

Annuaire du Collège de France

122^e année

2021
2022

Résumé des cours et travaux



COLLÈGE
DE FRANCE
— 1530 —

CHAMPS, CORDES ET GRAVITÉ

Marc Henneaux

Professeur au Collège de France

La série de cours « La structure asymptotique de l'espace-temps » est disponible en audio et en vidéo, sur le site internet du Collège de France (<https://www.college-de-france.fr/site/marc-henneaux/course-2021-2022.htm>), ainsi que la série de séminaires du même nom (<https://www.college-de-france.fr/site/marc-henneaux/content-2021-2022.htm>).

ENSEIGNEMENT

COURS - LA STRUCTURE ASYMPTOTIQUE DE L'ESPACE-TEMPS

Introduction

La structure asymptotique de la théorie d'Einstein est particulièrement riche et fait apparaître à l'infini des algèbres de symétrie infini-dimensionnelles.

Ce sujet fera l'objet de cours étalés sur plusieurs années. Le cours de l'année 2021-2022 a été consacré aux espaces-temps asymptotiquement anti-de Sitter en dimension trois, où l'algèbre de symétrie est une somme directe de deux copies de l'algèbre de Virasoro (avec les conditions aux limites traditionnelles). Les cours des années suivantes seront consacrés aux espaces-temps asymptotiquement plats où l'algèbre de symétrie est l'algèbre de dimension infinie de Bondi-Metzner-Sachs (BMS).

Cours 1 du 11 mai 2022

- Formulation hamiltonienne des théories possédant une invariance de jauge
- Contraintes
- Théorie de Chern-Simons à trois dimensions

Cours 2 du 25 mai 2022 (1)

- Contraintes et transformations de jauge
- Termes de surface
- Transformations de jauge propres et impropres
- Symétries asymptotiques

Cours 3 du 25 mai 2022 (2)

Calculs explicites dans le cas de la théorie de Maxwell et des théories de Chern-Simons

Cours 4 du 1^{er} juin 2022

- Formulation hamiltonienne de la relativité générale
- Analyse asymptotique dans la formulation métrique
- Masse ADM

Cours 5 du 8 juin 2022

- Gravitation à trois dimensions avec constante cosmologique négative et théories de Chern-Simons $SO(2,2)$
- Conditions asymptotiques (1)

Cours 6 du 15 juin 2022

- Conditions asymptotiques (2)
- Algèbre de Virasoro et charge centrale
- Réduction hamiltonienne, théorie au bord

SÉMINAIRES LIÉS ET COLLOQUE

Séminaire 1 - General 2D dilaton gravity

Daniel Grumiller (université technique de Vienne, Vienne, Autriche), le 11 mai 2022

Two is the lowest spacetime dimension with light cones, horizons, black holes and intrinsic curvature. Therefore, models of 2D gravity often serve as playgrounds to address difficult conceptual issues concerning black hole evaporation, quantum gravity and holography. In his talk, he reviews classical and holographic aspects of general 2D dilaton gravity. It is based on recent work with Ruzziconi and Zwickel¹.

Séminaire 2 - On non-local CFTs and holography

Monica Guica (IPhT, Saclay), le 1^{er} juin 2022

TTbar and JTbar-deformed CFTs provide an interesting example of non-local, yet UV-complete two-dimensional QFTs that are entirely solvable. They are holographically dual to AdS₃ gravity with mixed boundary conditions for the non-dynamical metric, thus furnishing a fully controllable setup for checking the implications of asymptotic symmetry group analyses for such boundary conditions. In this talk, I showed that both TTbar and JTbar-deformed CFTs possess Virasoro x Virasoro or Virasoro-Kac-Moody x Virasoro-Kac-Moody symmetry, discuss the classical realization of these symmetries in terms of field-dependent coordinate transformations, and finally comment on their possibly non-standard holographic realisation. Time permitting, I discussed the analogous symmetries for symmetric product orbifolds of TTbar and JTbar-deformed CFTs, which are conjectured to capture holographic aspects of certain non-asymptotically AdS spacetimes.

Séminaire 3 - Non-conformal symmetries and near-extremal black holes

Stéphane Detournay (Université libre de Bruxelles, Belgique), le 8 juin 2022

The asymptotic symmetries of three-dimensional AdS spaces with Brown-Henneaux boundary conditions have played a significant role in the discovery and subsequent developments of the AdS/CFT correspondence (or gauge/gravity duality), in particular in relation with the black hole entropy problem.

In this talk, we described instances of dualities where the background and boundary conditions depart from the usual AdS₃ ones, leading to new classes of holographic field theories with infinite-dimensional symmetries. We discussed the implications of

1. D. Grumiller, R. Ruzziconi et C. Zwickel, « Generalized dilaton gravity in 2D », *SciPost Phys.*, vol. 12, 2022, 032, <https://doi.org/10.21468/SciPostPhys.12.1.032> [arXiv : 2109.03266].

these symmetries, and contrast them with those of more familiar 2D CFTs, in the framework of near-extremal black holes and nearly-AdS₂ holography.

Séminaire 4 - Berry phases, wormholes and factorization in AdS/CFT

Johanna Erdmenger (université de Wurtzbourg, Allemagne), le 15 juin 2022

For two-dimensional holographic CFTs dual to AdS₃ gravity, we demonstrate the role of Berry phases for relating the non-factorization of the Hilbert space to the presence of wormholes. The wormholes are characterized by a non-exact symplectic form that gives rise to the Berry phase. For wormholes connecting two spacelike regions in gravitational spacetimes, we find that the non-exactness is linked to a variable appearing in the phase space of the boundary CFT. This variable corresponds to a loop integral in the bulk. Through this loop integral, non-factorization becomes apparent in the dual-entangled CFTs. Furthermore, we classify Berry phases in holographic CFTs based on the type of dual bulk diffeomorphism involved. We distinguish between Virasoro, gauge and modular Berry phases, each corresponding to a spacetime wormhole geometry in the bulk.

