

## **Le contexte scientifique: cosmologie et physique fondamentale**

### **Pierre Binétruy, APC**

Si les méthodes de la cosmologie sont celles de l'astrophysique (on parle d'ailleurs le plus souvent d'observations et non d'expérimentation), les concepts sont ceux de la physique des hautes énergies. Dans les années 1980, s'est développé un paradigme de l'Univers primordial qui a donné des concepts aussi centraux que l'inflation, l'énergie du vide, les fluctuations primordiales, et avancé des hypothèses sur la nature de la matière noire, l'asymétrie matière-antimatière. Ce paradigme né des théories d'unification en physique des particules (électrofaible puis grande unification) s'est vu conforté de façon spectaculaire par deux découvertes récentes: celle du Higgs (les champs scalaires fondamentaux étant un des « building blocks » de cette cosmologie influencée par la physique des hautes énergies), et la confirmation du modèle d'inflation par la mission Planck.

La seule force fondamentale qui s'exerce aux très grandes échelles de distance est la force gravitationnelle. Il n'est donc pas étonnant que l'essentiel de nos observations soient de type gravitationnel (forces faible et forte sont de portée microscopique, et le phénomène d'écrantage limite les effets directs la force électromagnétique): en particulier, les seules indications que nous ayons sur la matière sombre ou l'énergie sombre sont de nature gravitationnelle. La principale exception est peut-être la prédiction de la concentration des éléments légers à partir de la nucléosynthèse primordiale.

Les grandes questions de la cosmologie (en remontant l'histoire de l'Univers)[*en italique, les façons d'y répondre, en privilégiant les questions associées aux thématiques sur lesquelles porte le CS*]:

- Quel est le contenu actuel de l'Univers ?

En particulier nature de la matière sombre, rôle des neutrinos, est-ce une nouvelle forme d'énergie (énergie sombre) qui est responsable de l'accélération récente de l'expansion de l'Univers ? ou bien une modification à grande échelle de la théorie de la gravitation ? quelle est la contribution de l'énergie du vide ?

*Etude de l'équation d'état de l'énergie sombre à des décalages spectraux ( $< 2$ )*

- Comment se sont formées les grandes structures dans l'Univers ? Quel a été le rôle de la matière sombre ? Quelles informations contiennent les grandes structures dans l'Univers ?

*Etude des oscillations baryoniques. Etude des amas de galaxies. Grands (et profonds) relevés de galaxies.*

- Comment peut-on utiliser le fond cosmologique pour comprendre l'histoire de notre Univers ? Les photons du CMB sont émis 380 000 ans après le Big Bang et détectés 14 milliards d'années après : quelle information ont-ils enregistré lors de leur voyage ?

*Weak lensing*

- Peut-on observer les transitions de phase (quark-gluon, électrofaible,

baryogenèse) dans l'Univers primordial?

### *Ondes gravitationnelles*

- Quelles sont les origines de fluctuations du fond cosmologique ? Y a-t-il production d'ondes gravitationnelles primordiales ? Quelle est la théorie correcte de l'inflation ? Elle fait intervenir un champ scalaire. Est-ce que cela peut être le Higgs ? Comment tester l'inflation ? Comment tester la phase final de l'inflation, appelée le réchauffement ? Quelles sont les conditions initiales nécessaires pour déclencher l'inflation ?

*Caractérisation précise des fluctuations (dépendance d'échelle, non-gaussianités, etc.). Détection de la polarisation du fond cosmologique. Détection d'ondes gravitationnelles produite lors du réchauffement.*

- Peut-on remonter jusqu'au Big Bang ? Avant le Big Bang ? Quelle est la nature de l'espace et du temps près du Big Bang ? Est-ce que notre notion d'espace-temps est émergente ?

*Recherche de violations de l'invariance de Lorentz, du principe d'équivalence. Recherche des ondes gravitationnelles.*

Enfin, il est à souligner qu'un certain nombre de concepts, et de difficultés d'interprétation, sont à la frontière entre la physique quantique (décrite par les trois forces du Modèle Standard) et la théorie de la relativité générale (décrivant la gravité). On peut citer en particulier l'énergie du vide (meilleur candidat actuellement pour l'énergie sombre), les violations du principe d'équivalence, et la question des singularités (initiale ou trou noir). La question centrale de ce large programme est donc cette unification ultime de la gravitation avec les autres forces.