

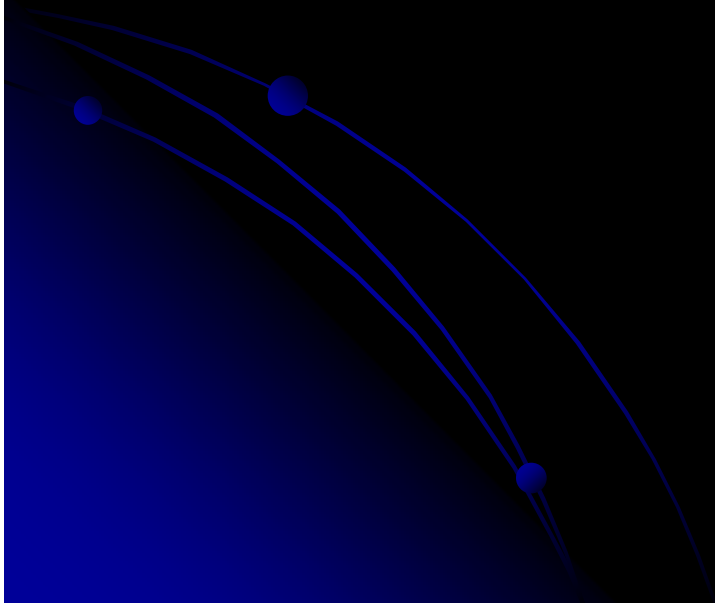
MATIÈRE NOIRE ET ÉNERGIE NOIRE

Les inconnues d'un univers invisible

Dominique Fouchez
Centre de Physique des Particules de Marseille

19 Septembre 2009

Un univers visible



De la terre au cosmos

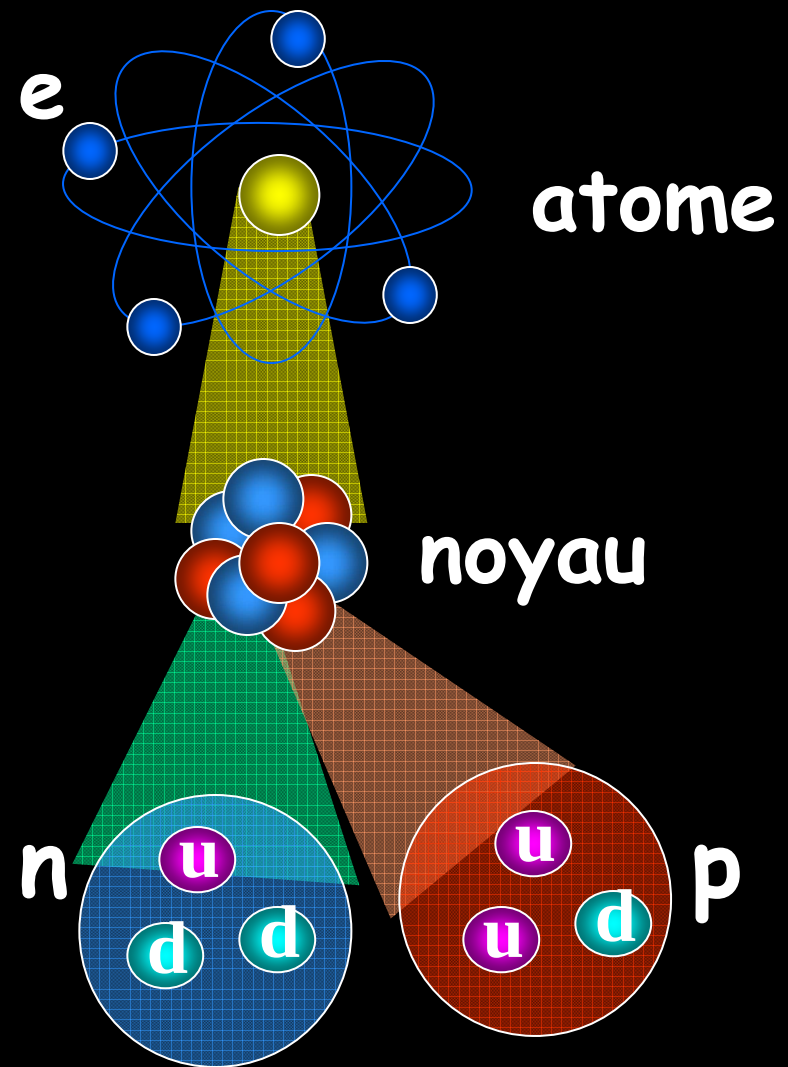
- Matière
- Rayonnement



Les briques élémentaires

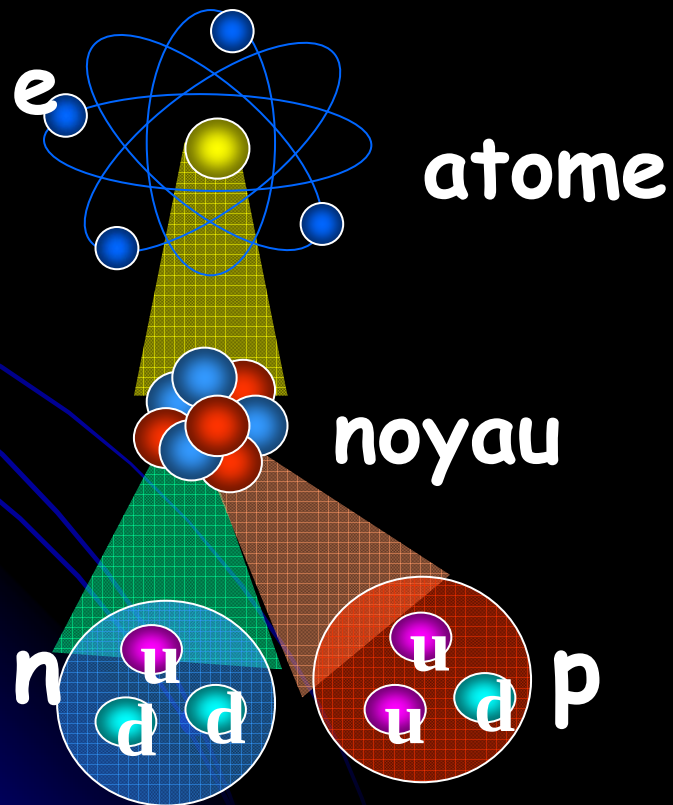
- Matière
- Rayonnement

- Atome
- forces



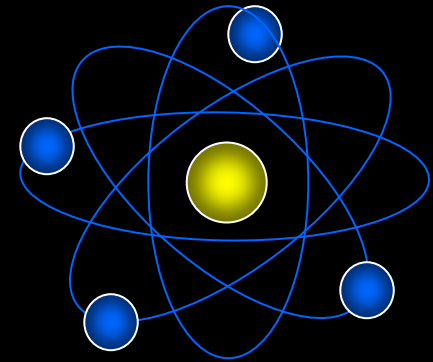
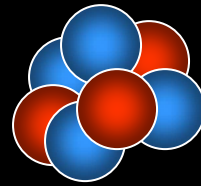
Les particules élémentaires

- La matière = quarks + leptons
- Le rayonnement = boson d'interaction

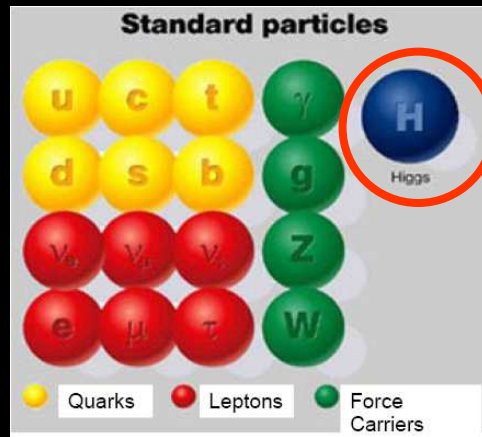


Les forces (ou interactions)

- interaction forte
- Interaction électromagnétique
- Interaction faible
- Interaction gravitationnelle



