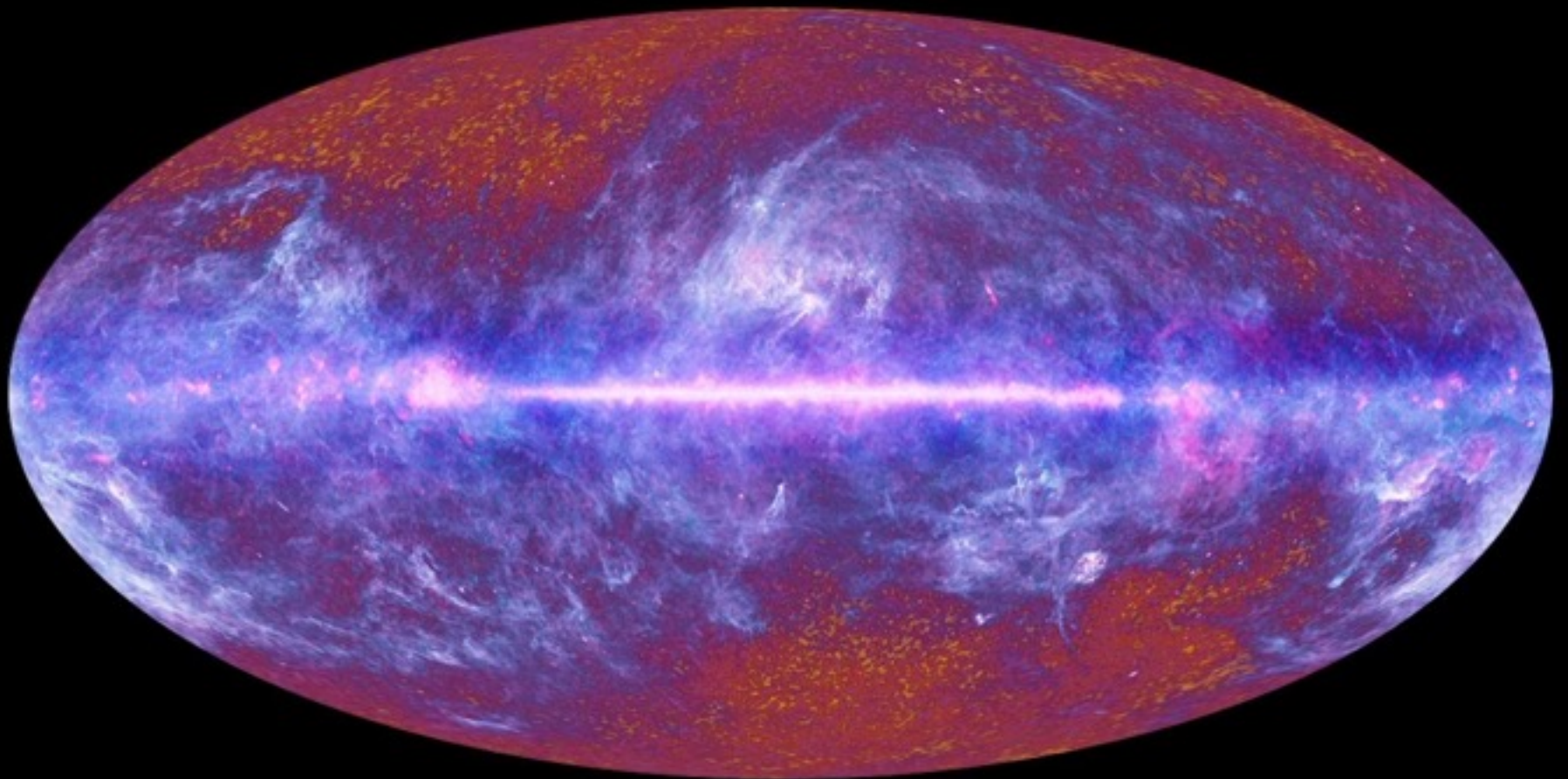
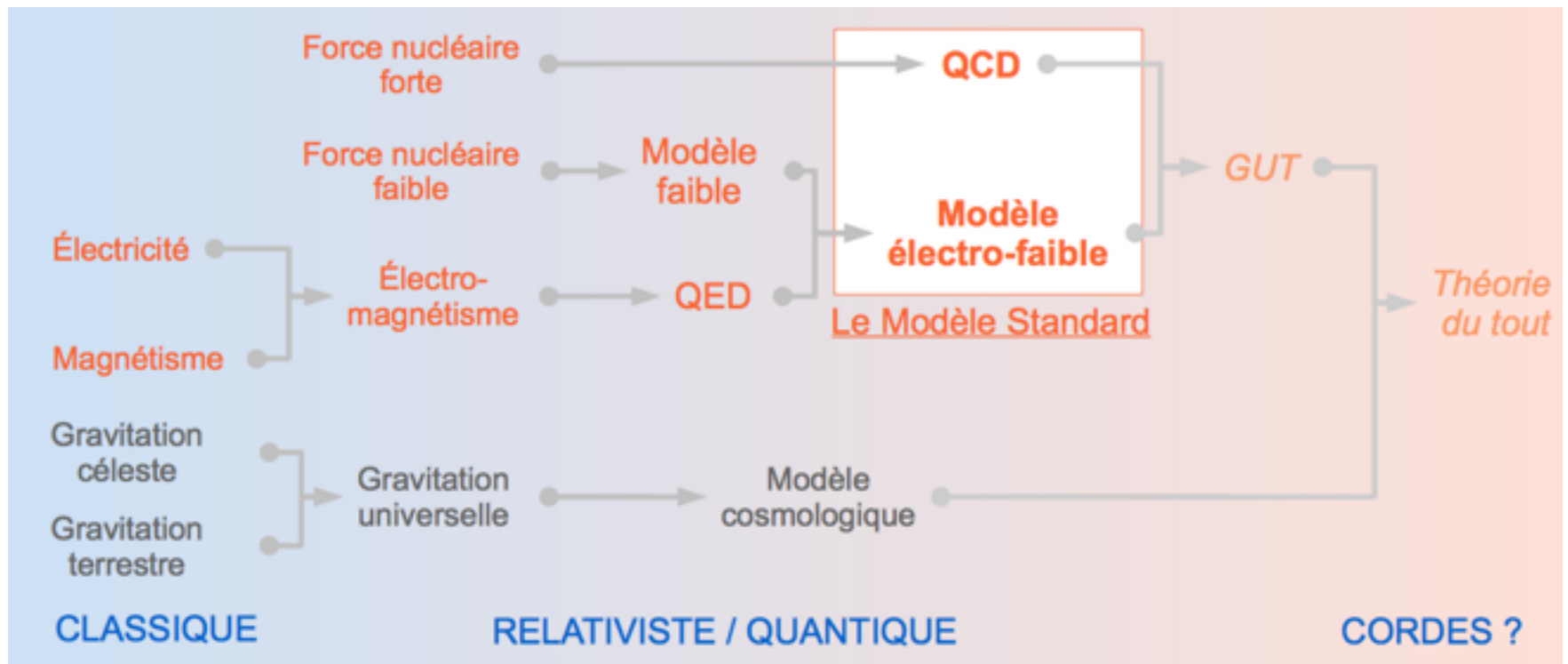


