



Le *Circle Limit III* de M.C. Escher donne une assez bonne visualisation de ce que peut être un espace anti-de Sitter.

## CHARLES MARTEAU, AU BORD DE L'ESPACE-TEMPS

Charles Marteau a été distingué par une mention « honorable » du prix Daniel Guinier de la Société française de physique (SFP) pour ses travaux au Centre de physique théorique (CPHT) de l'X, sur les théories de la gravitation dans un espace-temps avec bord, grâce au principe holographique. Nous avons voulu en savoir plus. C'est depuis Vancouver, où il effectue son postdoc, que Charles nous explique en quoi consistent ses recherches.

### *Charles, quel a été votre parcours pour arriver au CPHT ?*

À Henri-IV, je n'étais pas un élève très concentré ! Une fois bachelier, j'ai un moment hésité entre une prépa dans le domaine de l'art et une dans celui de l'ingénieur. Finalement, j'ai été accepté en prépa PTSI (physique, technologie et sciences de l'ingénieur) à Raspail dans le 14<sup>e</sup>. Là, j'ai enfin découvert ce que je n'aimais pas (les sciences de l'ingénieur) et ce que j'aimais vraiment : la physique, grâce à un professeur qui a su me la faire découvrir. J'ai donc brillé en physique, et ce professeur m'a encouragé à me présenter à l'ENS Cachan (Ulm ne recrute pas dans la filière PTSI). J'ai donc poursuivi ma prépa à Chaptal en visant Cachan, et j'ai intégré.

À Cachan, pour faire de la physique, il fallait suivre la filière ingénieur, mais ma prépa ne m'orientait pas vers cette filière. J'ai quand même été admis, à titre d'essai, pour un an à suivre cette filière. Durant ma première année de master, j'ai découvert la physique théorique, qui m'a passionné. Du coup, j'ai fait ma deuxième année à Ulm dans cette discipline et c'est là que j'ai rencontré Marios Petropoulos, qui y enseignait tout en étant chercheur au Centre de physique théorique de l'X. Puis j'ai enchaîné avec lui un premier stage, qui s'est poursuivi par ma thèse. Entre-temps, j'avais suivi une année de master 2 en mathématiques fondamentales à Jussieu, pour améliorer mon acquis dans ce domaine.

### **Sur quoi vos travaux portent-ils ?**

Mon sujet de thèse m'a été proposé par mon professeur : on serait bien incapable, dans ce domaine, de déterminer soi-même un sujet de thèse quand on sort juste de premier cycle universitaire ! Il s'inscrit dans un problème sérieux qui dure depuis longtemps : celui de la réconciliation de la relativité générale, qui s'applique avec un grand succès aux interactions gravitationnelles, à ce qui se passe au niveau des galaxies, etc. et de la mécanique quantique qui s'applique, avec une précision extraordinaire, aux très petits objets de la physique, comme les particules élémentaires, par exemple. Mais quand on essaye d'introduire les aspects quantiques dans la relativité générale, on tombe sur un problème redoutable, identifié par Hawking. Ce problème tourne autour des trous noirs, dont l'existence et de nombreuses propriétés sont prédites par la relativité générale. Mais si on imagine, selon la théorie du champ quantique, qu'il y a création d'une paire de particules de charges opposées à la lisière d'un trou noir (son « horizon »), on aura une particule qui sera avalée par le trou noir, tandis que l'autre s'échappera, sans qu'elles puissent jamais se réunir à nouveau. Dans ce processus, le trou noir va émettre des radiations, tout comme le ferait un corps noir, à une température extrêmement basse. Le nœud du problème, c'est que le trou noir va rétrécir et finir par « s'évaporer » et disparaître, et avec lui l'information qu'il contenait, ce qui est contraire aux lois de la mécanique quantique, qui n'admettent pas qu'il puisse y avoir destruction de l'information (cela découle du principe d'unitarité). Cela est très frustrant pour le physicien, qui a le choix entre deux attitudes : soit admettre qu'il doit renoncer à décrire complètement la nature avec les lois de la physique, soit qu'on a mal posé le problème et qu'il faut changer d'outils pour l'aborder. C'est bien sûr cette deuxième attitude qui motive les physiciens !

### **Quelle est donc cette nouvelle approche ?**

Il y a une nouvelle description de la gravité qui a été proposée par l'Argentin Juan Maldacena à partir du principe holographique en confrontant espace

anti-de Sitter et théorie conforme des champs (en anglais : *anti-de Sitter/conformal field theory correspondence*, d'où son abréviation en correspondance AdS/CFT). Pour simplifier à l'extrême, cela revient à décrire un trou noir en le projetant par holographie sur un « écran » à deux dimensions. Or il se trouve qu'on sait très bien travailler sur cette théorie, qui est connue depuis longtemps. Il y a beaucoup de travaux dans le monde pour explorer toutes les possibilités qui se cachent derrière cette théorie. On a ainsi mis en évidence qu'il existe une correspondance forte entre certaines théories des cordes très spécifiques et la théorie conforme des champs. Dans ce cadre, une limite dans l'une doit trouver sa correspondante dans une limite dans l'autre. Ainsi, à une limite à grand nombre de champs et couplage fort d'un côté (CFT) correspondent les équations classiques d'Einstein de l'autre (AdS).

C'est là que se situent mes travaux. La question qui m'était posée est la suivante : cette théorie conforme du champ peut, sous certaines limites et certaines conditions, se décrire en termes d'équations de fluides, dont on connaît bien les propriétés car elles sont très utilisées dans d'autres domaines, par exemple par les astronomes pour décrire certains objets comme les galaxies. Comment peut-on alors, en se donnant un fluide holographique, reconstruire le dual holographique dans le domaine gravitationnel ? Et à quels types de fluides correspondent les trous noirs ?

### **Mais que gagne-t-on à cette projection duale par l'holographie ?**

C'est une question très intéressante, car les équations qui gouvernent les trous noirs sont compliquées à manipuler, alors que celles qui régissent la mécanique de ces fluides sont bien connues. La reformulation en termes de fluides facilite donc les choses.

Il y a quand même un bémol : pour obtenir cet « écran » de projection holographique, il faut plonger l'espace dans une espèce de boîte, dont le bord est justement l'écran recherché. Or notre monde n'est pas une boîte. D'où la question : que se passe-t-il quand on fait tendre la dimension de la boîte vers l'infini ? C'est ce qu'on appelle la limite plate de l'holographie. Mes travaux ont montré qu'une sorte de dictionnaire de l'holographie subsiste, et on a pu l'étudier des deux côtés de la dualité. À la platitude de l'espace correspond une limite ultrarelativiste du fluide. C'est une situation très étonnante, où par exemple la causalité disparaît : le cône de lumière bien connu s'aplatit complètement, deux événements quelconques n'ont plus de lien de causalité possible. Ce monde étrange est aussi appelé carrollien, par référence au monde créé par Lewis Carroll, où temporalité et causalité sont sans cesse brouillées. X

**Propos recueillis par Robert Ranquet (72)**