Le modèle standard de physique des particules

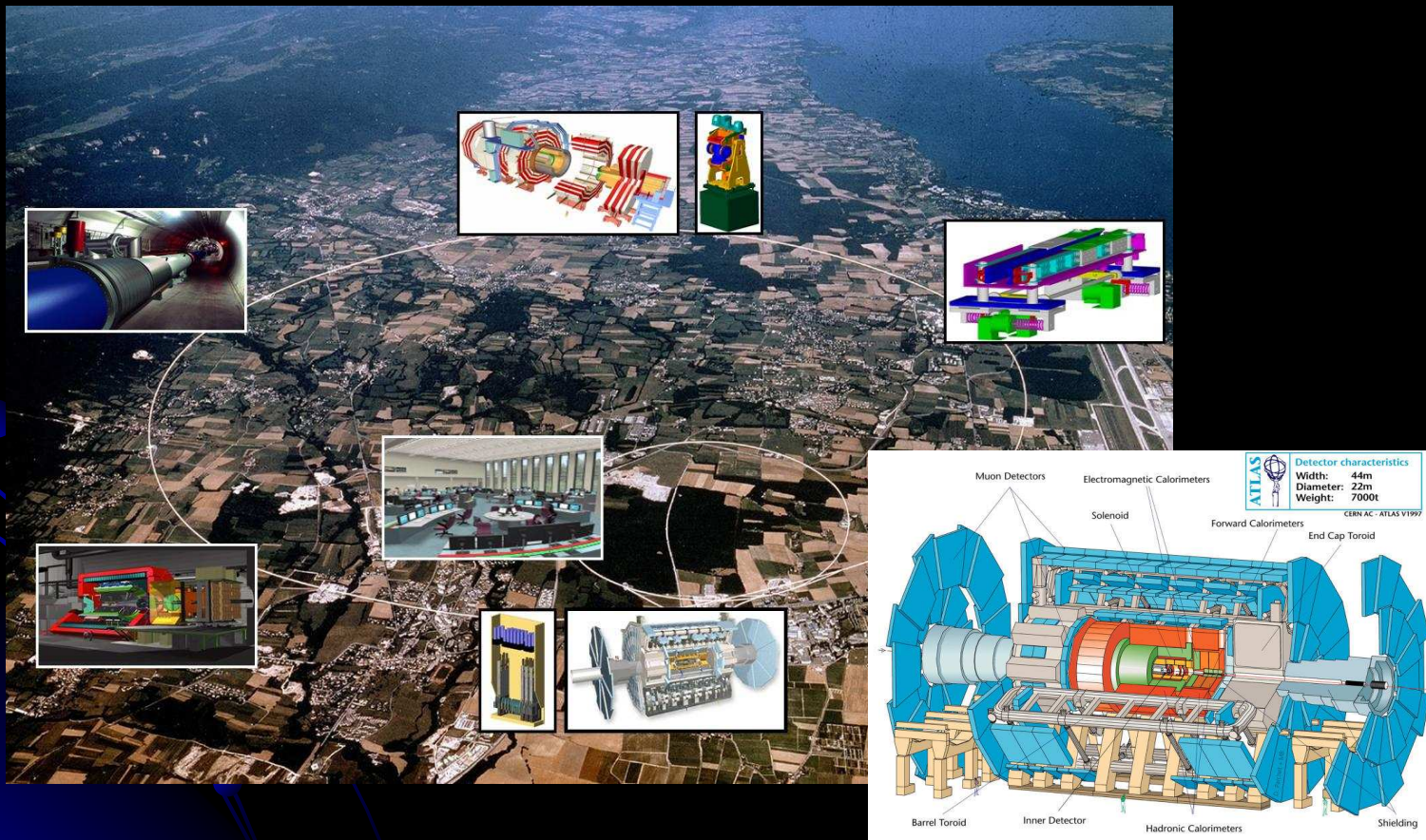


Une particule à découvrir : le boson de Higgs

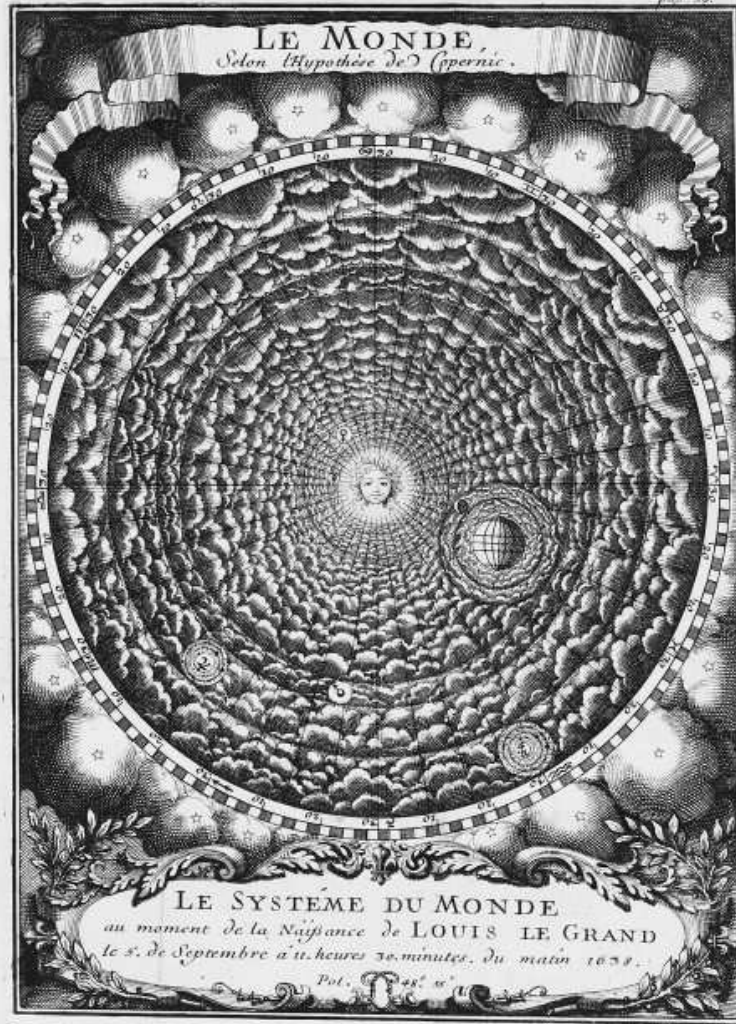
Pas de gravitation, traitée à part

Le LHC

- La machine à découvrir le boson de Higgs



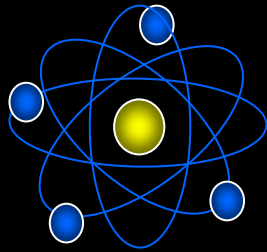
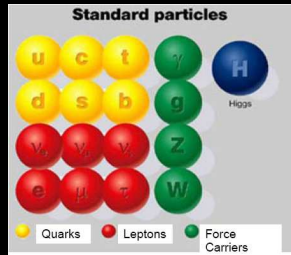
La cosmologie



La cosmologie

L'univers comme un tout

- Retournons vers l'infiniment grand :



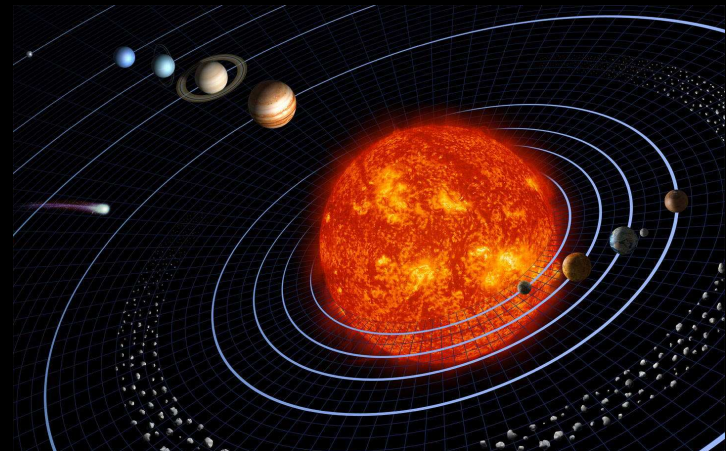
Astrophysique : étude des astres, des galaxies ...

La cosmologie : l'univers comme un tout

Un univers en mouvement

- Les mouvements des astres sont soumis à la gravitation , plus précisément à la relativité générale

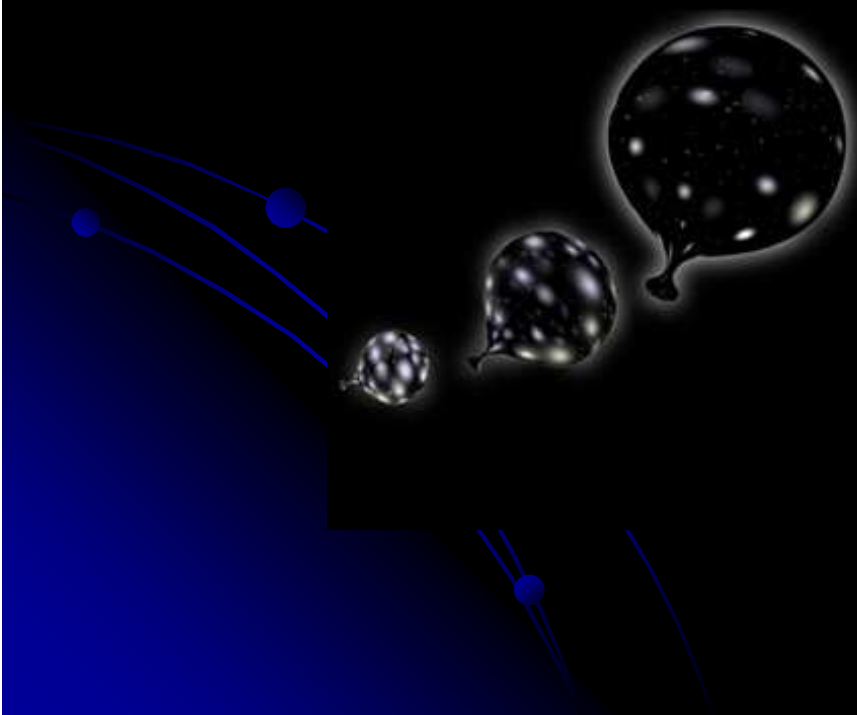
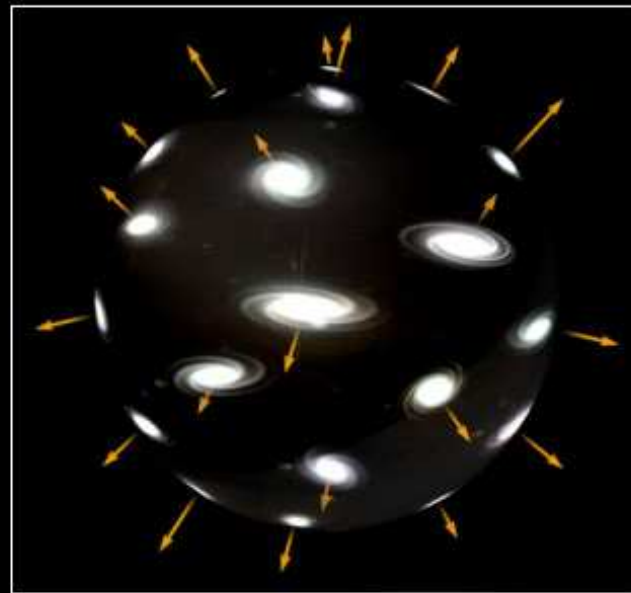
Les planètes tournent autour du soleil



Les étoiles tournent dans leur galaxie

Un univers en mouvement

Galaxies : elles s'éloignent les unes des autres : c'est l'expansion



Remonter le temps

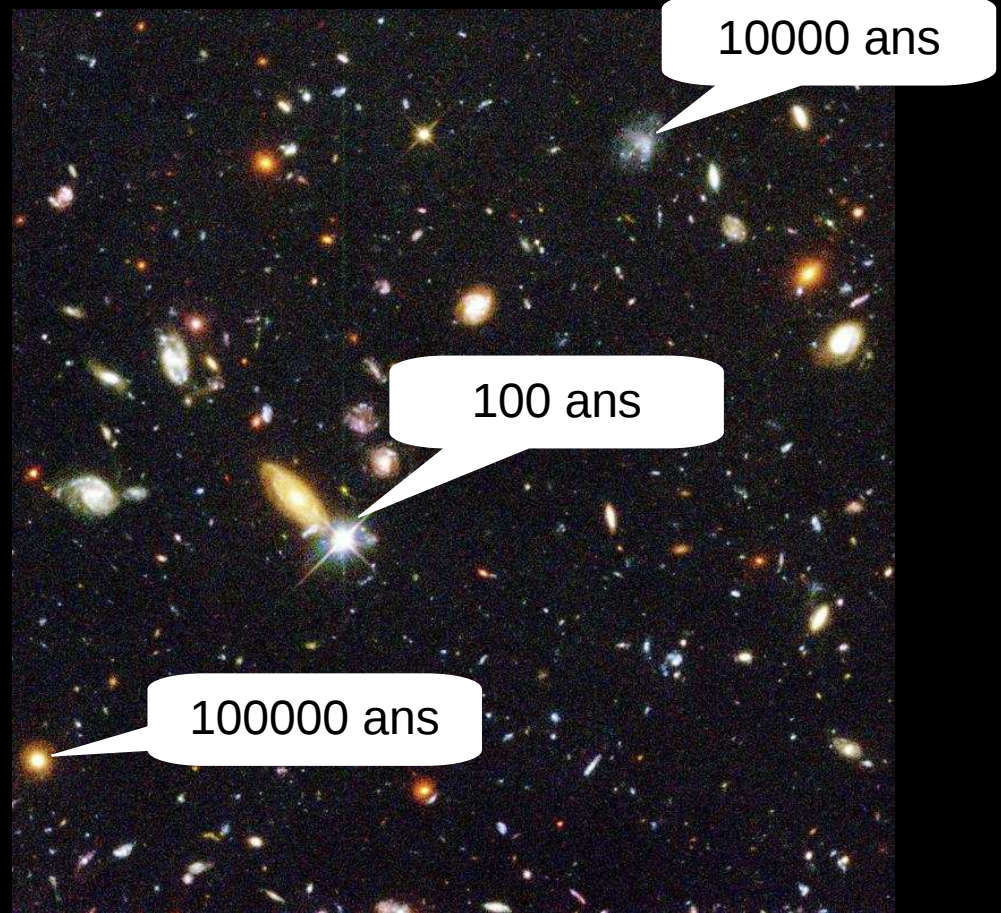
- Observer avec la lumière = remonter le temps

Lumière refroidie avec l'expansion :
Décalage vers le rouge (redshift)

