

taux conscients et subconscients que nous créons tous pour interpréter et comprendre le monde de tous les jours. Par exemple, le cerveau humain traite les données brutes du nerf optique, combinant les données des deux yeux, augmentant la résolution et comblant les lacunes telles que celle du point aveugle de la rétine. De plus, il crée l'impression d'un espace tridimensionnel à partir des données bidimensionnelles de la rétine. Quand vous voyez une chaise, vous avez simplement utilisé la lumière diffusée par la chaise pour construire une image mentale, c'est-à-dire un « modèle » de la chaise. Le cerveau est tellement doué pour construire des modèles que si l'on équipe les gens de lunettes qui renversent l'image, leur cerveau change le modèle de telle sorte qu'ils voient à nouveau les choses dans le bon sens... et, avec un peu de chance, avant qu'ils aient le temps d'essayer de s'asseoir !

Cinq théories ultimes ?

Dans la quête pour découvrir les principes ultimes de la physique, aucune approche n'a suscité autant d'espoirs que la théorie des cordes. Cette théorie a été proposée dans les années 1970 comme tentative d'unification des quatre interactions fondamentales de la nature en un cadre cohérent ; elle visait particulièrement à faire entrer la gravitation dans le cadre de la théorie quantique. Toutefois, dès le début des années 1990, les physiciens se sont aperçus que la théorie des cordes souffrait d'un malencontreux défaut : en fait, il y en a cinq différentes ! Pour ceux qui poussaient « la » théorie des cordes en tant que « théorie du Tout », c'était pour le moins embarrassant.

Au milieu des années 1990, les chercheurs ont commencé à découvrir que ces différentes théories (à laquelle s'ajoutait désormais la supergravité) décrivent en fait le même phénomène, ravivant leur espoir d'en faire finalement une théorie unifiée. Ces théories sont effectivement reliées par ce que les physiciens nomment des dualités, qui sont une sorte de dictionnaire mathématique pour traduire les concepts dans un sens ou dans l'autre. Malheureusement, chaque théorie n'est une bonne description des phénomènes que dans un ensemble donné de conditions (par exemple, uniquement pour les basses énergies). Aucune ne peut décrire à elle seule tous les aspects de l'Univers.

Les théoriciens des cordes sont maintenant convaincus que les cinq théories des cordes différentes sont juste différentes approximations d'une théorie plus fondamentale qui serait la « théorie M » (personne ne semble savoir à quoi correspond ce M. Il pourrait désigner le terme « maîtresse », « miracle » ou « mystère », ou les trois). On essaye encore de déchiffrer la nature de la théorie M, mais il semble que l'attente habituelle d'une théorie unique de la nature ne soit pas tenable, et que pour décrire l'Univers, il nous faudra appliquer différentes théories dans différentes situations.

Un réseau de théories

Ainsi, la théorie M n'est pas une théorie au sens classique du terme, mais un réseau de théories. Elle est comparable à une carte géographique. Pour représenter fidèlement l'ensemble de la Terre sur une surface plane, on doit recourir à un ensemble de cartes, qui couvrent chacune une région limitée. Les cartes se recouvrent à certains endroits, et là où il y a chevauchement, elles montrent le même paysage. De même, les différentes théories de la famille de la théorie M peuvent sembler très différentes, mais on peut les considérer comme des versions de la même théorie sous-jacente. Elles prédisent toutes les mêmes phénomènes là où elles se chevauchent, mais aucune ne fonctionne bien dans toutes les situations.

À chaque fois que nous développons un modèle de l'Univers qui fonctionne bien, nous avons tendance à attribuer à ce modèle la qualité de réalité ou de vérité absolue. Mais la théorie M, comme dans l'exemple du poisson rouge, montre qu'une même situation physique peut être modélisée de différentes façons, utilisant chacune des éléments fondamentaux et des concepts différents.

Il se pourrait que pour décrire l'Univers, nous ayons à appliquer différentes théories dans différentes situations. Chaque théorie peut avoir sa propre version de la réalité, mais d'après le réalisme dépendant du modèle, cette diversité est acceptable, et on ne peut dire d'aucune version qu'elle est plus réelle qu'une autre. Ce n'est pas ce que les physiciens attendaient *a priori* d'une théorie de la nature, et cela ne correspond pas non plus à l'idée que l'on se fait d'ordinaire de la réalité. Mais l'Univers est peut-être ainsi. ■