Mini-colloque (le 22 juin 2022)

- Daniel Jafferis (Harvard University, Cambridge, États-Unis) : « Stringy ER = EPR »

D. Jafferis presented a worldsheet string duality between string theory in the BTZ black hole (or simply AdS₃-Rindler) and a free theory with a winding condensate, related to the FZZ duality. Next, he developed the framework for describing Lorentzian string theory in situations with Euclidean time winding. Putting these together gave a realization of the ER = EPR correspondence between wormholes and entanglement as a string theory duality between the connected black hole spacetime and an entangled superposition of states with a condensate of folded strings.

- Marc Henneaux (Collège de France) : « Three-dimensional gravity on spaces with multiple boundaries »

Three-dimensional gravity on spaces with multiple boundaries is classically solved by using the Chern-Simons formulation. The gauge-invariant classical phase space is explicitly constructed. The Hilbert space is shown not to tensor-factorize into the product of two Hilbert spaces, one for each boundary, due to zero mode degrees of freedom (holonomies) that are shared by the two boundary theories².

2. Based on N. Miron-Granese, A. Kandus et E. Calzetta « Nonlinear fluctuations in relativistic causal fluids », *Journal of High Energy Physics*, vol. 2020, 2020, art. 64, [https://doi.org/10.1007/JHEP07\(2020\)064](https://doi.org/10.1007/JHEP07(2020)064) [arXiv : 2002.08323].

- Edward Witten (Institute for Advanced Study, Princeton, États-Unis; en visioconférence) : « Algebras and Entropies »

The experience of an observer interacting with a black hole or in de Sitter space can be described by a Type II von Neumann algebra. This gives a slightly abstract explanation of why entropy is better defined in gravity than in ordinary quantum field theory³.

COURS À L'EXTÉRIEUR

Dans le cadre de la chaire « Le Collège Belgique reçoit le Collège de France », en partenariat avec l'Académie royale de Belgique, j'ai donné, le 18 janvier 2022, une visioconférence au Palais provincial de Namur, sur : « L'espace et le temps en physique : de Newton à Einstein et au-delà ».

RECHERCHE

Nos recherches ont été poursuivies dans trois directions :

- 1) Les limites carrolliennes des théories invariantes de Lorentz ont été étudiées. Celles-ci jouent un rôle important au voisinage des singularités de l'espace-temps de genre espace (« comportement BKL ») et également à l'infini de genre lumière, dont la structure géométrique est dégénérée. Nous avons mis en évidence l'existence de deux limites distinctes, l'une de type électrique et l'autre de type magnétique. Nous avons également explicitement dérivé les hamiltoniens correspondants et en avons donné une construction géométrique [1].
- 2) Nous avons continué notre étude systématique des symétries asymptotiques de la gravitation dans le cadre des espaces asymptotiquement plats, avec supersymétrie [2] et en dimension d'espace-temps supérieure à quatre [3] et [6].
- 3) Nous avons clarifié le comportement de la métrique d'espace-temps et des champs de matière à l'intérieur des trous noirs pour des modèles holographiques pertinents pour la description de la superconductivité [4].

Enfin, nous avons complété une analyse de la cohérence des champs de spin 2 en présence d'une constante cosmologique [5].

3. Based on E. Witten, « Gravity and the crossed product », *Journal of High Energy Physics*, vol. 2022, 2022, art. 8, [https://doi.org/10.1007/JHEP10\(2022\)008](https://doi.org/10.1007/JHEP10(2022)008) [arXiv : 2112.12828]; and work to appear with V. Chandrasekharan and G. Penington.

PUBLICATIONS

- [1] Henneaux M. et Salgado-Rebolledo P., « Carroll contractions of Lorentz-invariant theories », *Journal of High Energy Physics*, vol. 2021, 2021, art. 180, [https://doi.org/10.1007/JHEP11\(2021\)180](https://doi.org/10.1007/JHEP11(2021)180) [arXiv : 2109.06708].
- [2] Fuentealba O., Henneaux M., Majumdar S., Matulich J. et Neogi T., « Local supersymmetry and the square roots of Bondi-Metzner-Sachs supertranslations », *Phys. Rev. D*, vol. 104, n° 12, 2021, L121702, <https://doi.org/10.1103/PhysRevD.104.L121702> [arXiv : 2108.07825].
- [3] Fuentealba O., Henneaux M., Matulich J. et Troessaert C., « Bondi-Metzner-Sachs group in five spacetime dimensions », *Phys. Rev. Lett.*, vol. 128, n° 5, 2022, 051103, <https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.128.051103> [arXiv : 2111.09664].
- [4] Henneaux M., « The final Kasner regime inside black holes with scalar or vector hair », *Journal of High Energy Physics*, vol. 2022, 2022, art. 62, <https://doi.org/10.1007/JHEP03%282022%29062> [arXiv : 2202.04155].
- [5] Deser S. et Henneaux M., « Addendum: A note on spin two fields in curved backgrounds (2007 *Class. Quantum Grav.* 24 1683) », *Class. Quantum Grav.*, vol. 39, n° 9, 2022, 099401, <https://doi.org/10.1088/1361-6382/ac6057>.
- [6] Fuentealba O., Henneaux M., Matulich J. et Troessaert C., « Asymptotic structure of the gravitational field in five spacetime dimensions: Hamiltonian analysis », *Journal of High Energy Physics*, vol. 2022, 2022, art. 149, <https://doi.org/10.1007/JHEP07%282022%29149> [arXiv : 2206.04972].