

concentrées en un point, ce qui évite les infinis. Mais d'un autre côté, la théorie des cordes se heurte à ses propres problèmes; par exemple, elle ne fait pas de prédictions théoriques fermes pour les phénomènes observables.

La supergravité remise au goût du jour

Au milieu des années 1990, le Britannique Stephen Hawking a plaidé pour un réexamen des théories de supergravité. Il faisait remarquer que les études des années 1980 avaient pris des raccourcis qui rendaient leurs conclusions douteuses. Mais S. Hawking ne parvint pas à convaincre, car les physiciens avaient une bonne raison de prendre ces raccourcis: les calculs complets étaient hors de portée, même des plus brillants mathématiciens. Pour savoir avec certitude si un diagramme de Feynman à trois boucles de gravitons virtuels produit des quantités infinies, il faudrait évaluer 10^{20} termes. La question semblait devoir finir sur l'étagère des problèmes indécidables.

La méthode d'unitarité a changé la donne et a remis en selle la supergravité. Ce qui aurait nécessité 10^{20} termes avec la technique de Feynman, nous le faisons maintenant avec quelques dizaines. Avec plusieurs collègues, nous avons trouvé que les spéculations des années 1980 étaient fausses. Des quantités qui semblaient vouées à être infinies se révélaient finies. Cela signifie que les fluctuations quantiques de l'espace et du temps sont beaucoup plus inoffensives dans le cadre de la supergravité qu'on ne le pensait. La supergravité est moins absurde qu'elle ne le semblait.

Plus remarquable, trois gravitons interagissent exactement comme deux copies de trois gluons en interaction. Cette propriété de double exemplaire semble persister quel que soit le nombre de particules en interaction ou le nombre de boucles de particules virtuelles impliquées. Il reste à interpréter physiquement ce résultat mathématique et à vérifier s'il est toujours vrai. Pour l'instant, le point crucial est que la gravitation pourrait en fait ne pas être très différente des autres interactions fondamentales.

Comme souvent en science, à chaque fois qu'un débat se clôt, un autre s'ouvre. Immédiatement après nos calculs pour trois boucles, les sceptiques se sont

demandé si les problèmes n'allaient pas surgir avec quatre boucles. Quand nous avons fait le calcul, nous n'avons pas décelé de difficultés. Ce succès nous a permis de remporter un pari mettant en jeu de bonnes bouteilles de vin.

La théorie de la supergravité est-elle complètement dépourvue d'infinis? Ou bien son niveau élevé de symétrie limite-t-il ses excès pour un faible nombre de boucles? Dans ce dernier cas, les problèmes devraient s'insinuer à partir de cinq boucles, et à sept boucles les effets quantiques devraient être suffisamment forts pour produire des infinis. David Gross, de l'Université de Californie à Santa Barbara, offre une bouteille de zinfandel californien si les infinis ne sont pas présents à sept boucles. Pour trancher ce dernier pari, certains d'entre nous ont entrepris de nouveaux calculs. Une absence d'infinis à sept boucles stupéfierait les sceptiques et pourrait enfin les persuader que la supergravité peut être une théorie cohérente. Mais même si elle l'est, cette théorie ne rend pas compte d'autres types d'effets, non perturbatifs, qui sont trop infimes pour être vus dans l'approche boucle-par-boucle que nous avons suivie. Pour traiter ces effets, on risque d'avoir besoin d'une théorie plus fondamentale, peut-être la théorie des cordes.

Les physiciens aiment bien se représenter les nouvelles théories comme émergeant de nouveaux principes – relativité, physique quantique, symétrie. Mais parfois, ces théories émergent simplement d'un réexamen minutieux des principes que nous connaissons déjà. La révolution silencieuse de notre compréhension des collisions de particules nous a permis de déterminer les conséquences du modèle standard avec un luxe de détails, conduisant à des améliorations significatives de notre potentiel de découverte de la physique plus fondamentale. Plus surprenant, elle nous permet de suivre les implications non explorées de la physique d'hier, parmi lesquelles une piste négligée d'unification de la gravité avec les autres interactions connues. À de nombreux égards, la route qui mène à la compréhension des interactions des particules élémentaires n'est pas du tout comparable à un trajet dans le très prévisible métro de Londres; elle s'apparente plutôt à une virée dans le magicobus de Harry Potter, où vous ne savez jamais ce qui va se passer au prochain tournant. ■


Institut de recherche pour le développement

Un éditeur pour le développement

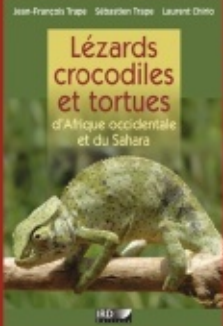
Les éditions de l'IRD vous accueilleront sur leur stand au Festival international de géographie de Saint-Dié-Les-Vosges, du 12 au 14 octobre 2012



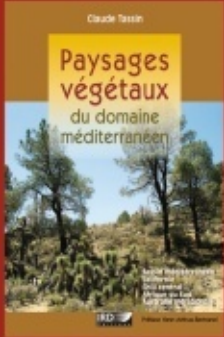
Hommes et natures
E. Motte-Florac, Y. Aumeerud-Thomas, E. Dounias
176 p., 120 photos, 35 €
978-2-7099-1724-7



Le Caire
Centre en mouvement
G. El Kadi
288 p., 247 photos, 35 €
978-2-7099-1717-9



