

- Pourquoi a-t-on **trois familles** ?
- Les leptons/quarks sont-ils **composites** ?
- Existe-t-il d'autres particules élémentaires ?
- Existe-t-il plusieurs bosons de Higgs ?
- A-t-on **unification** des trois interactions ?
  - Existe-t-il d'autres interactions ?
  - Existe-t-il plus que 4 **dimensions** ?

•...

# Plusieurs approches



# Les deux infinis



- Comprendre les lois de la physique dans des conditions similaires au début de l'Univers
- Détecter des particules qui nous renseignent sur l'Histoire de l'Univers
- Des énigmes cosmologiques telles que la matière noire peuvent trouver leurs réponses auprès de la physique des particules