Les mystères de l'Univers



L'état de notre connaissance

- On a entrevu ensemble le **Modèle Standard** (MS) décrivant les interactions entre les particules élémentaires
- Le MS permet d'expliquer toutes les observations effectuées en laboratoire (accélérateurs de particules : actuellement limités à une certaine énergie $\rightarrow 10^{13}$ eV)



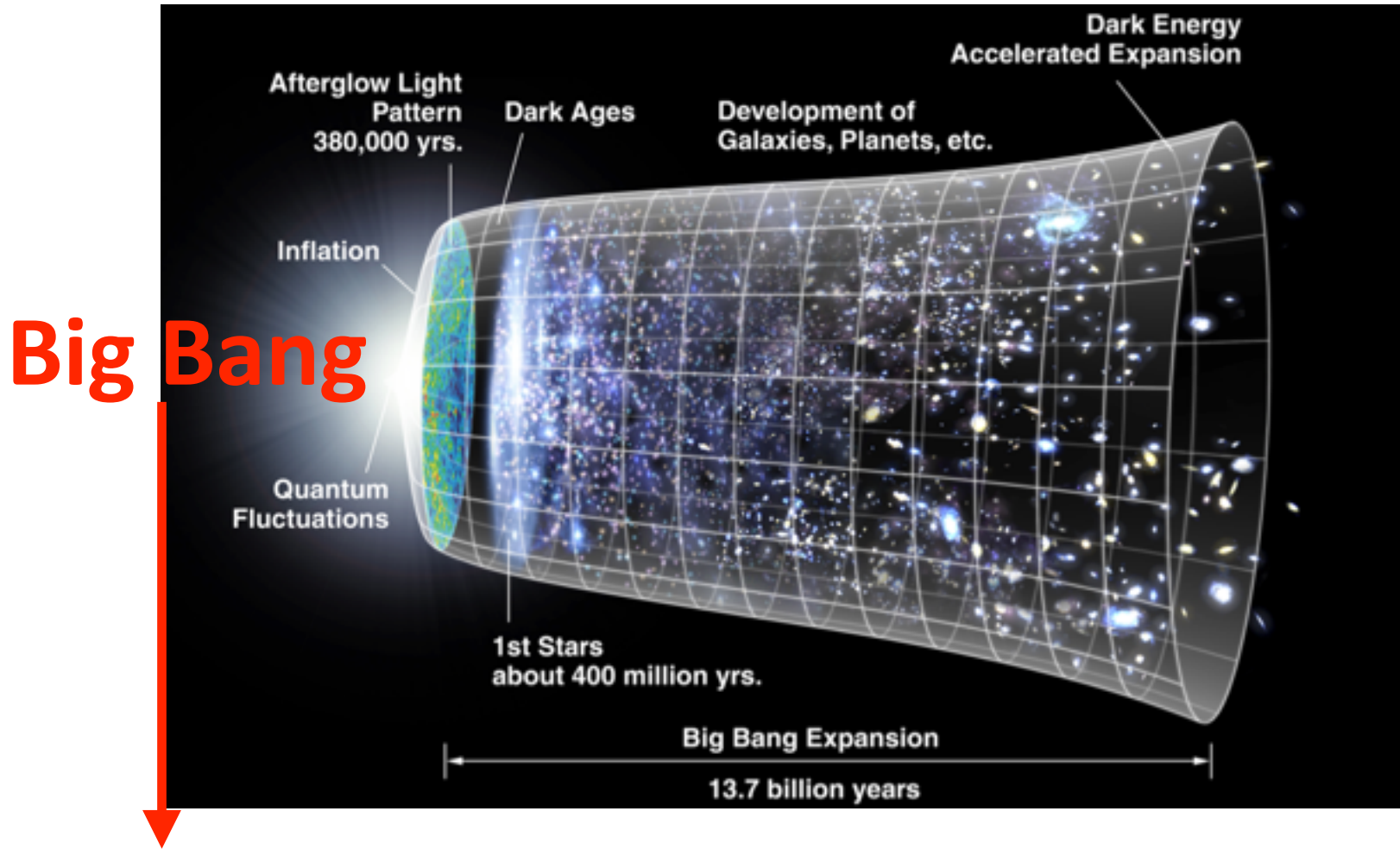
L'état de notre connaissance

- Plusieurs observations (astronomie & cosmologie), ne trouvent aucune explication dans le cadre du MS :
 - ▶ Pourquoi 3 familles de particules ?
 - ▶ Pourquoi ont-elles des masses si différentes : e.g. $m(t) \sim 10^5 m(u)$!
 - ▶ **Disparition de l'anti-matière**
 - ▶ **Matière noire**
 - ▶ **Énergie noire**

Pour certains de ces mystères, nous n'avons encore aucune solution...

- Il faut continuer à **effectuer le maximum d'observations** afin de pouvoir, un jour, **apporter des réponses à ces mystères !!!**