LES AUTEURS



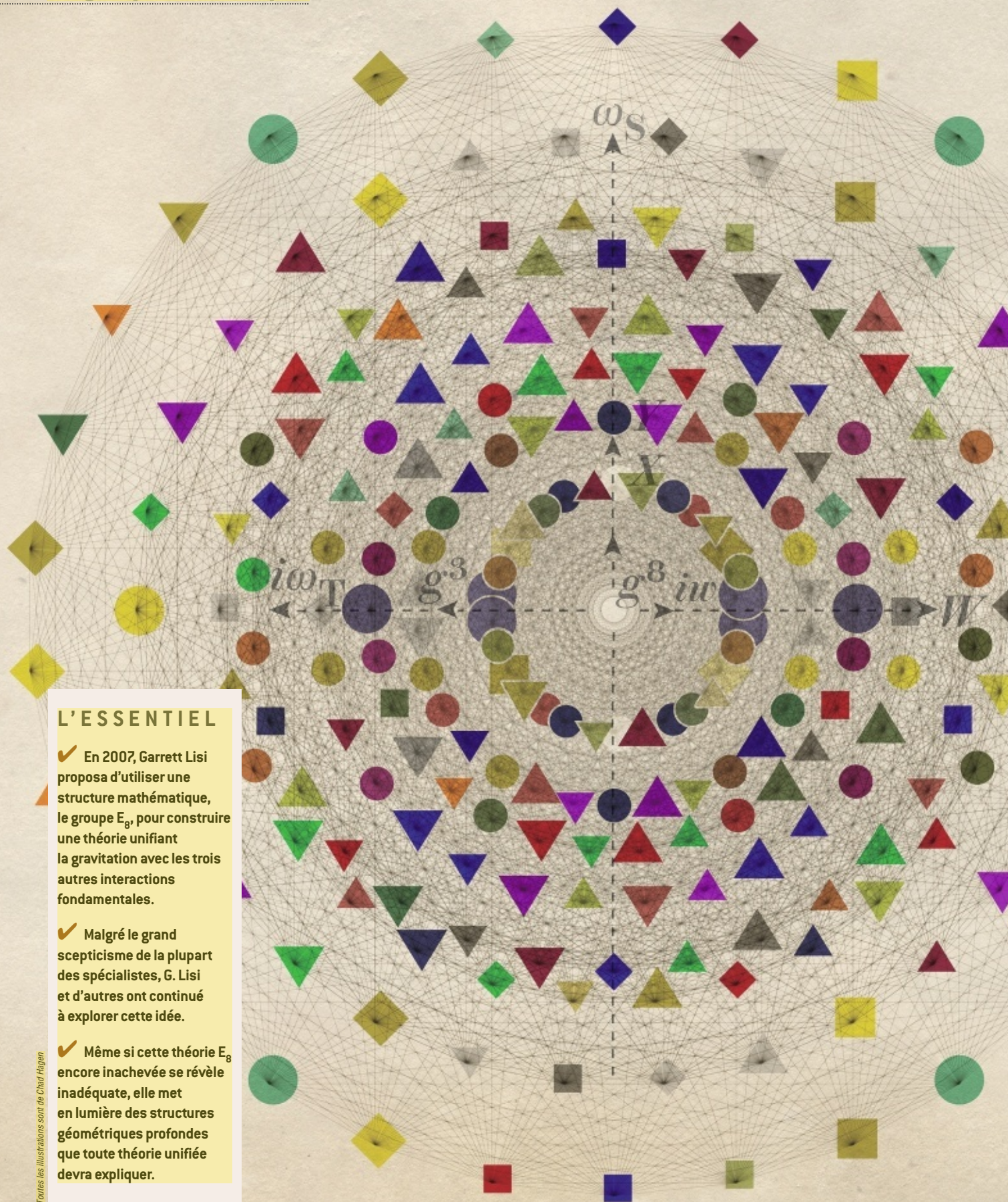
Stephen HAWKING, professeur émérite de mathématiques à l'Université de Cambridge, en Grande-Bretagne, est l'auteur de travaux essentiels à la compréhension moderne des trous noirs et des débuts de l'Univers. Leonard MLODINOW est physicien théoricien à l'Institut de technologie de Californie.

