



« GRANDES QUESTIONS EN COSMOLOGIE ET PHYSIQUE FONDAMENTALE »

Organisée par **Michel DAVIER** et **Jean-Loup PUGET**
Membres de l'Académie des sciences

Mardi 3 juin 2014 de 14h30 à 17h30
Académie des sciences – Grande salle des séances
23 quai de Conti, Paris 6^e

Résumé

La cosmologie, science des origines et de l'évolution de l'univers, connaît actuellement des développements spectaculaires grâce à des moyens d'observation de plus en plus précis. Cette conférence-débat a pour but de faire le point sur l'état actuel de ce sujet fascinant à la lumière des derniers résultats expérimentaux et de leur interprétation théorique. Un aspect remarquable est l'existence de liens forts entre cosmologie et physique fondamentale. Ces liens seront mis en perspective par les différents exposés qui couvrent les grandes questions ouvertes de la cosmologie.

Programme

- 14h30 Introduction**
Michel DAVIER, *membre de l'Académie des sciences, Laboratoire de l'Accélérateur Linéaire, CNRS/IN2P3 université Paris-Sud, Orsay*
- 14h35 Cosmologie observationnelle : grandes structures et fond diffus cosmologiques**
François BOUCHET, *Institut d'Astrophysique de Paris, CNRS/INSU UPMC*
- 15h05 La théorie de l'inflation**
Jérôme MARTIN, *Institut d'Astrophysique de Paris, CNRS/INSU UPMC*
- 15h35 Energie sombre, énergie du vide ?**
Pierre BINÉTRUY, *Laboratoire AstroParticule et Cosmologie, université Paris Diderot*
- 16h05 Matière noire astronomique : à la poursuite de l'invisible**
Pierre SALATI, *Laboratoire d'Annecy-le-Vieux de Physique Théorique, CNRS/INP université de Savoie*
- 16h35 Discussion**
- 17h15 Conclusion**



Cosmologie observationnelle : grandes structures et fond diffus cosmologiques

François BOUCHET
Institut d'Astrophysique de Paris

Les galaxies ne sont pas réparties de manière uniforme, et mettent en évidence de grandes structures (amas, filaments, feuillets, vides) qui évoquent l'ossature d'une éponge. Les anisotropies du fond diffus cosmologique (FDC) traduisent l'empreinte des fluctuations primordiales qui sont initiatrices de la croissance de ces grandes structures de l'Univers, telles que transformées par leur évolution au cours des premiers 370 000 ans, c'est à dire jusqu'à ce que l'Univers devienne transparent et que se forme l'image que nous enregistrons aujourd'hui. Les caractéristiques statistiques de ces anisotropies permettent de contraindre conjointement la physique de la génération des fluctuations primordiales et celle de leur évolution. Elles nous renseignent sur la valeur possible des paramètres des modèles qui sont confrontés aux données.

La richesse et la précision de ces informations se sont récemment considérablement accrues grâce aux premiers résultats cosmologiques du satellite Planck. Imaginé en 1992, décidé par l'ESA en 1996, lancé en 2009, Planck a livré le 21 mars 2013 ses premières cartes du ciel millimétrique à 9 fréquences, ainsi que celles qui s'en déduisent, en particulier la carte du FDC, qui indique les variations minuscules en fonction de la direction d'observation, de l'ordre du dix millième, de la température du rayonnement fossile autour de sa température moyenne de 2.725K. Cette carte à haute résolution angulaire et d'une précision de quelques parties par million a été obtenue grâce aux 500 premiers milliards d'échantillons fournis par notre instrument HFI.

L'analyse des anisotropies mesurées par Planck conforte le modèle cosmologique standard, dit LambdaCDM, et permet d'en évaluer ses paramètres, et notamment la densité des principaux constituants de l'Univers (matière usuelle, matière sombre froide, énergie noire...), avec ses implications en terme des quantités qui en dépendent comme le taux d'expansion ou la courbure spatiale. Ces déterminations sont en très bon accord avec nombre de déterminations issues, elles, de l'analyse directe des grandes structures qui nous entourent (lentillage, BAO, SN1a, etc.). Il reste néanmoins un certain nombre de points qui demandent à être précisés (H_0), et quelques anomalies qui intriguent... Néanmoins les données ne requièrent pas d'extension du modèle standard, ce qui constitue en soi un guide précieux pour guider les futurs travaux théoriques. Je conclurai par un résumé succinct de ce que nous avons appris sur la génération des fluctuations primordiales et quelques perspectives.