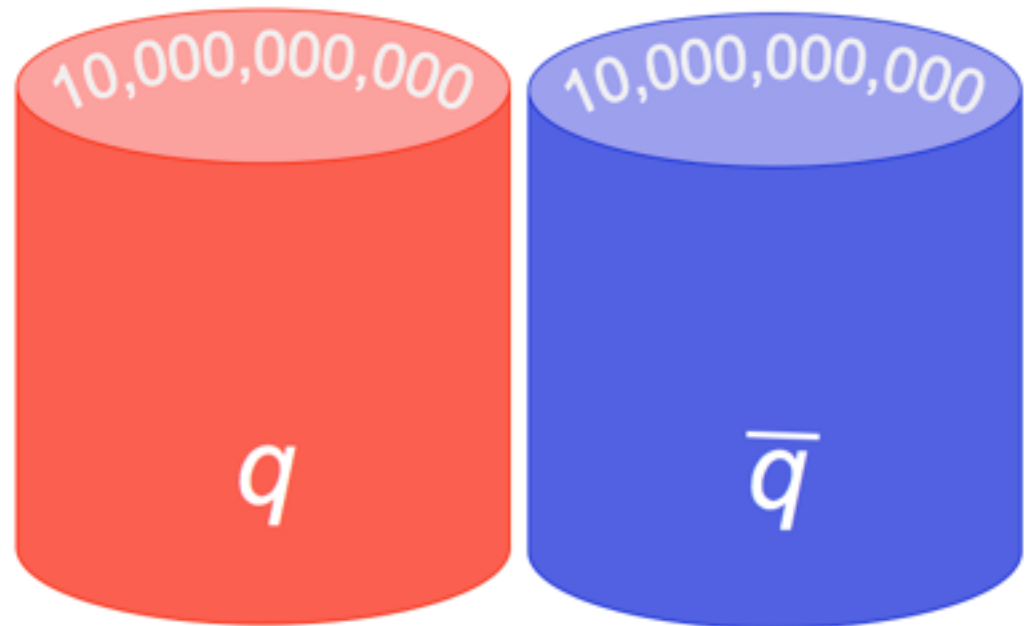
Disparition de l'anti-matière



Matière et anti-matière créées en quantités égales

Disparition de l'anti-matière

Matière et anti-matière créées en quantités égales au début de l'univers



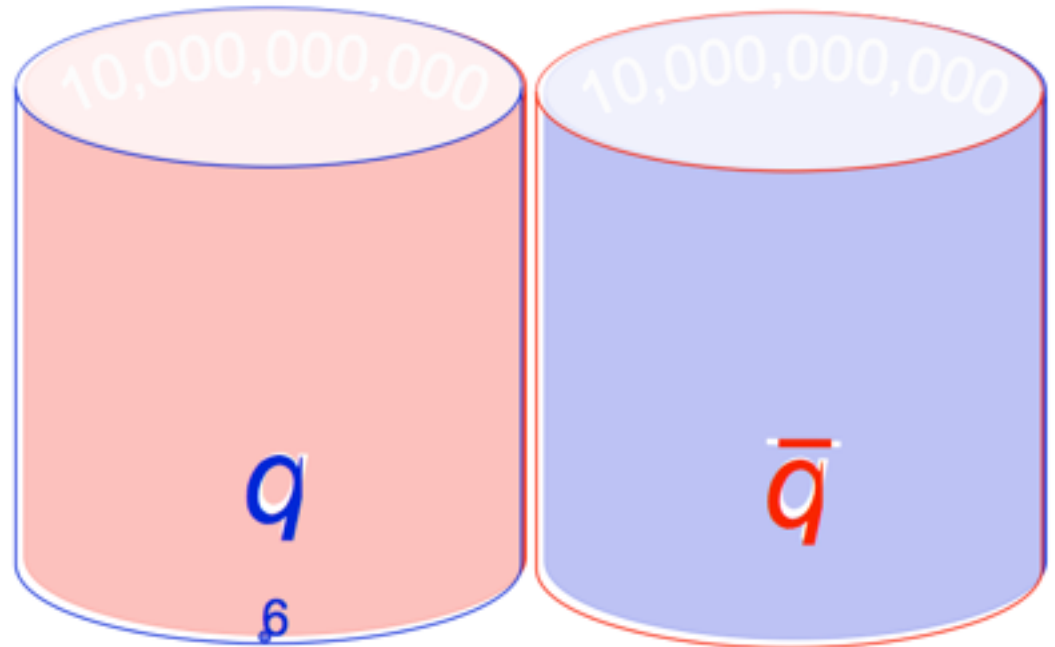
Disparition de l'anti-matière

Matière et anti-matière créées en quantités égales au début de l'univers

- ▶ Quelque part au cours de l'évolution de l'univers, l'une (matière) est favorisée