BIBLIOGRAPHIE

S. Hawking et L. Mlodinow, *The Grand Design*, Bantam Books, 2010.

J. Maldacena, *La gravité est-elle illusion ?*, *Pour la Science*, n° 339, janvier 2006.

M. J. Duff, *Les nouvelles théories des cordes*, *Pour la Science*, n° 246, avril 1998.



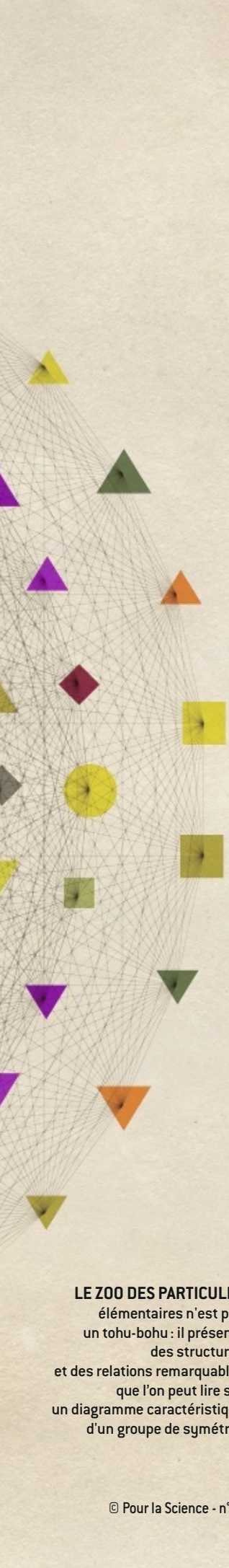
L'ESSENTIEL

✓ En 2007, Garrett Lisi proposa d'utiliser une structure mathématique, le groupe E_8 , pour construire une théorie unifiant la gravitation avec les trois autres interactions fondamentales.

✓ Malgré le grand scepticisme de la plupart des spécialistes, G. Lisi et d'autres ont continué à explorer cette idée.

✓ Même si cette théorie E_8 encore inachevée se révèle inadéquate, elle met en lumière des structures géométriques profondes que toute théorie unifiée devra expliquer.

Toutes les illustrations sont de Chad Hagen



Une théorie géométrique du Tout

Garrett Lisi et James Weatherall

Les particules élémentaires et leurs interactions reflètent sans doute une structure géométrique profonde de la nature. Cette structure a-t-elle quelque chose à voir avec le groupe de symétrie E_8 ?

La physique moderne est née en 1687 d'un processus d'unification. Avec sa loi universelle de la gravitation, Isaac Newton montrait que les descriptions théoriques d'alors des mouvements du pendule, des planètes, des marées, etc., n'étaient en fait que différentes facettes d'une même théorie. Depuis, les unifications se succèdent et jouent un rôle central en physique. Au XIX^e siècle, James Clerk Maxwell fusionna électricité et magnétisme. L'électromagnétisme résultant fut unifié 100 ans plus tard, vers 1970, avec la théorie de l'interaction faible – qui régit la radioactivité bêta –, ce qui a donné la théorie dite électrofaible.

Aller au-delà du modèle standard

La quête de l'unification a des motivations pratiques, philosophiques et esthétiques : la réunion de plusieurs théories physiques en une seule clarifie notre compréhension de l'Univers et en révèle des aspects insoupçonnés ; les physiciens, persuadés que les lois physiques découlent d'une unique structure mathématique, trouvent une telle théorie unifiée plus élégante. C'est pourquoi les expériences menées à l'aide d'accélérateurs comme le LHC (*Large Hadron Collider*, ou grand collisionneur de hadrons), au CERN à Genève, servent autant

à rechercher les phénomènes attendus par la théorie électrofaible qu'à recueillir les signatures possibles d'une éventuelle théorie du « Tout », décrivant toutes les particules et leurs interactions.

La meilleure théorie actuelle des interactions non gravitationnelles – à savoir l'interaction électromagnétique, l'interaction faible et l'interaction forte – a été élaborée dès les années 1970. Qualifiée de « modèle standard » de la physique des particules, elle décrit ces interactions et les particules qu'elles mettent en jeu. La formulation mathématique de cette théorie repose sur des objets géométriques abstraits nommés groupes de Lie et espaces fibrés ou plus simplement « fibrés ».

Le modèle standard n'en reste pas moins une théorie composée d'éléments disparates, puisqu'un objet géométrique différent décrit chaque interaction. C'est pour réduire, voire faire disparaître cette imperfection, que les physiciens n'ont cessé de tenter d'unifier les divers éléments du modèle standard et ont proposé des « théories de grande unification ». Dans chacune de ces théories, un objet géométrique unique est censé expliquer les interactions, mais nul ne sait laquelle de ces théories de grande unification est pertinente, ni même si l'une d'entre elles l'est...

Du reste, un problème d'unification plus profond se pose aux physiciens : l'intégration de l'interaction gravitationnelle et des trois autres interactions

LE ZOO DES PARTICULES
élémentaires n'est pas un tohu-bohu : il présente des structures et des relations remarquables que l'on peut lire sur un diagramme caractéristique d'un groupe de symétrie.