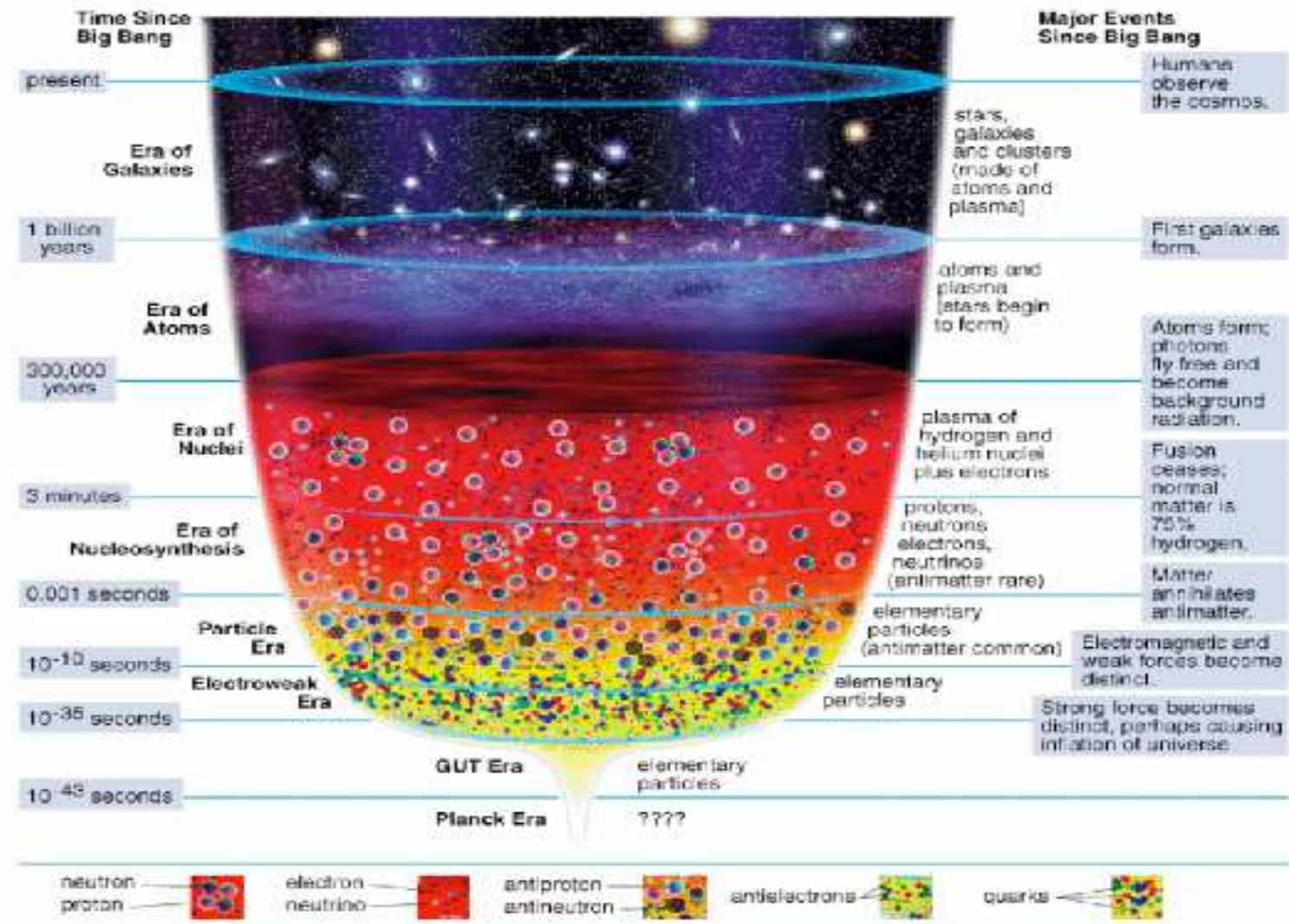
Etoile 100 ans

Galaxie proche 10 000 ans

Galaxie plus lointaine 100 000 ans

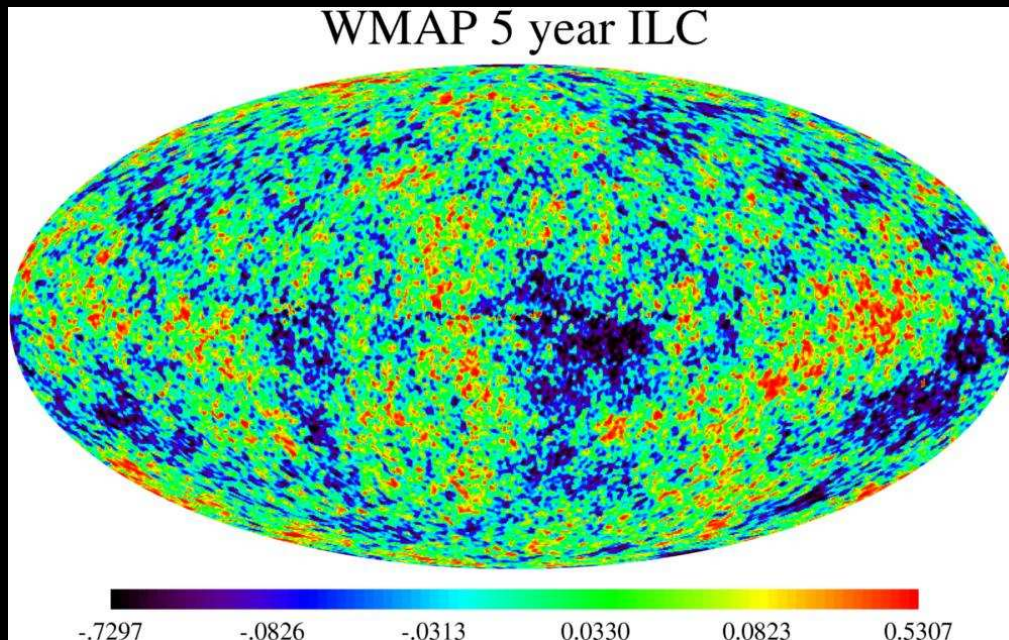


Le modèle du big bang



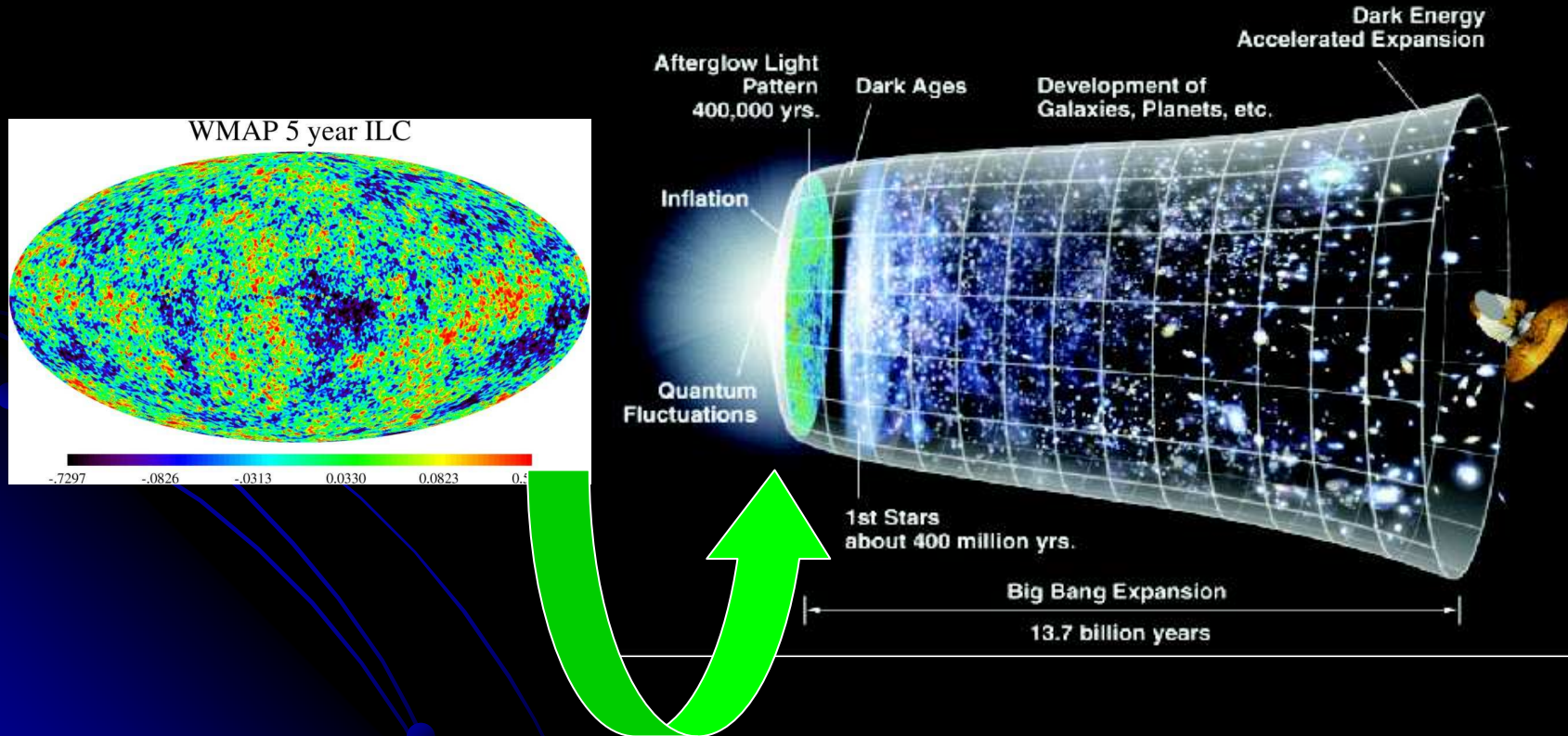
Le fond diffus cosmologique

- Une explosion initiale
- Emission de lumière
- Observation après une très grande dilatation : très refroidi : 3 K
- Très homogène



