

Demande de financement : SERREAU

Rapport sur les travaux réalisés en 2011

Utilisation des crédits 2011

L'an passé, j'ai obtenu un financement de 1500 euros pour des visiteurs et des missions de la part du comité théorie de l'IN2P3, sur la base du projet de recherche décrit ci-après (actualisé). Je mentionne que j'ai aussi obtenu 200 euros du programme PEPS pour ce projet. J'ai utilisé l'argent de l'IN2P3 comme suit :

- Une mission d'une semaine pour moi et mon doctorant pour la conférence internationale "Baryogenesis and First Order Phase Transition In the Early Universe" du 4 au 9 septembre 2011 à Leiden, à laquelle j'étais invité à présenter mon travail récent sur de Sitter (voir ci-dessous) et où mon doctorant a présenté son travail sur la décohérence (vois ci-dessous) : train + frais (l'hôtel était payé par les organisateurs) = 855 euros ;
- L'invitation de Matthias Garny de DESY, Hambourg pour un séjour à l'APC du 4 au 7 décembre 2011 : voyage + hôtel + frais = 740 euros. M. Garny est un expert reconnu de la théorie quantique des champs hors d'équilibre. Nous avons divers centre d'intérêts commun notamment dans le cadre du travail de mon doctorant concernant la physique de la décohérence dans l'Univers inflationnaire. Nous avons beaucoup discuté tous les trois lors de la conférence mentionnée ci-dessus, ce qui a donné lieu à cette invitation. Cette visite a été très fructueuse et a constitué le point de départ d'une nouvelle collaboration.

Travaux réalisés

Les grandes lignes du projet de recherche associé à cette demande concerne la physique de l'inflation dans l'Univers primordial, notamment : (i) la compréhension des corrections quantiques à la dynamique inflationnaire ; (ii) la question des énergies transplanckiennes ; (iii) la question de la décohérence dans l'Univers inflationnaire. Je donne plus de détails dans le projet de recherche actualisé ci-après. Je mentionne que j'avais obtenu une demi-délégation au CNRS pour le second semestre de l'année 2010-2011, qui m'a permis de me consacrer pleinement à ce projet de recherche et de progresser rapidement.

Durant l'année 2011, j'ai publié un premier article avec mon doctorant actuel, concernant le point (iii) ci-dessus : Phys. Rev. D83 (2011) 125004. Nous avons depuis commencé un second travail, à cheval sur les thèmes (i) et (iii) ci-dessus. Un article est actuellement en préparation. En parallèle, j'ai publié un article sur le point (i) en seul auteur : Phys. Rev. Lett. 107 (2011) 191103. Enfin, j'ai entamé une forte collaboration sur les points (i)-(iii) avec Renaud Parentani du LPT d'Orsay qui a donné lieu à un premier travail original. Un article est en préparation.

J'ai effectué une demande de renouvellement de demi-délégation pour l'année 2011-2012, laquelle n'a pas été transmise par l'Université, ainsi que de nombreuses autres, pour des raisons non scientifiques qui n'ont pas été communiquées jusqu'à présent. J'ai réitéré ma demande cette année (pour 2012-2013 donc) mais le sort des demandes à Paris 7 n'est pas clair. Il est important pour moi d'obtenir un renouvellement pour pouvoir consolider les progrès accomplis récemment et continuer à avancer rapidement sur ce sujet de pointe (je mentionne que l'approche que je propose de développer, basée sur mon expertise en théorie des champs hors d'équilibre, est un axe totalement novateur au niveau national).

Projet scientifique acualisé

Le paradigme inflationnaire est aujourd'hui une pierre angulaire du Modèle Standard de la cosmologie. Les campagnes d'observation du CMB actuelles ou à venir visent à mesurer avec précision les caractéristiques de la phase inflationnaire, par exemple au travers de mesures de polarisation ou encore de non-gaussianités. Il est aujourd'hui impératif d'asseoir ce paradigme sur des bases théoriques solides. Cela passe par une compréhension précise des aspects quantiques de la théorie de l'inflation. Je propose d'étudier certains de ces aspects.

Aspects non-perturbatifs de la dynamique de champs scalaires dans l'espace de deSitter.

Le calcul perturbatif de corrections radiatives (quantiques) dans un univers en expansion fait apparaître, de façon générique, des termes séculaires, qui divergent aux temps longs, ainsi que des divergences infrarouges pour le cas (physiquement pertinent) de champs de masse nulle. Ces divergences sont des artefacts de la théorie de perturbation – dont ils signent l'échec dans ce contexte – et une description correcte nécessite l'utilisation de méthodes de resommation non-perturbatives. Un des objets de ce projet consiste à appliquer des méthodes avancées de théorie quantique des champs, dites méthodes fonctionnelles « deux-particules-irréductibles » (2PI), à ce problème. Ces méthodes sont connues dans le contexte de la théorie des champs à température finie pour leur capacité à resommer de manière efficace les divergences infrarouges apparaissant de façon générique à haute température. Elles se sont aussi avérées très efficaces récemment pour resommer les divergences séculaires de la théorie de perturbations apparaissant dans les situations hors d'équilibre. J'ai participé de façon active au développement de ces méthodes dans les dix dernières années et je suis actuellement un spécialiste reconnu de ces techniques. Mon but est ici d'appliquer ces méthodes au cas d'une théorie de champ scalaire dans un espace-temps de de Sitter (qui modélise une période d'inflation) et d'étudier d'une part la question de la resommation des divergences séculaires et infrarouge de la théorie de perturbation dans ce contexte (c'est un pas nécessaire vers une théorie quantique cohérente de l'inflation) et, d'autre part, d'étudier quantitativement le rôle des contributions quantiques aux observables inflationnaires (spectre de puissance du CMB, non-gaussianités, etc.).