- ▶ Résultat final : un tout petit peu de matière et beaucoup de photons

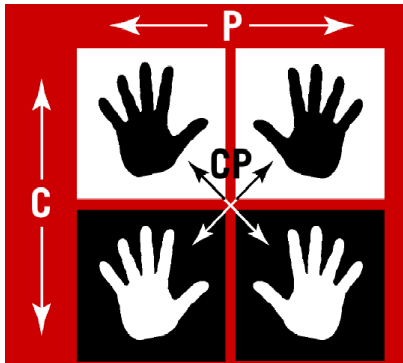


- ▶ $N_{\text{baryons}}/N_{\text{photons}} \sim 6 \times 10^{-10}$



Disparition de l'anti-matière

Petit détour : les symétries



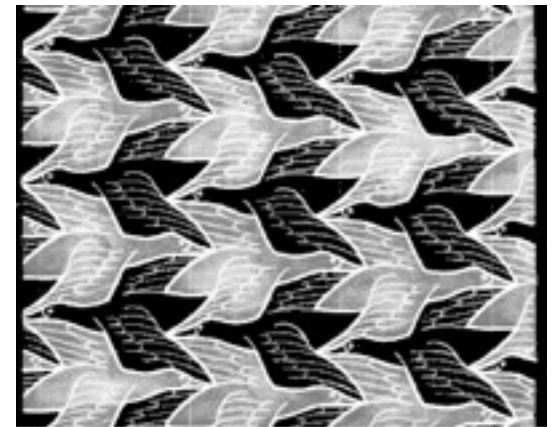
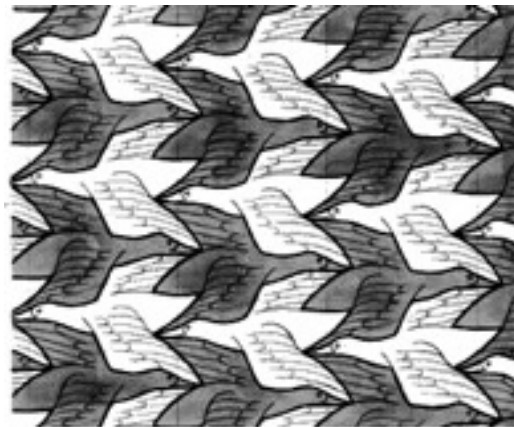
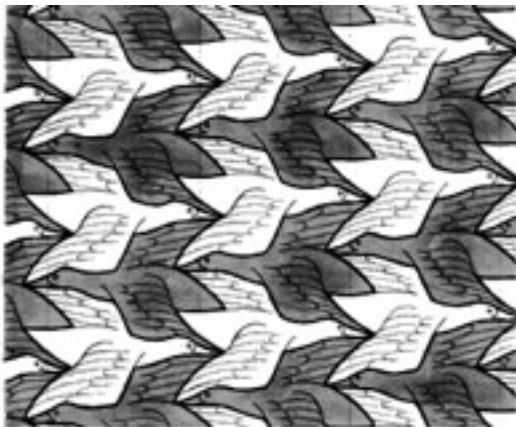
C: charge opposée