La formation des galaxies

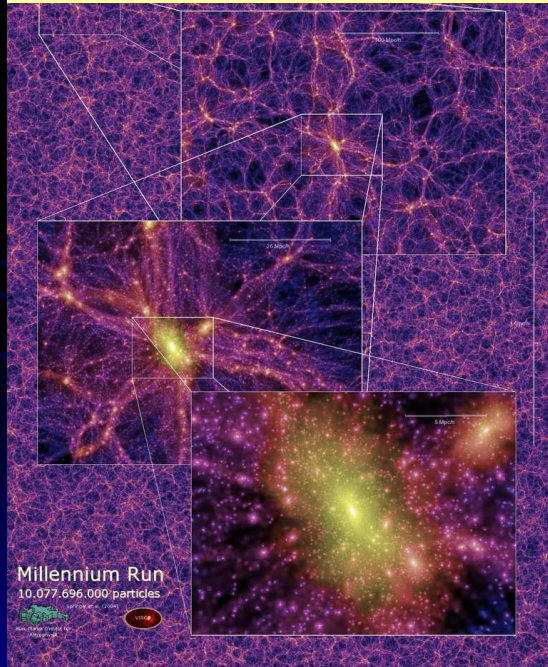
- Croissance des structures



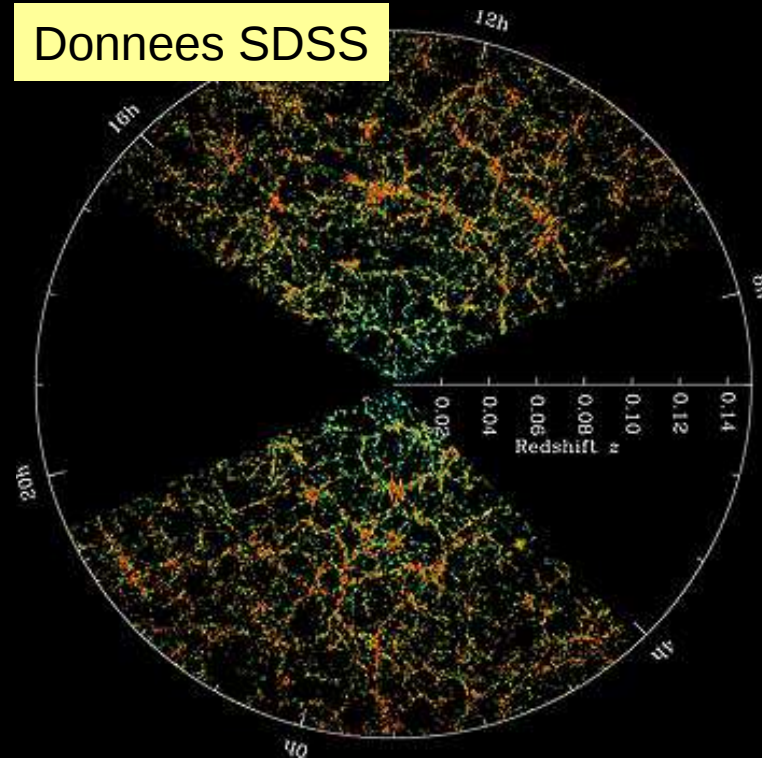
La formation des galaxies

- Croissance des structures

Simulations numeriques



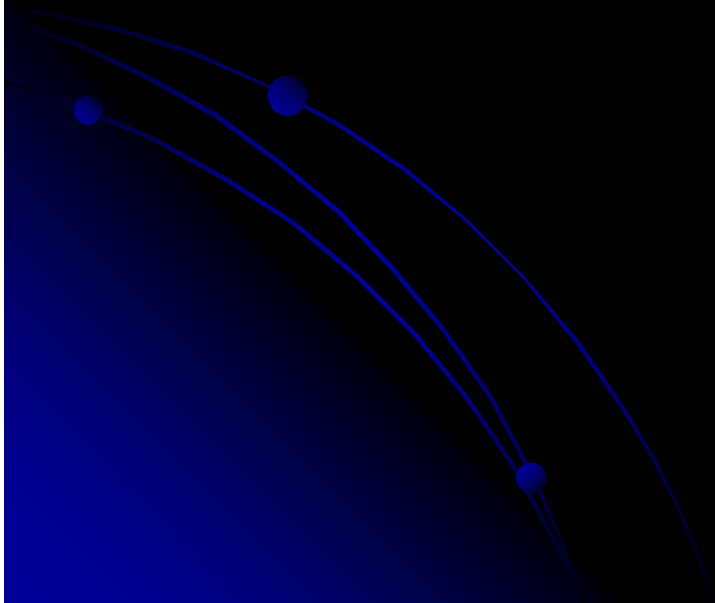
Donnees SDSS



Pourquoi un univers invisible?

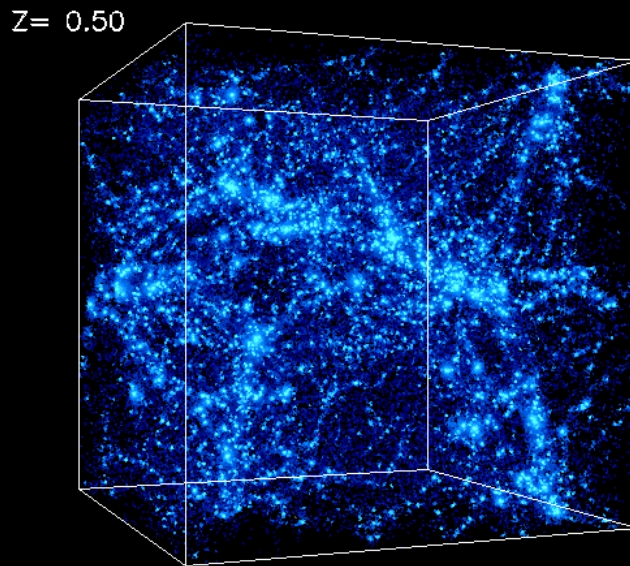
- Regardons de plus près ...
 - La croissance des structures
 - Le bilan de la matière visible
 - Le bilan de l'énergie
 - D'autres incohérences ou indices ...
- 

Un univers invisible



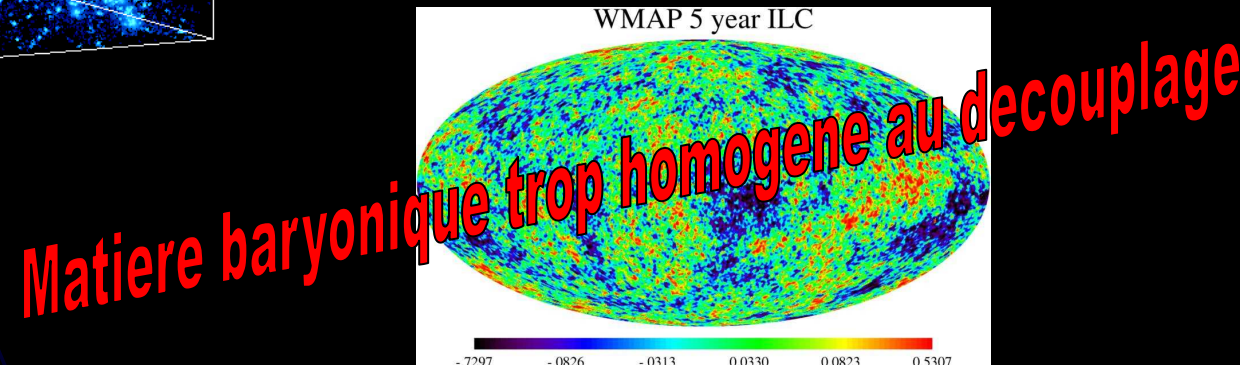
La matière noire

- Croissance des structures



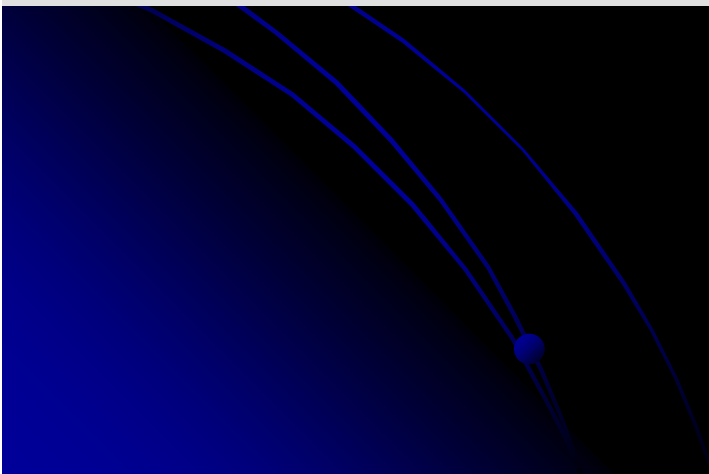
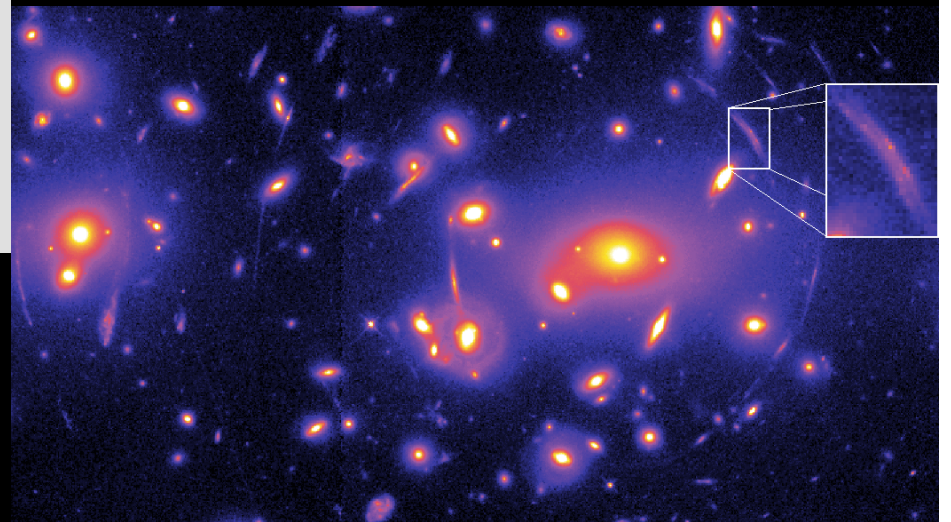
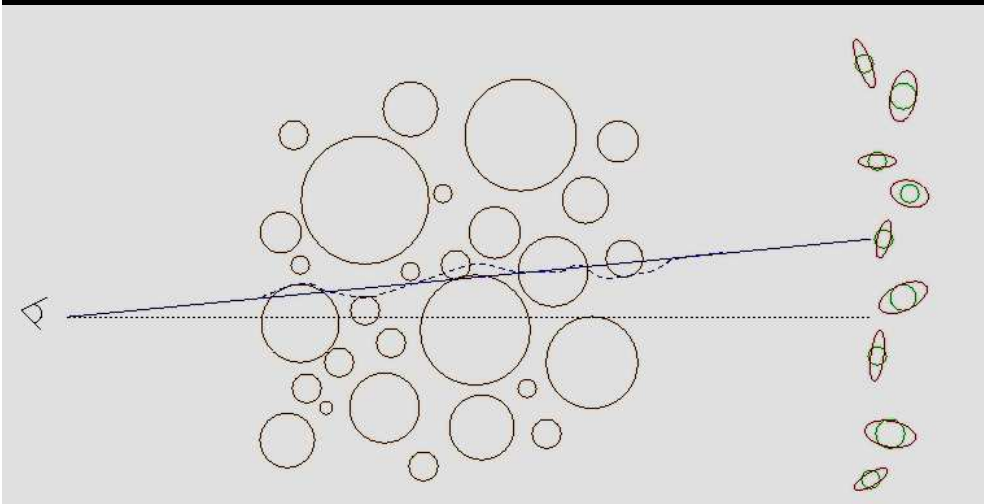
Si pas de matière noire
non baryonique

Pas de galaxies !



La matière noire

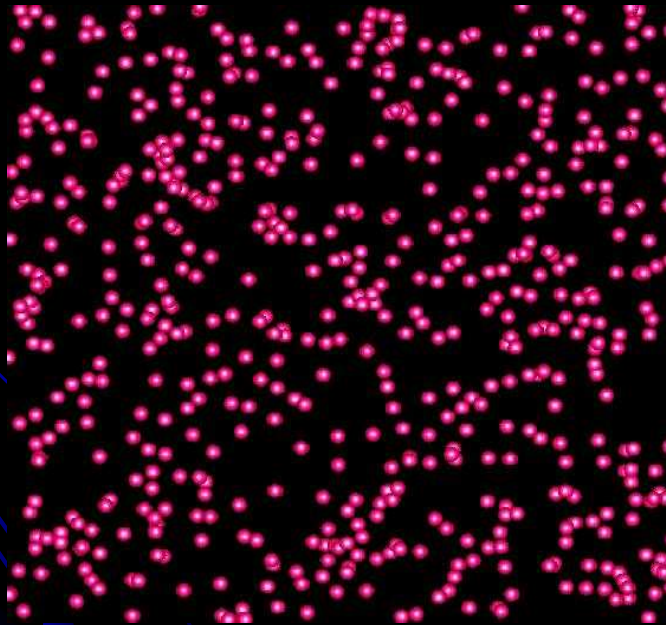
- Lentilles gravitationnelles (fortes)



La matière noire

- Lentilles gravitationnelles (faibles)

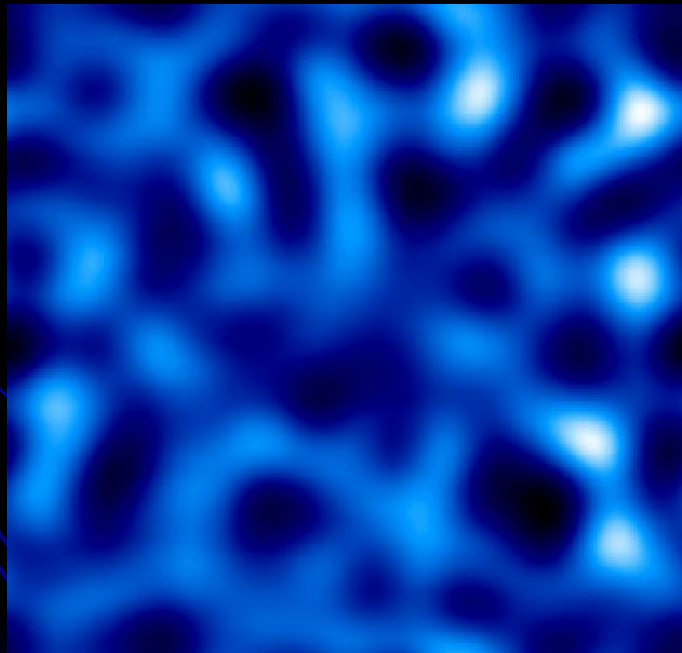
Des simulations ...