La théorie de l'inflation

Jérôme MARTIN

Institut d'Astrophysique de Paris

Le modèle du "Big Bang" chaud est une remarquable théorie de notre univers expliquant toutes les observations astrophysiques connues à ce jour. Néanmoins, la description qu'il en fait reste incomplète car les conditions initiales nécessaires au bon fonctionnement du modèle semblent peu naturelles.

Depuis le début des années 80, il a été établi qu'il existe une réponse élégante à cette question : la théorie de l'inflation. Elle part du postulat qu'une phase d'expansion accélérée a eu lieu à très haute énergie, avant la phase usuelle d'expansion du Big Bang chaud. Elle permet de mieux comprendre la question des conditions initiales évoquée plus haut.

La théorie de l'inflation explique également l'origine des galaxies et des anisotropies du fond diffus cosmologique (FDC). Ce sont des fluctuations quantiques microscopiques qui ont été amplifiées sur des distances cosmologiques.

Les mesures récentes obtenues par le satellite Planck donnent des informations précieuses sur ces anisotropies du FDC. Ces résultats sont en effet si précis qu'on peut les utiliser pour comprendre les détails de la phase inflationnaire. Cela nous permet d'appréhender la physique à des échelles d'énergie complètement inaccessibles avec les accélérateurs existants (LHC à Genève).

Enfin, je discuterai également rapidement les implications sur l'inflation des récentes mesures de la polarisation du FDC par l'expérience BICEP2.

Energie sombre, énergie du vide ?

Pierre BINÉTRUY

Laboratoire AstroParticule et Cosmologie, université Paris Diderot

La découverte en 1999 d'une accélération de l'expansion de l'Univers a à la fois résolu certains problèmes liés à l'évolution cosmologique de l'Univers, et posé toute une série de nouvelles questions. La question centrale est bien sûr celle de l'origine de cette accélération, nouvelle forme d'énergie baptisée énergie sombre, ou modification de la théorie de la gravité, la relativité générale.

Je passerai brièvement en revue les classes de solutions envisagées, en insistant sur les problèmes rencontrés lorsqu'on essaie de bâtir une théorie de l'énergie sombre. Un rôle central est joué par l'énergie du vide, ou énergie de l'état fondamental, un concept qui apparaît à l'interface entre théorie quantique et théorie de la gravité. Une interface où se jouent les relations notoirement difficiles entre relativité générale et Modèle Standard. Le lien tant formel que probablement fondamental entre inflation et énergie sombre sera aussi décrit dans ce contexte.

Enfin, si les questions posées par l'énergie sombre sont de nature très fondamentale, il est remarquable de constater qu'un programme observationnel de grande ampleur s'organise au niveau mondial. Les enjeux en seront présentés brièvement.



Matière noire astronomique : à la poursuite de l'invisible

Pierre SALATI

*Laboratoire d'Annecy-le-Vieux de Physique Théorique,
université de Savoie*

L'univers contiendrait une composante particulièrement difficile à observer, dont la nature nous est encore à ce jour inconnue. C'est au suisse Zwicky que revient le mérite d'avoir décelé en 1933 l'existence de cette matière noire astronomique au sein de l'amas galactique de la chevelure de Berenice. Depuis lors, toutes les observations sont venues confirmer sa découverte : les galaxies et leurs amas se comportent comme de gigantesques icebergs.

Grâce aux mesures cosmologiques, nous savons désormais que la matière noire est de nature exotique. Parmi la pléthore de candidats proposés par la physique des hautes énergies, les neutralinos constituent la possibilité la plus excitante. En effet, ces particules élémentaires, dont l'existence est prédite par les développements théoriques du modèle standard de la physique subnucléaire, sont naturellement produites pendant le big bang avec une abondance compatible avec les mesures du satellite Planck.

Je présenterai brièvement les différentes expériences qui traquent le neutralino sous terre, dans les mers ainsi qu'en orbite dans l'espace et me concentrerai sur les recherches d'antimatière, essentiellement antiprotons et positons, dans le rayonnement cosmique. A ce propos, la découverte en 2008 d'un excès inattendu de positons de haute énergie a fait surgir le fol espoir que les neutralinos n'étaient pas qu'une chimère. Hélas, une anomalie est certes bien présente mais elle est très probablement produite par des pulsars proches. Finalement, je résumerai les résultats obtenus au grand collisionneur à hadrons (LHC) du CERN de Genève et discuterai leurs conséquences sur les modèles de matière noire.