P: on regarde dans un miroir

CP

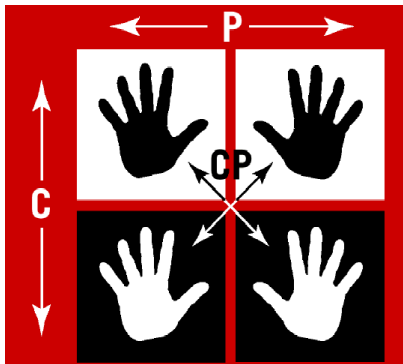
P

C



Disparition de l'anti-matière

Petit détour : les symétries



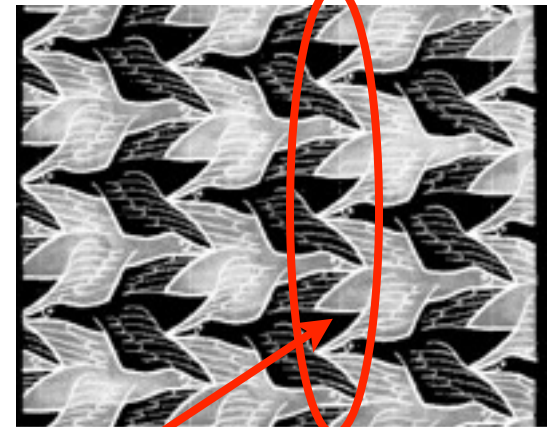
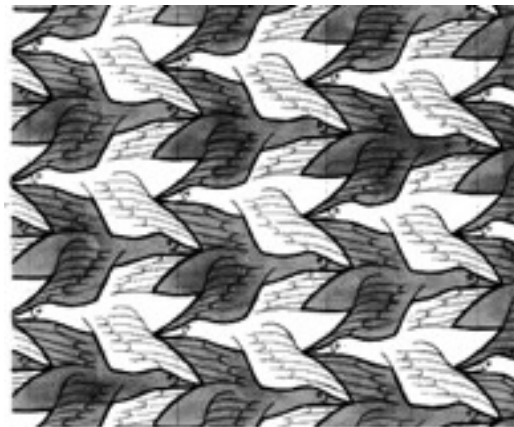
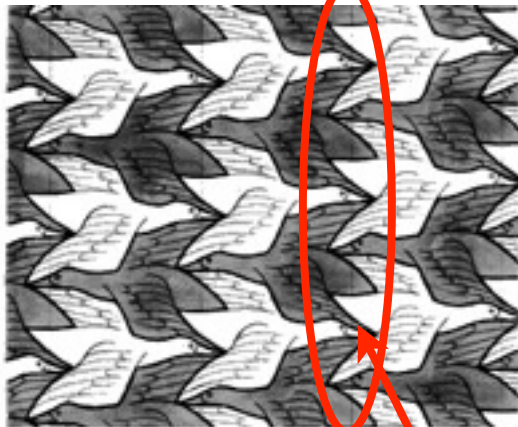
C: charge opposée

P: on regarde dans un miroir

CP

P

C



CP légèrement « brisée »

Disparition de l'anti-matière

C, P et CP sont conservées par l'interaction électromagnétique et l'interaction forte **mais pas par l'interaction faible!**

(idée de Lee et Yang en 1956, montré par Mme Wu en 1957, prix Nobel pour Lee et Yang)

Il existe une asymétrie (légère) entre matière et anti-matière, décrite dans le cadre du MS.

Cette asymétrie ne permet cependant pas d'expliquer la disparition de l'anti-matière :