La matière noire

- Lentilles gravitationnelles (faibles)

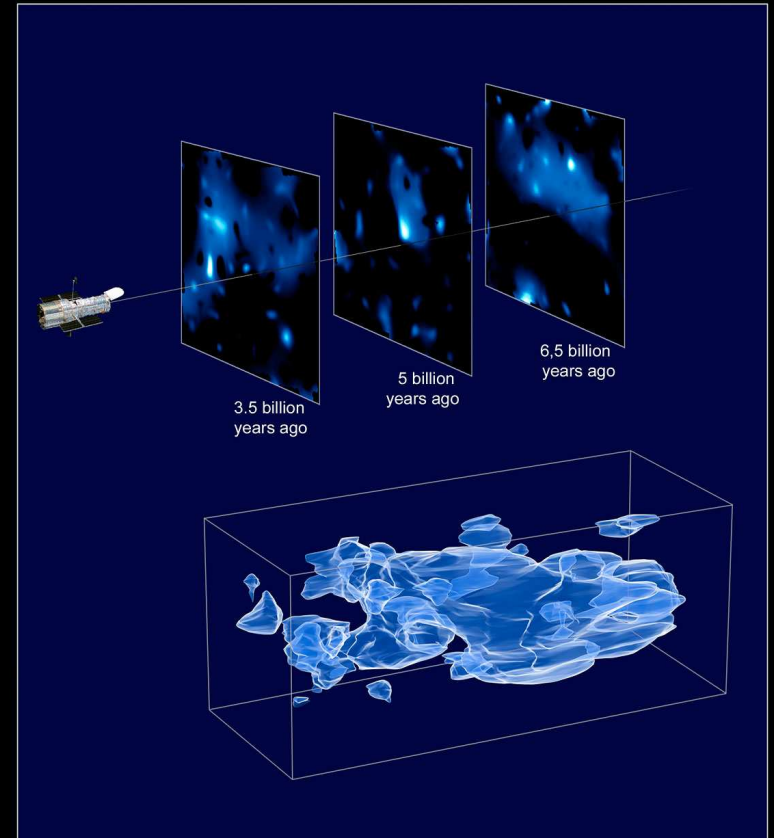
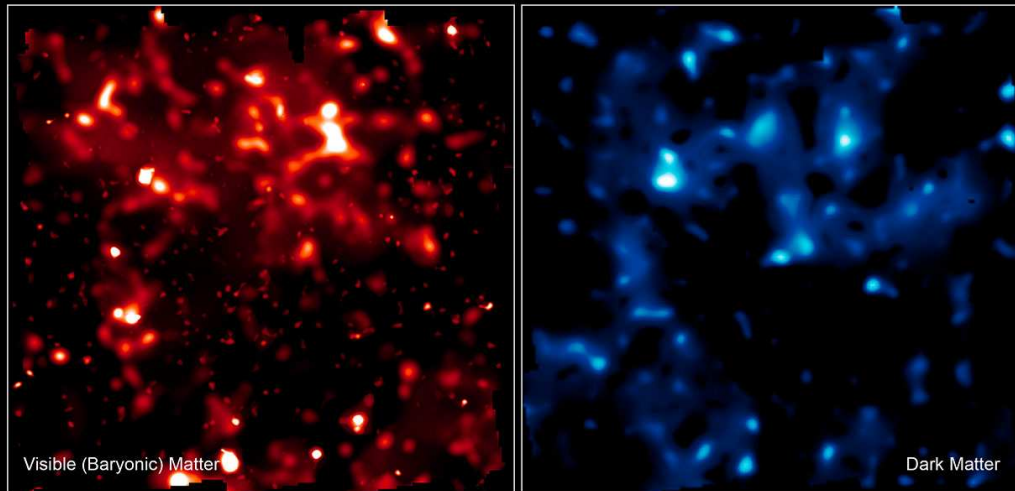
Des simulations ...



La matière noire

- Lentilles gravitationnelles (faibles)

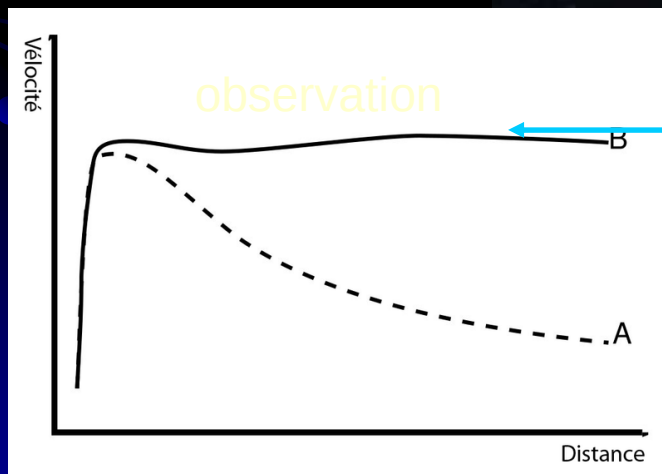
... et des observations !



La matière noire

- Rotation des galaxies

Rotation autour du centre



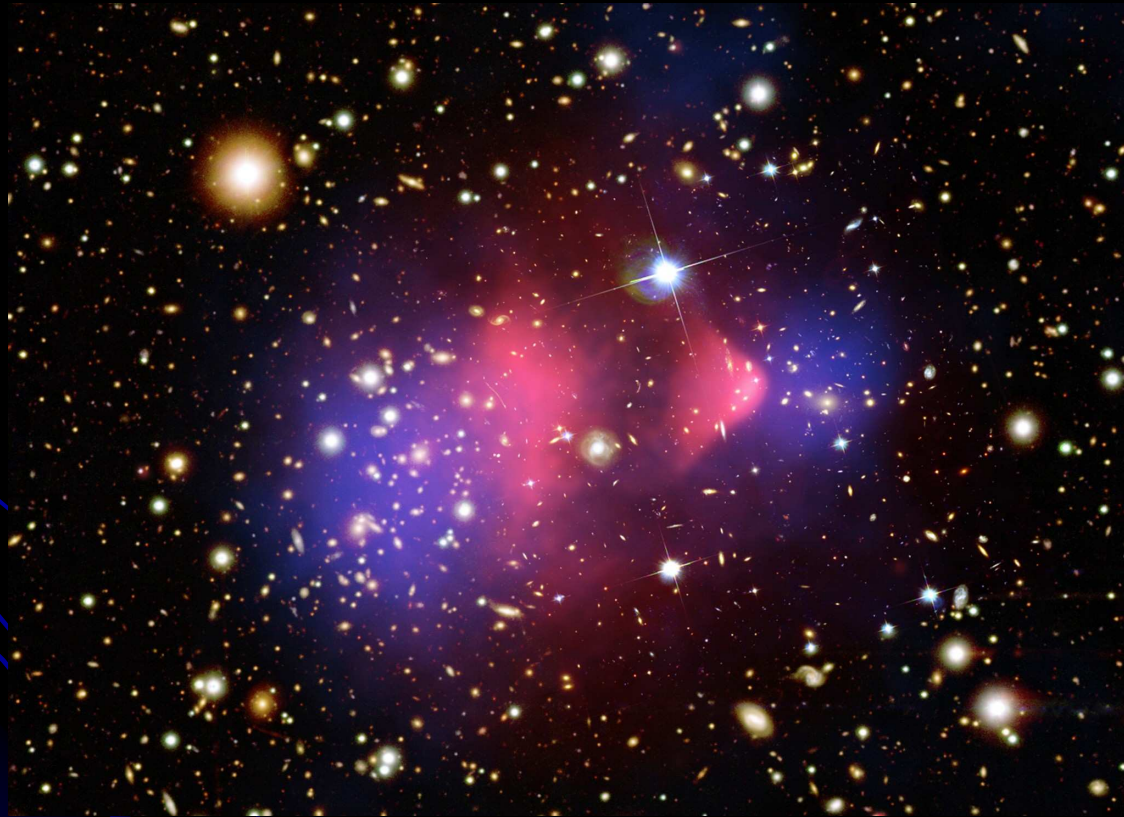
Distance 30 000 a.l.

Vitesse 200 km/s

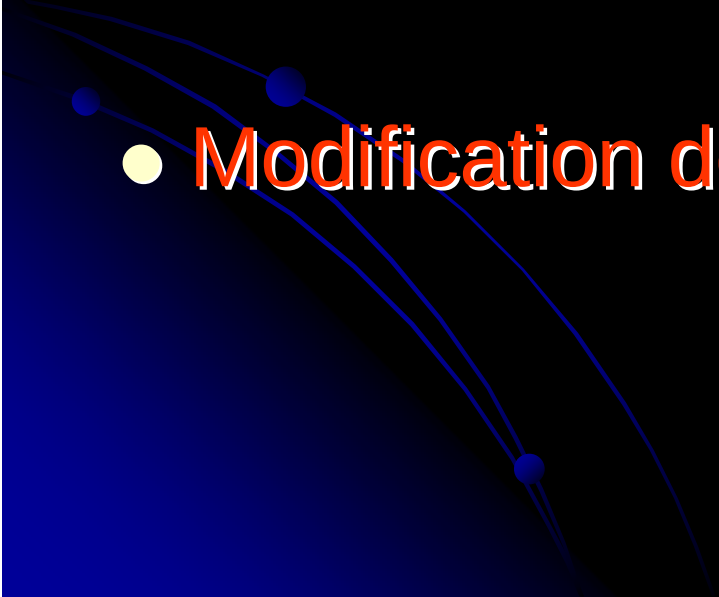
Masse = Distance x (Vitesse)² / G

La matière noire

- Collision d'amas de galaxies !