Dans ce contexte j'ai réalisé un premier travail en 2011 concernant l'étude de champs quantiques scalaires dans une géométrie de de Sitter. J'ai montré qu'il était possible de calculer le potentiel effectif d'une théorie $O(N)$ de manière exacte dans la limite non perturbative dite large- N . J'ai ainsi démontré un résultat surprenant, inconnu jusqu'alors, à savoir que les fluctuations quantiques dans un espace de de Sitter empêchent tout phénomène de brisure spontanée de symétrie et ce en toutes dimensions d'espace-temps (c'est l'analogue de ce qui se produit pour cette même théorie dans un espace-temps plat à $1+1$ dimensions). Ce travail fait l'objet de ma dernière publication : "*Effective potential for quantum scalar fields on a de Sitter geometry*", J. Serreau, Phys. Rev. Lett. 107 (2011) 191103.

Les suites de ce travail suivent deux axes : tirer les conséquences phénoménologiques éventuelles de ce résultat théorique pour la cosmologie inflationnaire ; étudier les corrections à ce résultat dans un développement en $1/N$. J'ai travaillé dans les derniers mois à ce second axe avec R. Parentani. Nous avons développé des méthodes permettant l'étude analytique et numérique de propriétés non-perturbatives des fonctions de Green d'une théorie scalaire dans de Sitter. Nous avons un article en préparation.

La question des énergies trans-planckiennes : une des applications directes des méthodes décrites ci-dessus est l'étude de l'influence possible de la physique à l'échelle de Planck dans les observables inflationnaires. Un des problèmes de fond de la description actuelle, basée sur la théorie linéaire, est qu'à cause du décalage spectral vers le rouge (« redshift ») dû à

l'expansion cosmique, les fluctuations de densité observées dans le CMB sont directement corrélées avec la physique de très haute énergie, jusqu'à des échelles trans-planckiennes, ou un traitement classique de la gravité – hypothèse de base de la description – n'est certainement pas justifiée. On peut s'attendre à ce que cette corrélation soit en fait absente lorsqu'on prend en compte les corrections radiatives dues aux auto-interactions des champs en présence. Je compte utiliser les méthodes décrites ci-dessus pour étudier cette question (la pertinence de l'analogie avec des systèmes hors d'équilibre est ici due à l'expansion cosmique), cruciale pour la théorie de l'inflation en elle-même, mais aussi pour pouvoir quantifier de manière fiable l'influence possible de la physique de très haute énergie dans les observables inflationnaires.

Décohérence dans l'Univers inflationnaire : dans la description actuelle de l'inflation, les fluctuations (classiques) de densité observées via le CMB ont une origine purement quantique. La transition quantique-classique de ces fluctuations est une question encore ouverte à l'heure actuelle et passe par une compréhension détaillée du phénomène de décohérence quantique dans un univers en expansion. J'ai récemment proposé une méthode originale permettant de décrire la dynamique de la décohérence d'un champ quantique dans un espace-temps plat, basée sur l'emploi des techniques 2PI : Phys. Rev. Lett. 104 (2010) 230405. Je compte étendre cette approche au cas d'un univers en expansion avec mon doctorant. Son premier travail a consisté à approfondir certains aspects de l'approche dite de "description incomplète" de la décohérence quantique en théorie des champs et a donné lieu à une publication : "*Quantum properties of a non-Gaussian state in the large- N approximation*", F. Gautier and J. Serreau, Phys. Rev. D83 (2011) 125004. Son travail actuel concerne certains aspects techniques de la théorie des champs hors d'équilibre et sa limite markovienne et est le sujet d'un article en préparation. Il s'agit de préparer l'application des méthodes que j'ai développé précédemment au cas d'un univers en expansion.

Interdisciplinarité

Je mentionne que certaines des questions scientifiques de ce projet dépassent largement le cadre de la cosmologie et ont des applications directes dans divers autres domaines, comme la physique des hautes énergies, notamment la physique du plasma de quarks-gluons, étudié au RHIC et bientôt au LHC, ou encore certaines questions ouvertes en physique de la matière condensée, comme la question de la formation et de la dynamique de condensats de Bose-Einstein ou l'étude de trous noirs analogues.

Je demande (dans l'ordre de priorité) :

- un renouvellement de demi-délégation pour l'année universitaire 2012/2013, afin de pouvoir dédier une partie importante de mon temps à ce projet de recherche ambitieux ainsi qu'à l'encadrement de mon doctorant ;
- un CDD chercheur ou un contrat postdoctoral (2 ans). En effet, cela me permettrait de former au sein du groupe théorie de l'APC et, plus généralement, au sein de l'IN2P3, une équipe de masse critique pouvant jouer un rôle leader sur ces thématiques de grande actualité et en plein développement ;
- un financement de 3000 euros pour des missions (pour moi et/ou mon étudiant) et pour inviter des visiteurs dans le cadre de ce projet (exemple : Christof Wetterich, de l'Université de Heidelberg, Tomislav Prokopec, de l'université d'Utrecht, ou encore Matthias Garny de DESY avec qui j'ai engagé une collaboration).