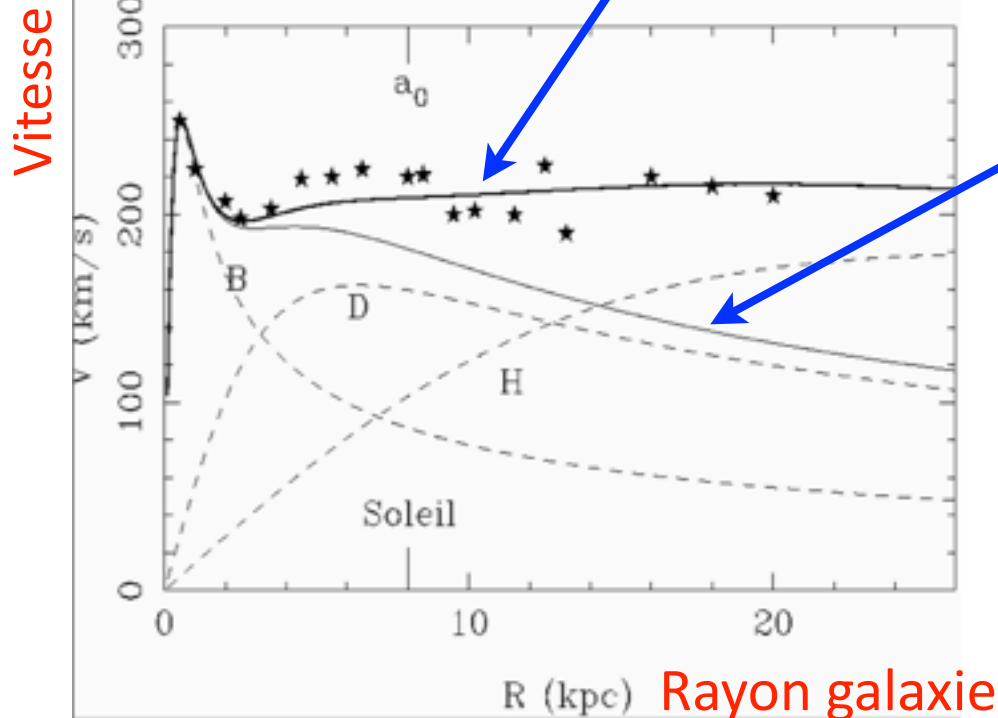
Il manque encore un facteur 10^{10} !!!

ou légèrement « brisée »

La matière noire

Observation

Prédiction à partir de la masse « visible » (matière lumineuse)



Zwicky (1937)



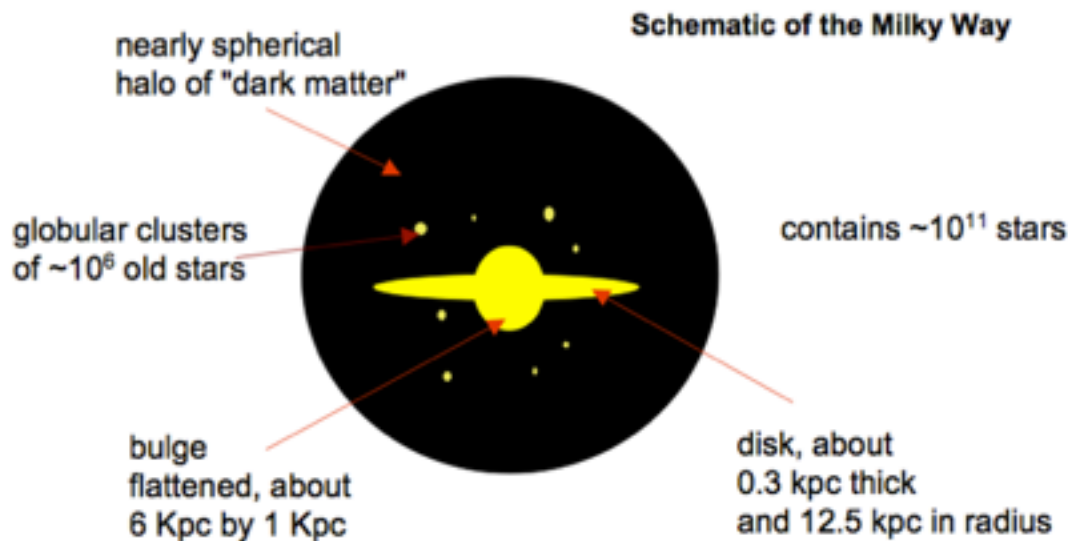
Courbe de rotation des galaxie :