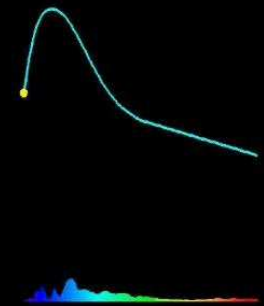
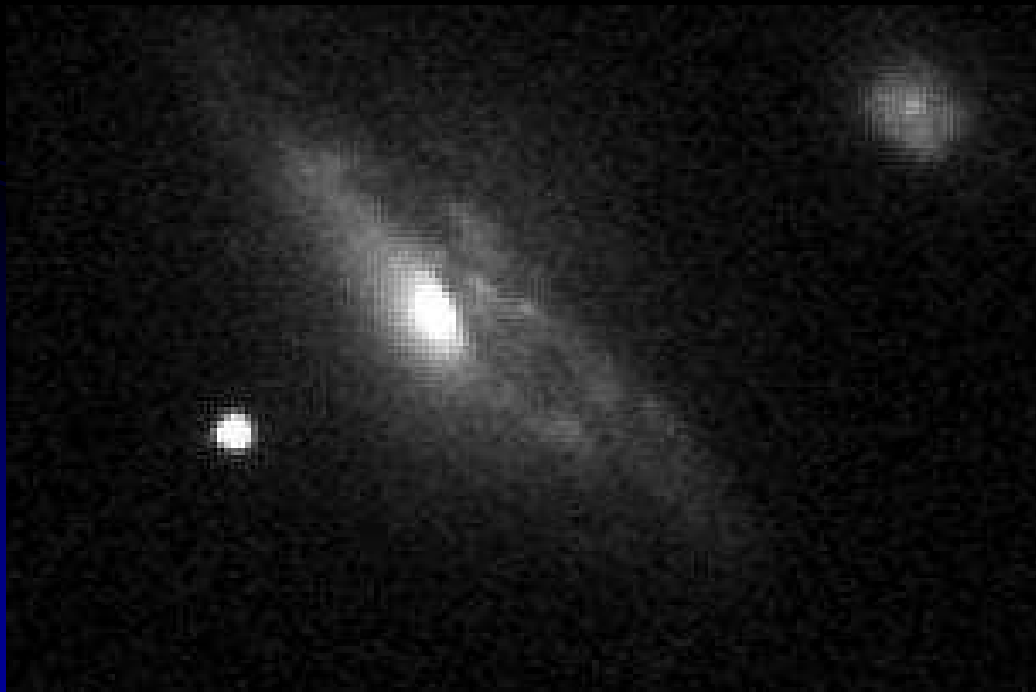


Les candidats de matière noire

- **WIMPS** : des particules massives
 - Neutralinos ? Voir la suite
 - **Axions** : des particules très peu massives
 - **Modification de la gravitation ?**
- 

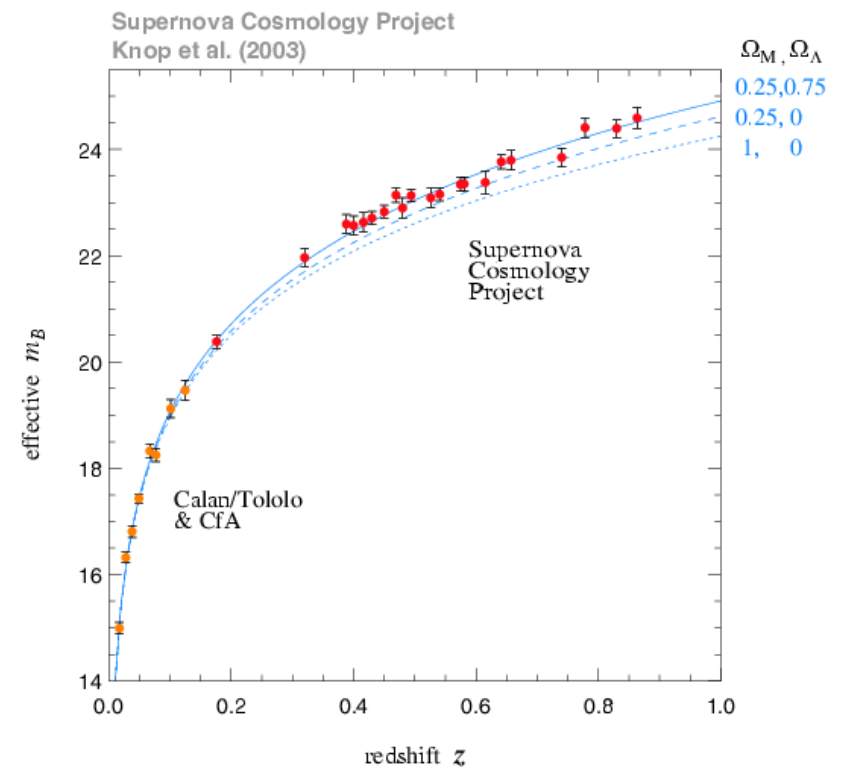
L'énergie noire

- La mesure de l'accélération de l'expansion avec les supernovae



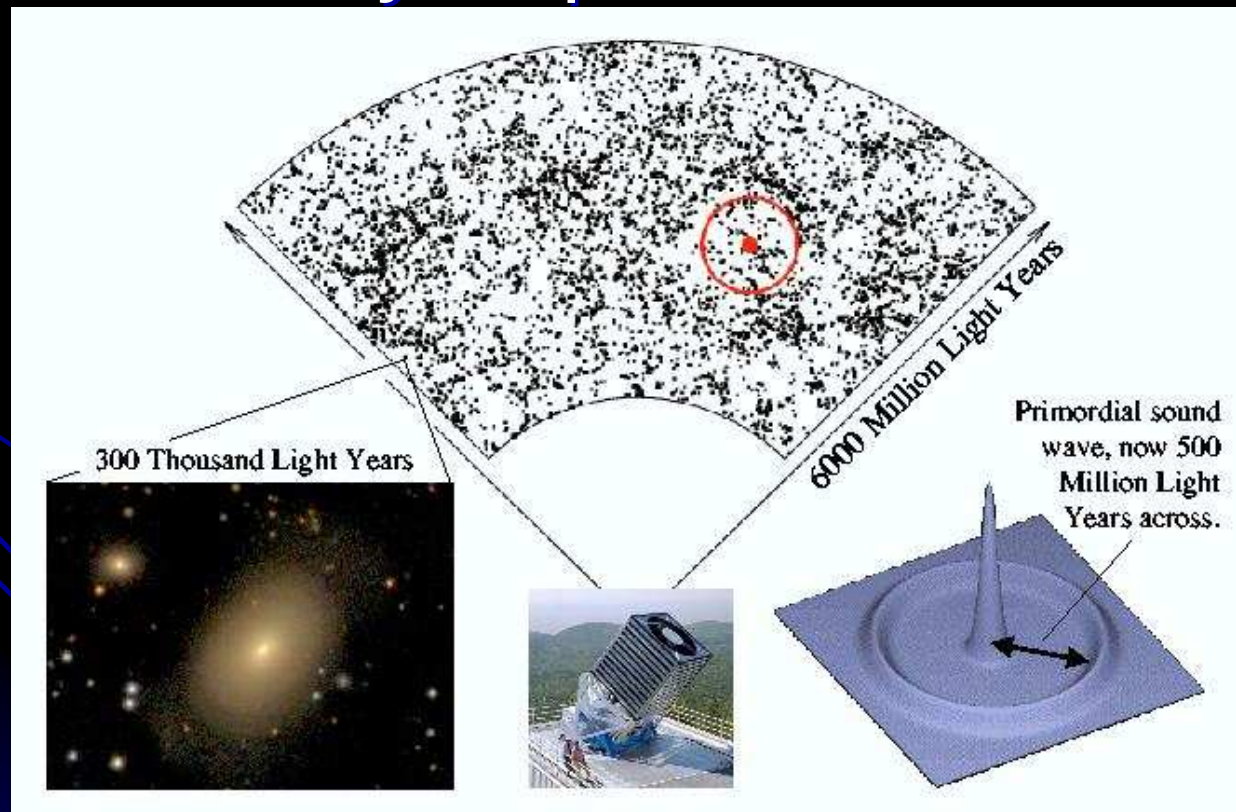
L'énergie noire

- La mesure de l'accélération avec les supernovae



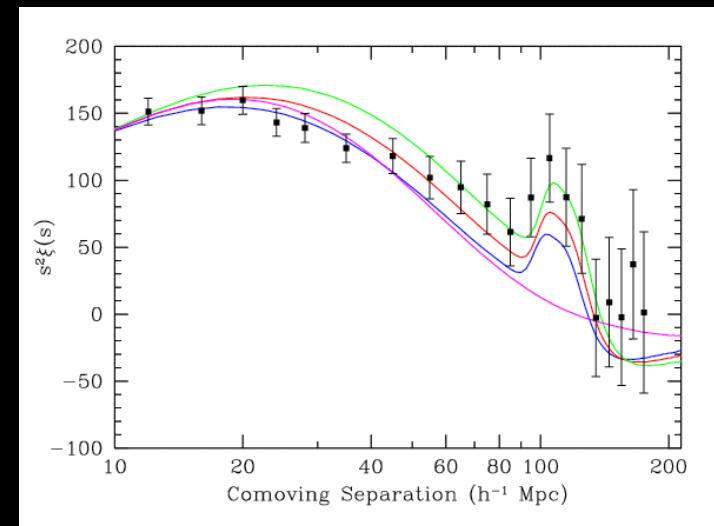
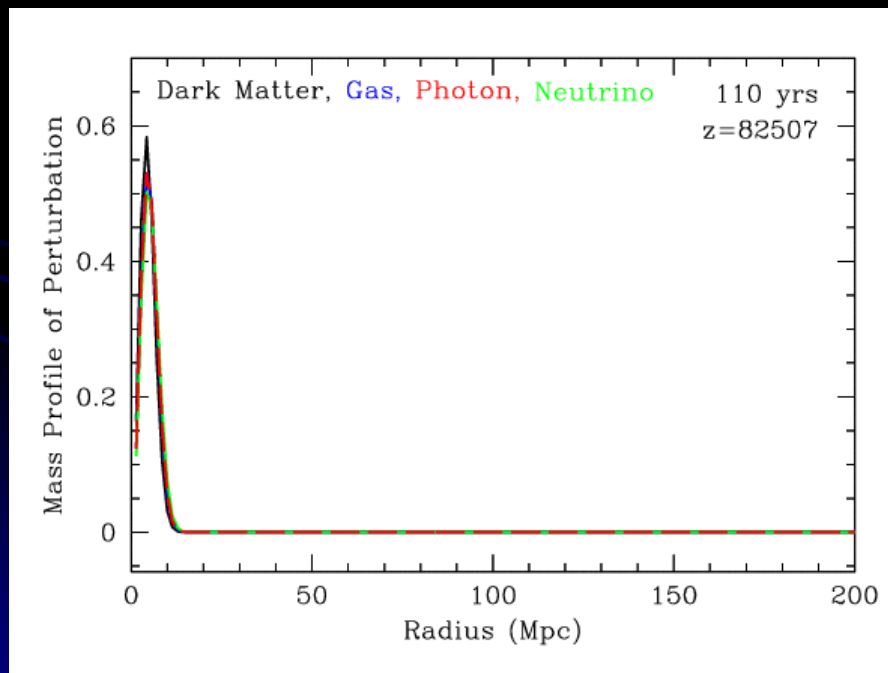
L'énergie noire

- La mesure de distance angulaire avec les oscillations baryoniques



L'énergie noire

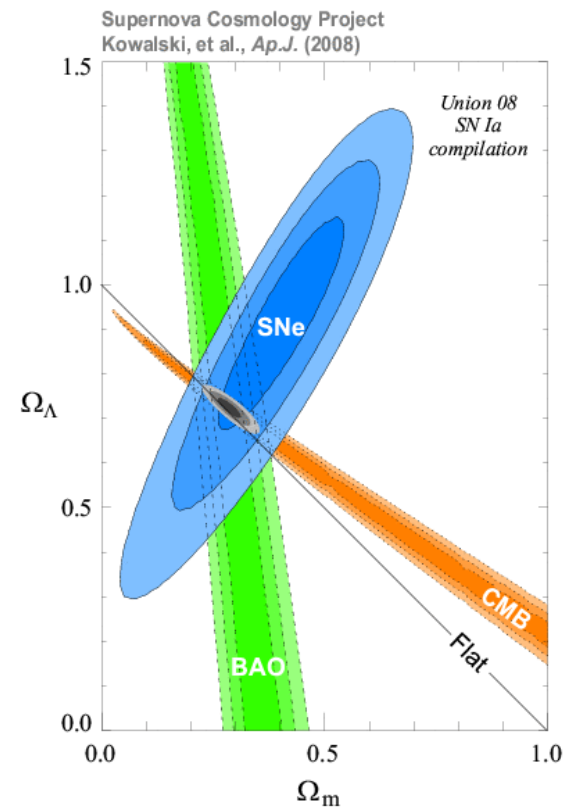
- La mesure de distance angulaire avec les oscillations baryonique



L'énergie noire

Un seul type d'observation de
suffit pas !

