

Titre : Approches entropiques aux théories de la gravité

Directeur :

Jean-Philippe Bruneton (maître de conférences—UMR 8102 / Observatoire de Paris/LUTH – Cosmologie : structures et origines)

Exposé du sujet

Quelle quantité maximale d'information peut-on stocker dans une région finie d'espace? Ni la mécanique classique, ni la mécanique quantique, ni la théorie quantique des champs ne permet de borner l'entropie dans une boîte, car, en particulier, ces théories n'imposent aucune bornes maximales sur la quantité d'énergie que l'on peut stocker dans une région de taille finie. La totalité des degrés de liberté d'un champ quantique dans une boîte est donc a priori accessible.

Or cela ne peut pas être en accord avec la gravitation relativiste qui impose une limite supérieure à l'énergie totale dans une boîte : c'est la formule de Schwarzschild dans le cas d'une symétrie sphérique, et la conjecture de Hoop en l'absence de symétries particulières. Autrement dit, tous les degrés de liberté d'un champ quantique ne peuvent pas être peuplés en même temps sous peine d'effondrement gravitationnel. La gravité quantique impose a priori une drastique "réduction dimensionnelle" (de l'espace de Hilbert du système), et donc de l'information que l'on peut y stocker. C'est le principe holographique de 'tHooft et Susskind, plus tard formulé sous forme généralement covariante par Bousso: l'entropie maximale d'une région de taille finie est bornée par son aire divisée par 4; cette borne est saturée par exemple par (l'entropie de l'horizon d') un trou noir de Schwarzschild.

Ce sujet dits des "bornes entropiques" illustre, parmi d'autres exemples, le rôle semble-t-il particulièrement fondamental de la gravitation vis-à-vis des considérations entropiques et de l'information en physique. La gravitation entre systématiquement en jeu car l'information coûte de l'énergie et celle-ci gravite. On peut même aller plus loin, et voir les équations de la relativité générale comme, justement, la relation entre l'information (l'entropie) et son coût énergétique. En effet, en 1995 Jacobson a démontré que la RG peut se déduire de la loi de Clausius $T dS = dQ$, si appliquée à tous les horizons locaux de Rindler attachés à tous points de l'espace temps, où l'entropie s'identifie à l'aire, et le flux de chaleur au flux de matière au travers de l'horizon. Dans ce cadre, et comme souligné plus tard par Verlinde (et dans une certaine mesure par Padmanabhan), la force de gravité peut-être vue comme une force entropique, ie. une force effective issue de la tendance naturelle d'un système (matière plus degrés de liberté de l'espace-temps), à vouloir augmenter son entropie totale.

En quoi ce qui précède est-il spécifique à la relativité générale? Peu de choses sont connues en dehors de la RG, à l'exception de la gravité de Lovelock, et de quelques résultats en théories tenseurs scalaires de la gravité. En soi, il ne s'agit donc pour le moment que de réécritures de faits connus, et d'une nouvelle grille de lecture sur la nature de la gravité et de l'espace-temps. Comme tout nouveau langage, cependant, cela peut permettre de dépasser la théorie actuelle de la gravité, qui souffre en divers points, dans l'ultraviolet avec le problème des singularités, et dans l'infrarouge avec les composantes sombres de l'Univers.

La thèse pourra se découper en plusieurs étapes.

- une première étape nécessairement bibliographique sur les sujets évoqués ci-dessus
- le candidat pourra alors se pencher sur la question de la possibilité ou non de description thermodynamiques de modèles alternatifs à la relativité générale, en particuliers des modèles gravitationnels d'énergie noire et ou de matière noire ;
- le chemin inverse est également très intéressant : partant de modèles thermodynamiques sur les degrés de libertés élémentaires, peut-on suivre le chemin inverse et ainsi générer des théories alternatives de la gravité? En particulier, on peut raisonnablement supposer des effets proprement thermodynamiques à très basses températures, ce qui, dans la correspondance évoquée ici, correspond à des champs ultra faibles via la formule de Unruh. Des premiers modèles existent dans la littérature, mais ne sont pas satisfaisant à plusieurs égards. Un des aspects intéressants de cette approche est donc la possibilité d'explorer des potentiels effets infra rouge de la gravité quantique qui survivraient à très grande échelle. Au vu des problèmes posés aujourd'hui par l'énergie noire et la matière noire, un tel lien n'est pas impossible à envisager ;
- enfin, l'utilisation combinée d'arguments de RG et de mécanique quantique implique le principe holographique. Le candidat pourra aussi se pencher sur la question du chemin inverse. Dans quelle mesure la RG d'une part, et la mécanique quantique, d'autre part, émerge comme limites de la gravitation quantique et du principe holographique ?

Références utiles :

- Jacobson <http://arxiv.org/abs/gr-qc/9504004> ;
- Padmanabhan <http://arxiv.org/pdf/0912.3165v2.pdf> et <http://arxiv.org/pdf/1003.5665.pdf> ;
- Verlinde <http://arxiv.org/abs/1001.0785>