Existence d'une matière non visible -> matière noire

La matière noire

Existence d'une matière non visible -> matière noire

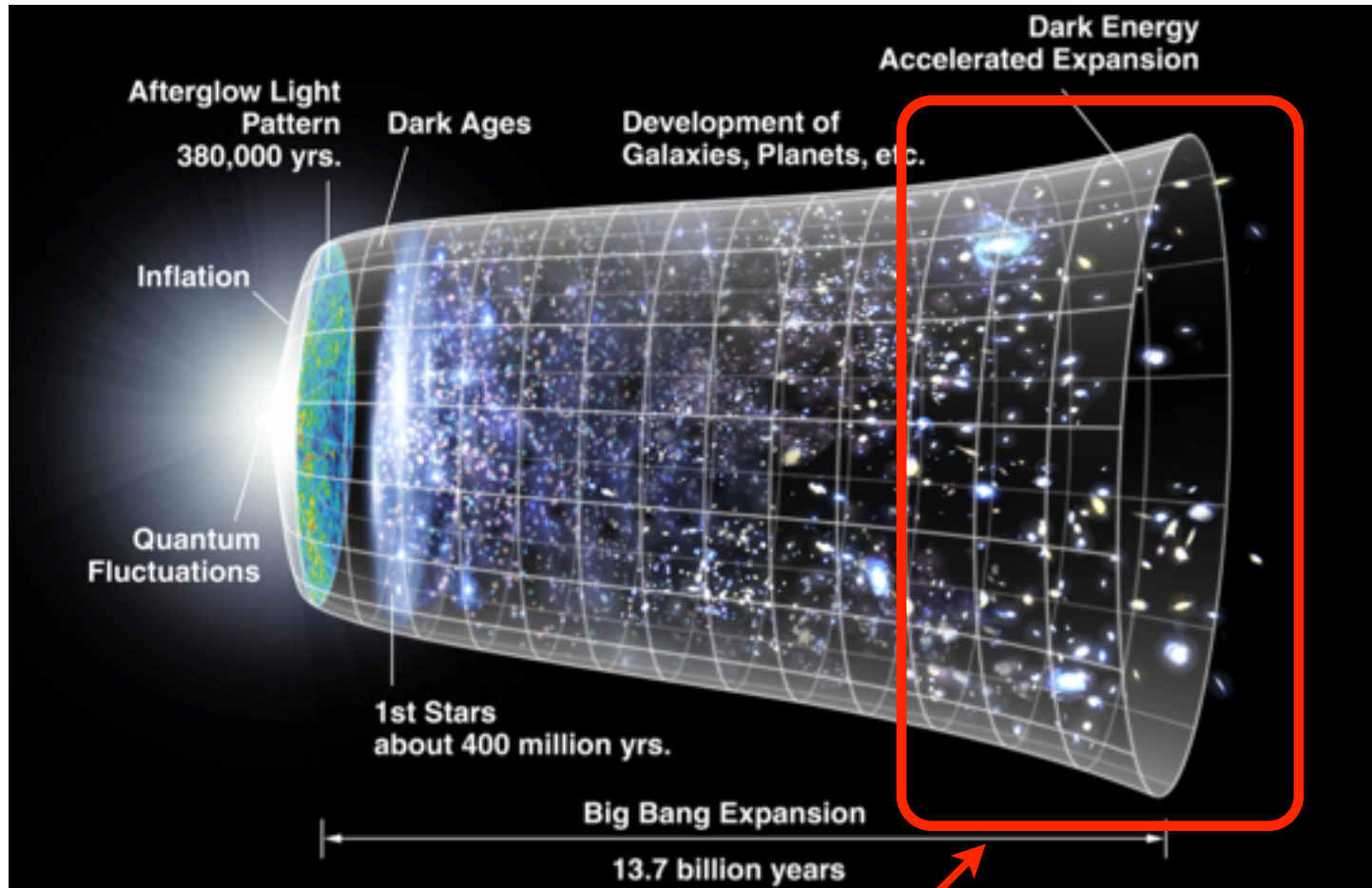
Collections of $\sim 10^{11} \sim 10^{12}$ Stars



► Quelques candidats :