Il faut combiner plusieurs
mesures différentes pour
contraindre le modèle
théorique

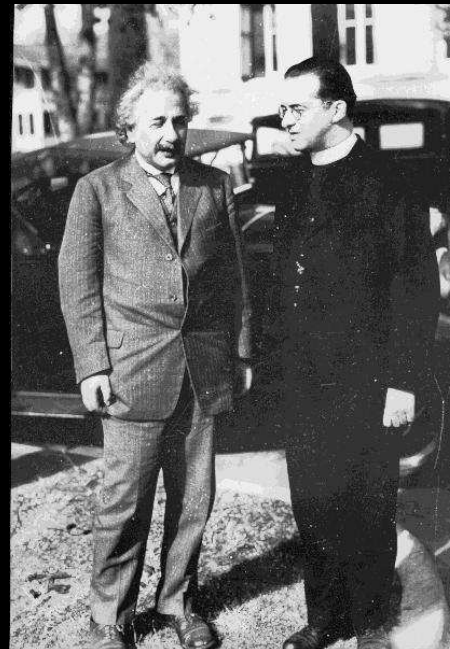


Les candidats énergie noire

- La constante cosmologique

Imaginée ..

puis rejetée par Einstein !

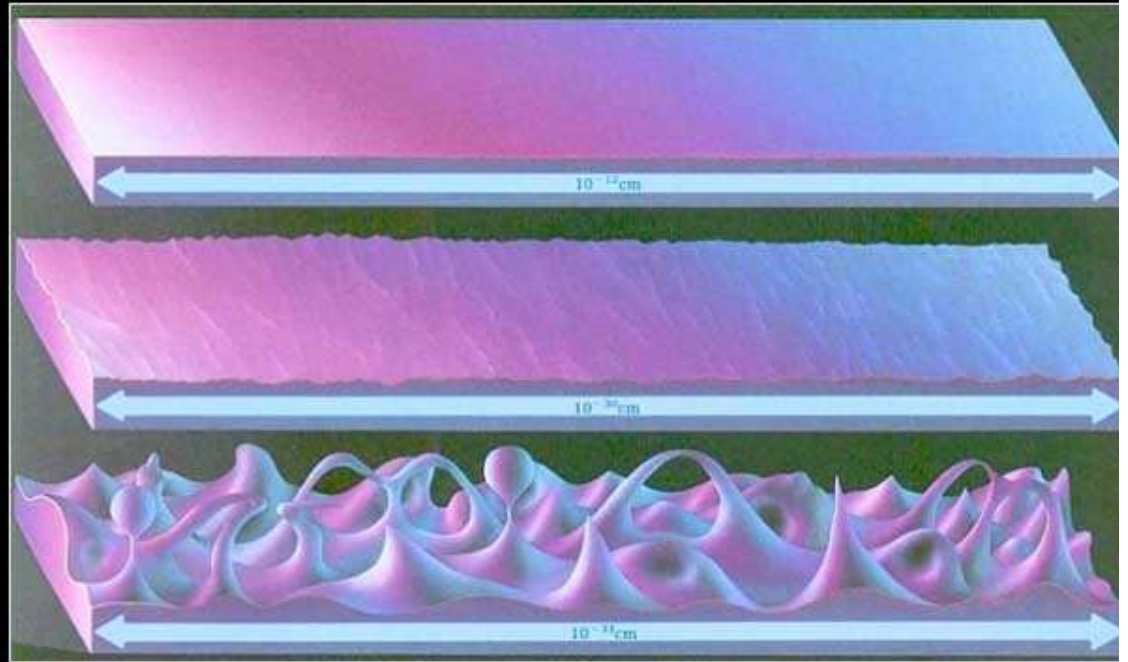


Les candidats énergie noire

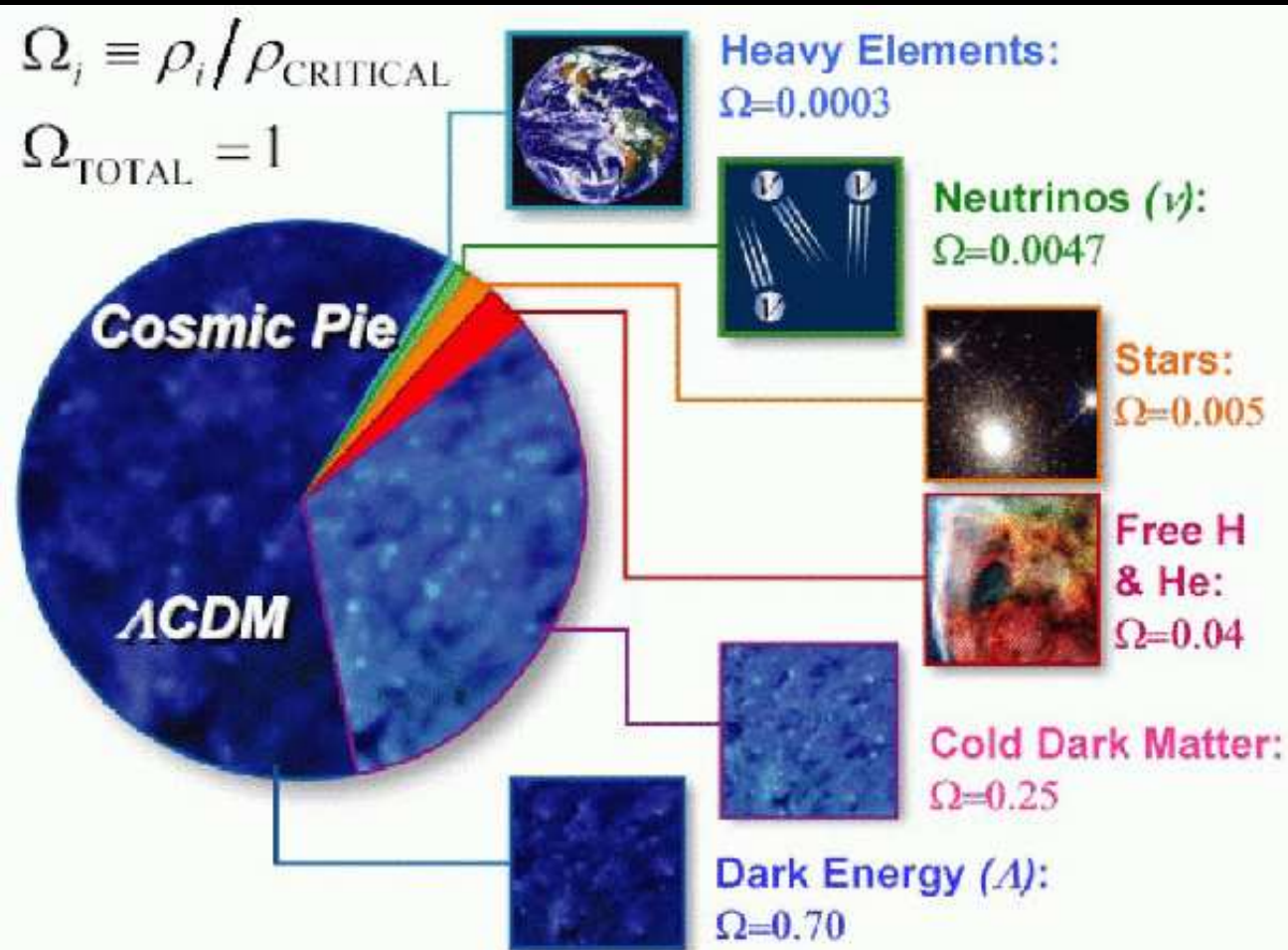
Energie du vide ?

Pas compris
par la théorie !

- Autre à imaginer ?
 - quintessence
 - ...