Lézards, crocodiles et tortues d'Afrique occidentale et du Sahara
J.-F. Trape, S. Trape, L. Chirio
504 p., 750 photos, 64 €
978-2-7099-1726-1



Paysages végétaux du domaine méditerranéen
Bassin méditerranéen, Californie, Chili central, Afrique du Sud, Australie méridionale
C. Tassin
424 p., 270 photos, 45 €
978-2-7099-1731-5

Diffusion libraires : Eyrolles/Géodif
Vente par correspondance : IRD Diffusion
 32, av. Varagnat - F 93143 Bondy cedex
 Tél : 01 48 02 56 49 Fax : 01 48 02 79 09
 diffusion@ird.fr
www.ird.fr

HISTOIRE DES SCIENCES

Les multiples ancêtres du jeu de *Nim*

Piquet des cavaliers, Tiouk-Tiouk... Dès le XVI^e siècle en Europe, mais aussi en Afrique, se sont répandues diverses versions du jeu de *Nim*, un jeu numérique simple qui fournit, au début du XX^e siècle, les bases de la théorie des jeux combinatoires.

Lisa ROUGETET

Vous êtes assis face à votre adversaire. Une table où reposent trois tas d'allumettes vous sépare. Votre adversaire vient de jouer et vous laisse la configuration 7-5-3 : sept allumettes dans le premier tas, cinq dans le deuxième et trois dans le troisième. À tour de rôle, vous ne pouvez retirer d'allumettes (au minimum une) que d'une seule pile. Votre objectif est de prendre la (ou les) dernière(s) allumette(s). Par une diminution adéquate, vous pouvez vous placer en position gagnante et remporter la partie ; que faites-vous ?

Ce jeu nommé *Nim* doit son appellation au mathématicien américain Charles Bouton, qui publia en 1901 un article dans *The Annals of Mathematics* intitulé « *Nim, a game with a complete mathematical theory* » (*Nim*, un jeu avec une théorie mathématique com-

plète). Pour la première fois, ce jeu combinatoire impartial, c'est-à-dire où le hasard n'intervient pas et où les mouvements possibles sont les mêmes pour les deux joueurs, était résolu non seulement dans un cas particulier (la configuration 9-5-12), mais aussi dans le cas général (avec un nombre quelconque de tas), le tout formalisé mathématiquement (voir l'encadré page 82).

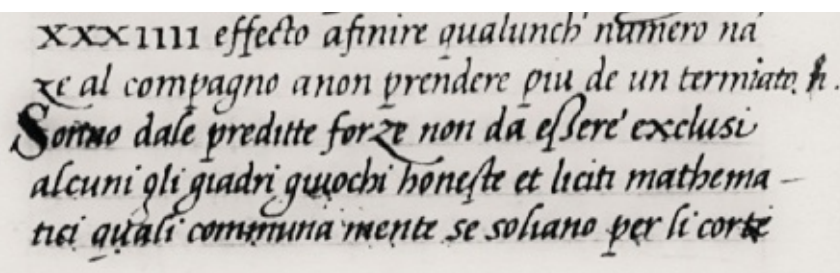
Depuis, l'article de Bouton est considéré comme l'élément déclencheur de la théorie mathématique des jeux combinatoires. Il constitue le point de départ de multiples recherches consacrées à la résolution de jeux de plus en plus compliqués avec des avancées toujours plus spectaculaires, comme la résolution du jeu de Dames anglaises en 2007 par l'équipe canadienne de Jonathan Schaeffer. Lorsque Bouton s'est intéressé au jeu de *Nim*, celui-ci existait déjà

depuis plusieurs siècles sous diverses formes, parfois assez éloignées. Présenté aux XVI^e et XVII^e siècles dans les premiers ouvrages de récréations mathématiques – des recueils qui rassemblent, aujourd'hui encore, des problèmes mathématiques amusants et leur solution – ou pratiqué dans des villages d'Afrique de l'Ouest, ce jeu était l'apanage d'une élite.

Une recette pour gagner à tous les coups

C'est dans l'ouvrage *De viribus quantitatis* du moine franciscain italien Fra Luca Pacioli publié en 1508, un des premiers recueils de récréations mathématiques, qu'apparaît l'ancêtre européen le plus ancien connu à ce jour du jeu de *Nim*. Dans l'effet XXXVIII, Pacioli confronte le lecteur au problème suivant : « Finir [le jeu] avant son compagnon, quel que soit le nombre, et sans prendre plus qu'un nombre limité. » Cet énoncé sibyllin prend tout son sens dans la résolution que donne ensuite Pacioli : il propose à deux personnes d'atteindre le nombre 30 en additionnant à tour de rôle des chiffres compris entre 1 et 6.

Il s'agit ici d'une version simplifiée du jeu de *Nim* correspondant au cas à un seul tas contenant 30 objets dont on ne peut prélever plus de 6 éléments par tour. Le jeu est énoncé sous une forme additive, où l'on ajoute des chiffres au lieu de diminuer des



1. L'EFFET XXXVIII DE L'OUVRAGE *DE VIRIBUS QUANTITATIS* du mathématicien Fra Luca Pacioli (1508). Le moine italien y énonce une version du jeu de *Nim* – la plus ancienne variante européenne connue à ce jour : « Finir [le jeu] avant son compagnon quel que soit le nombre, et sans prendre plus qu'un nombre limité. » Il explique ensuite que ce jeu fait partie des jeux mathématiques amusants, honnêtes et légitimes qui ont toute leur place dans les cours et auxquels tout le monde peut s'adonner comme récréation mathématique.