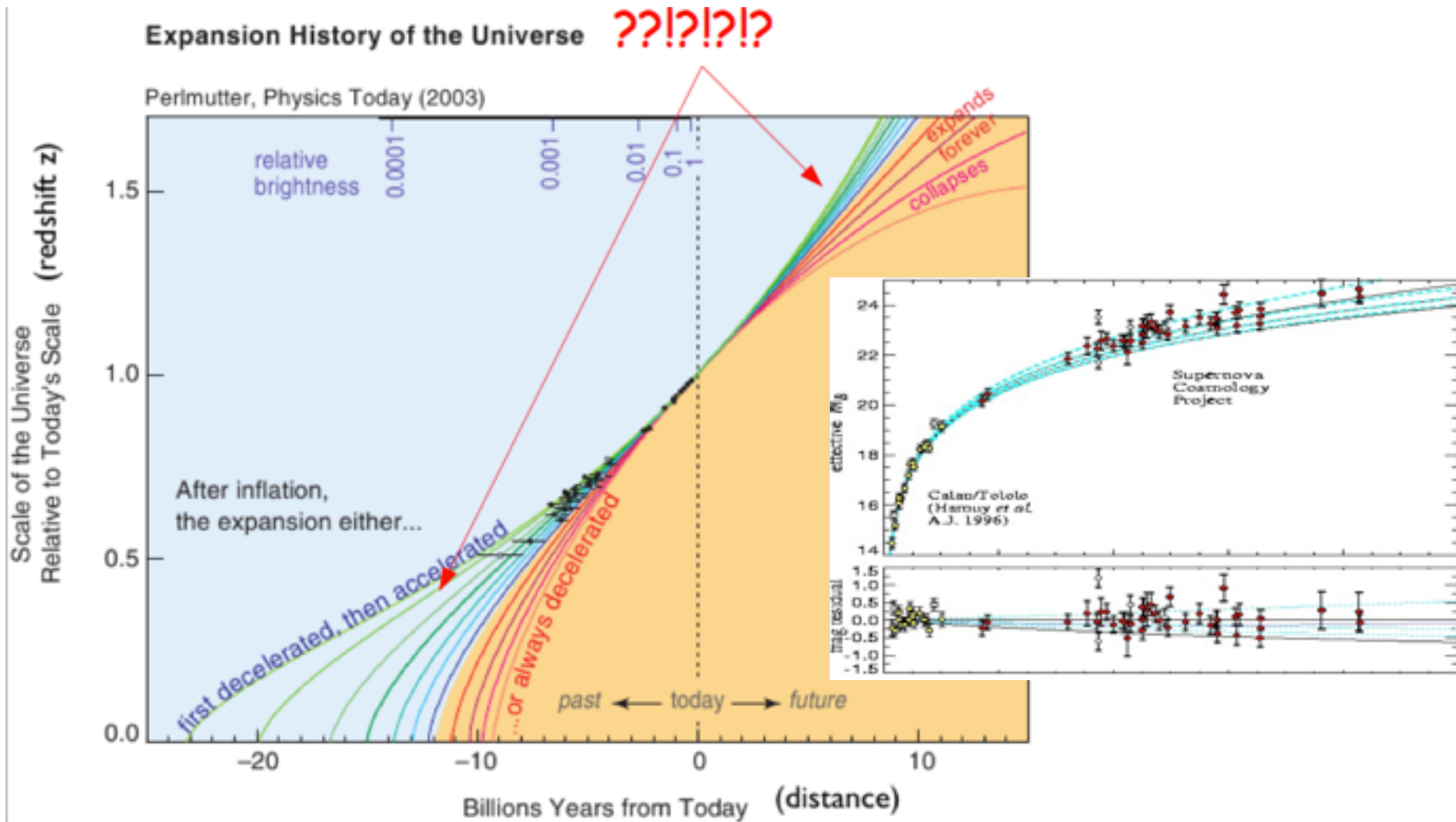
- WIMPS (weakly interacting massive particles)
- Objets astrophysiques froids (pas ou peu d'émission de lumière)
- Modification des lois de la gravité (MOND)
-

L'énergie noire



On observe que l'univers est en expansion...

L'énergie noire



On observe que l'univers est en expansion...accélérée !

L'énergie noire

L'univers est rempli de matière

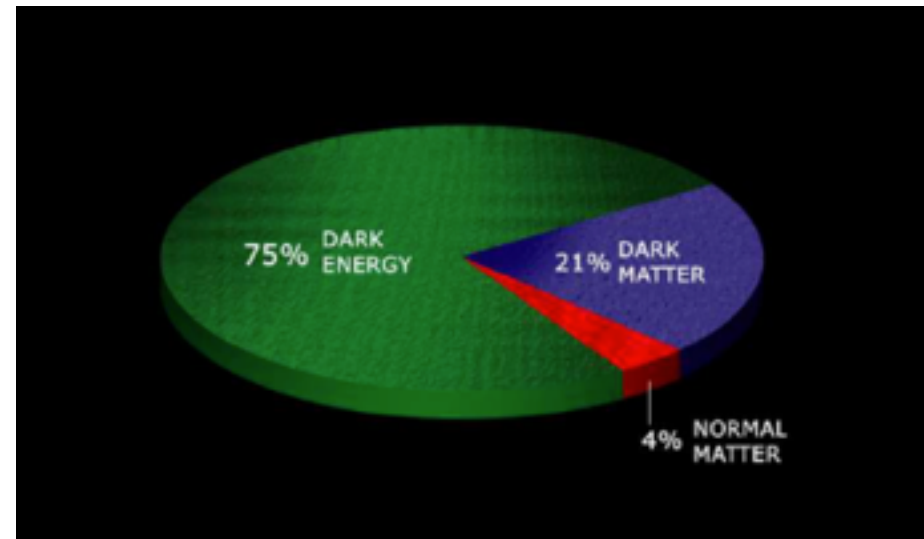
- ▶ Gravité : force attractive

Constituant de nature inconnue

- ▶ Effet répulsif
- ▶ « Énergie noire »

Bilan énergétique de l'univers:

- ▶ Matière normale : ~4%
- ▶ Matière noire : ~21%
- ▶ Énergie noire : ~75%



96% qu'on ne connaît pas !

Et maintenant...?

De nombreux modèles et théories « au delà du Modèle Standard » sont actuellement disponibles :

- ▶ Supersymétrie (SUSY)
- ▶ Théorie de la gravitation quantique
- ▶ Théorie à dimensions supplémentaires (cordes)
- ▶ ...

Les recherches continues...

- ▶ **LHCb** et les autres expériences du LHC, ainsi qu'un grand nombre d'autres expériences, pourront peut-être apporter des réponses ou des éléments de réponses aux grandes questions qui persistent aujourd'hui en physique

**Merci pour votre
attention!**