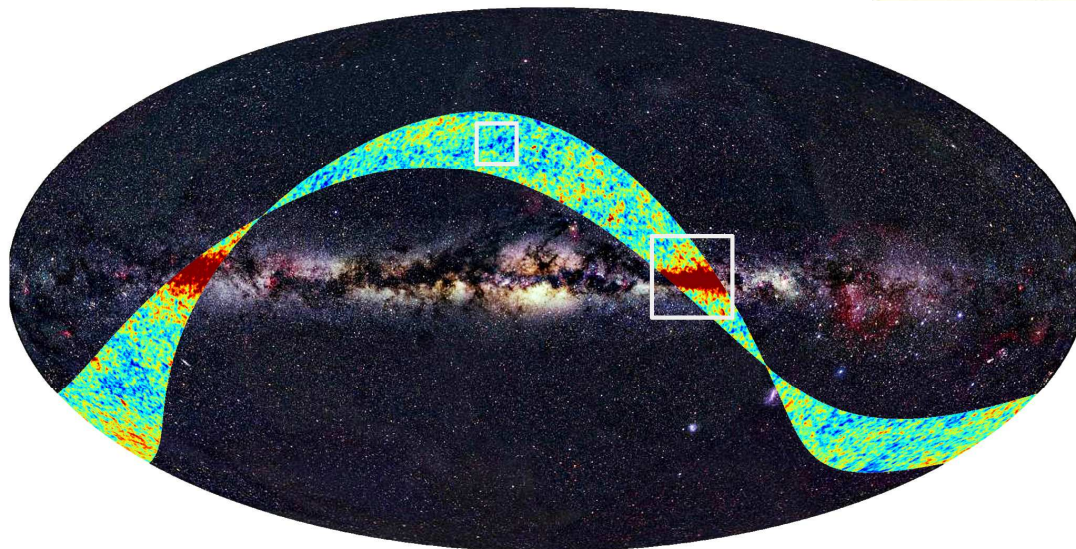


Le modèle standard de la cosmologie



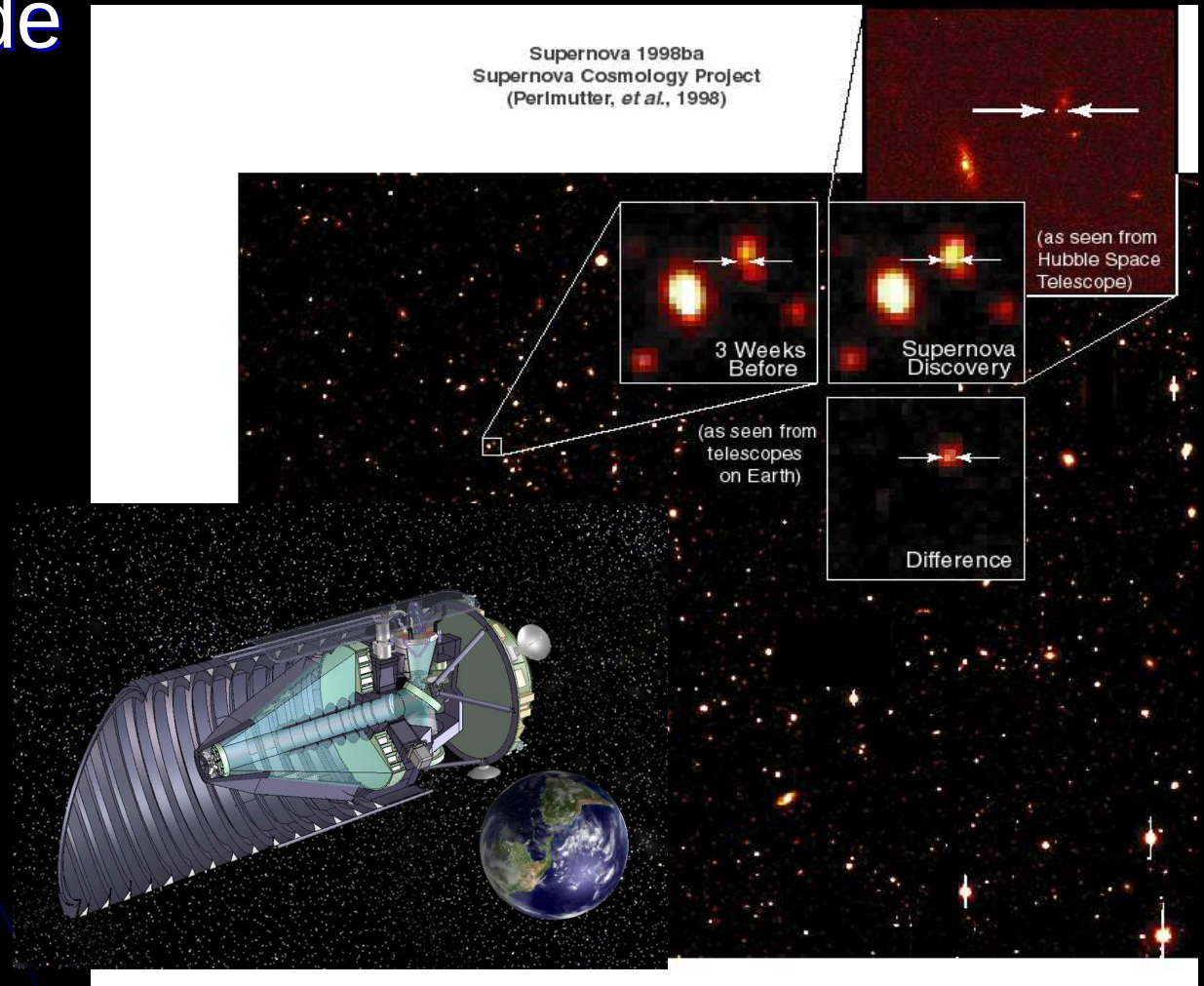
Les projets de mesures cosmologique

- Planck
- Hershell



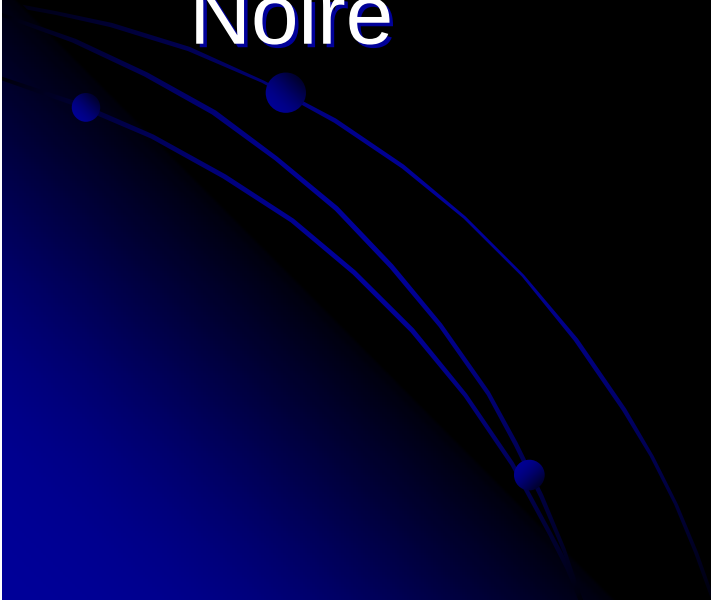
Les projets de mesures cosmologique

- JDEM/Euclide
- LSST
- TMT



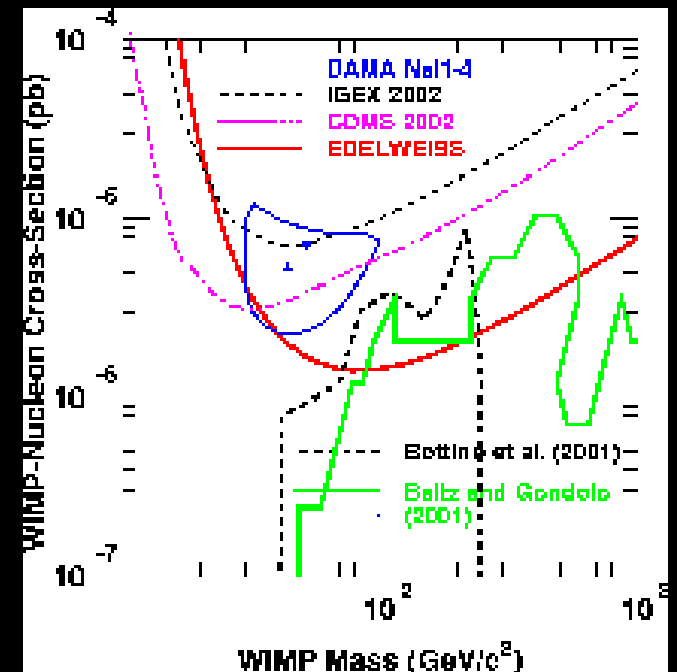
Les liens entre physique des particules et cosmologie

- Mesure de masse des neutrinos, par la cosmologie
- Recherche en 'laboratoire' de Matière Noire



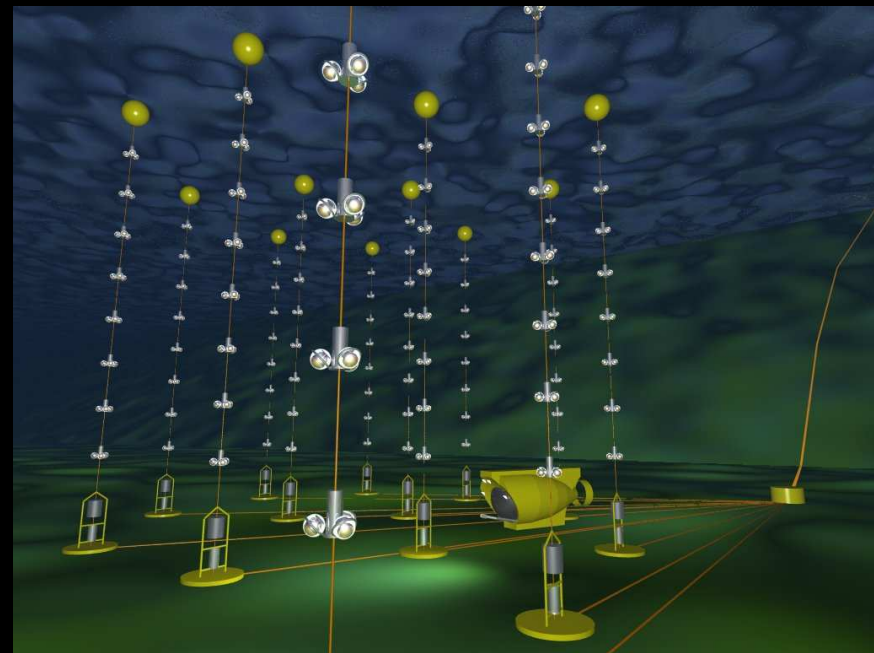
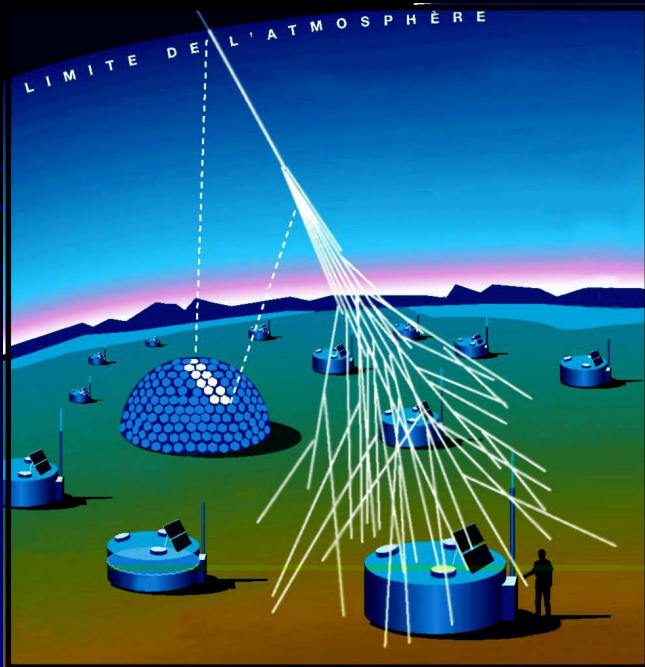
Recherche directe de Matière Noire

- WIMPS
- Un bolomètres mesure l'échauffement d'une collision !



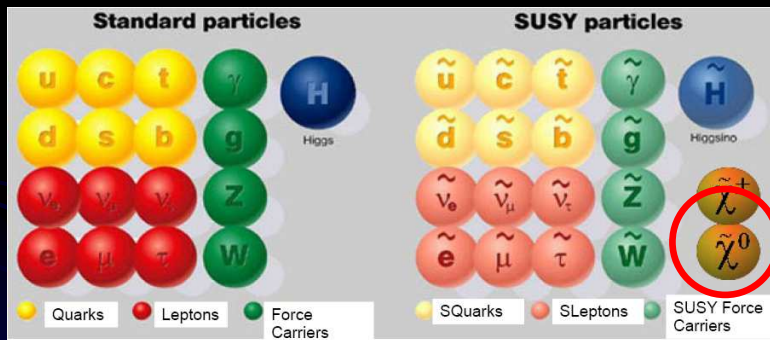
Recherche (in)directe de Matière Noire

- Annihilation de WIMPS :
 - En photon : **Hess**, Fermi
 - En neutrinos : **Antares** / Icecube

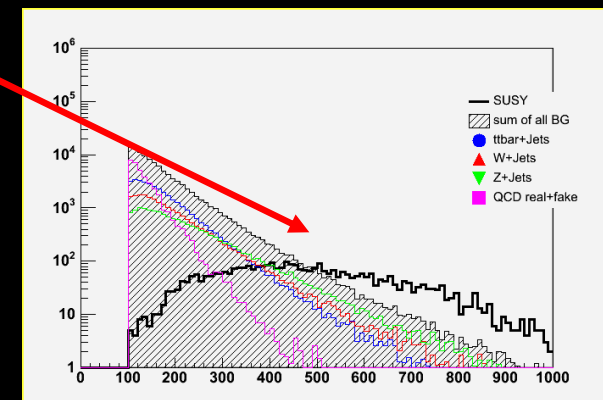
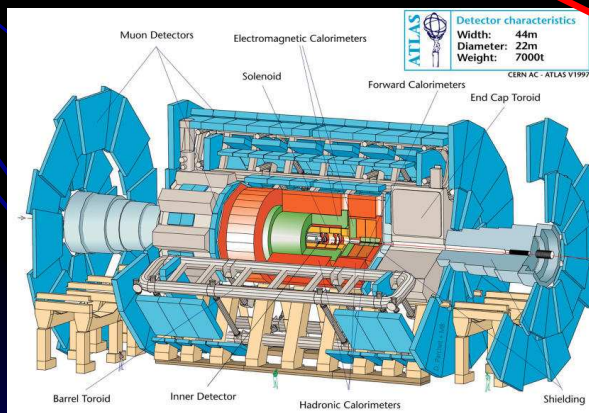


Recherche directe de Matière Noire

- Recherche de SUSY au LHC
- Particule invisible SUSY, la plus légère : le neutralino



Peut être découverte au LHC !



Conclusions

- 95% d'inconnues !
- Mais des pistes !
- Beaucoup d'observations et de mesures à venir
- La cosmologie est maintenant devenue quantitative , avec des mesures redondantes et précises
- De plus en plus de liens entre l'infiniment petit et l'infiniment grand pour la compréhension de l'univers.