

## P h y s i q u e   t h é o r i q u e

# Qu'est-ce qui fait courir les physiciens?

STÉPHANE DURAND

Il se pourrait que l'univers ait neuf dimensions. Pourtant, dans

la vie de tous les jours, il semble bien n'y en avoir que trois. Pourquoi alors six dimensions supplémentaires?

Depuis une dizaine d'années, plusieurs centaines de physiciens et de mathématiciens travaillent avec acharnement sur la dernière trouvaille en matière de physique théorique: une théorie de *grande unification*. Pourquoi pareil engouement? Parce que cette théorie cherche à expliquer *tous* les phénomènes physiques à partir d'*une seule* loi fondamentale. Quelle est au juste cette théorie? Pourquoi nécessite-t-elle un espace à neuf dimensions? Et pourquoi pourrait-elle éventuellement expliquer d'où vient le big-bang (cette explosion primordiale de laquelle serait né l'univers il y a 15 milliards d'années)? Autant de questions auxquelles on tentera de répondre.

Mais, tout d'abord, que signifie le terme «unification»? À cet égard, voici quelques questions:

- Pourquoi la Lune tourne-t-elle autour de la Terre?
- Pourquoi les planètes sont-elles rondes, tandis que les astéroïdes ont la forme de «patates»?
- Pourquoi une fourmi peut-elle facilement transporter un objet pesant plusieurs fois son propre poids, alors qu'un humain réussit à peine à en supporter un de son propre poids?
- Pourquoi y a-t-il des marées?
- Pourquoi ne peut-il y avoir de montagne plus haute que le mont Everest sur la Terre?
- Pourquoi n'y a-t-il pas d'atmosphère sur la Lune?
- Pourquoi les petits animaux (insectes, écureuil, chat, etc.) sont-ils la plupart du temps effilés et

agiles, tandis que les gros (éléphant, hippopotame, rhinocéros, etc.) sont toujours massifs?

- Pourquoi la Lune possède-t-elle une face cachée?
- Pourquoi l'univers ne peut-il être qu'en expansion ou en contraction?
- Pourquoi les trous noirs sont-ils invisibles?
- Pourquoi Newton était-il génial?
- Pourquoi lisez-vous ceci?

Questions intéressantes, n'est-ce pas? (Sauf la dernière, bien sûr!) Qui semblent *a priori* indépendantes. Eh bien non! Toutes ces questions possèdent la *même* réponse: à cause de la force de gravité. Surprenant, non? Et qui a découvert la loi de la gravité? Newton. C'est d'ailleurs pourquoi il était génial.

Voilà poindre tout doucement cette idée de l'unification: expliquer le plus de choses possible à partir du moins de lois possible. Ainsi, on vient de considérer toute une panoplie de phénomènes apparemment distincts qui sont pourtant la conséquence d'une seule et même force: la gravité. Néanmoins, il existe aussi d'autres forces dans la nature et il est maintenant temps d'être un peu plus systématique, et d'expliquer plus précisément en quoi consiste une théorie d'unification.

## Pourquoi quatre forces?

L'univers contient deux types d'entités fondamentales: les *particules élémentaires* et les *forces* qui les font interagir. Les particules élémentaires sont les constituants de base de l'univers, soit les plus

petites particules à partir desquelles toute la matière peut être construite. Elles composent les atomes, qui à leur tour constituent les molécules, et par conséquent toute la matière. En simplifiant, on peut dire qu'il y a trois particules élémentaires: l'électron, le proton et le neutron<sup>1</sup>. En effet, les atomes sont formés de protons et de neutrons au centre (le noyau), et d'électrons qui gravitent autour. En variant l'agencement de ces trois particules, on peut former une centaine d'atomes différents. Ensuite, on peut combiner ces atomes d'innombrables façons pour produire la quasi-infinité de molécules qui composent toute la matière qui nous entoure. Par conséquent, toute la complexité, la diversité et la richesse de la nature se ramènent au jeu de trois particules de base!

Ces particules élémentaires interagissent entre elles sous l'effet de quatre forces fondamentales: la force de gravité, responsable de l'attraction universelle (déjà mentionnée); la force électromagnétique, décrivant les phénomènes électriques et magnétiques (par exemple, l'attraction entre les électrons et le noyau de l'atome, ainsi que la propagation de la lumière); la force nucléaire, dont résulte l'attraction des particules se trouvant à l'intérieur du noyau (protons et neutrons); et la force faible, responsable de la radio-activité. Chacune de ces forces englobe une quantité très vaste de phénomènes; on l'a vu pour la gravité, mais le même genre de situation existe aussi pour les autres forces. Donc, en résumé, tous les phéno-

mènes connus de l'univers se ramènent au jeu de quatre forces agissant sur trois types de particules élémentaires. Mais pourquoi *quatre* forces et *trois* particules ?

Depuis qu'ils ont découvert que les forces électrique et magnétique – apparemment très différentes l'une de l'autre – ne sont que deux manifestations particulières d'une seule et même force plus générale (la force électromagnétique), les physiciens sont à la recherche d'une force universelle qui engloberait les quatre interactions fondamentales. Autrement dit, ils cherchent *une* superforce dont la gravité, l'électromagnétisme, la force nucléaire et la force faible ne seraient que quatre manifestations différentes (c.-à-d. quatre cas particuliers). C'est ce qu'on appelle l'*unification des forces*.

De plus, dans cette théorie d'unification, les différentes particules élémentaires apparaissent comme diverses facettes d'une *unique* superparticule. Bref, une telle théorie permettrait d'expliquer tous les phénomènes physiques à partir d'une seule loi fondamentale: une superforce agissant sur une superparticule. C'est ce qui fascine tant les physiciens. Bien sûr, il n'est pas question ici d'expliquer cette théorie hautement mathématique, mais plutôt de faire saisir (à l'aide d'une analogie) pourquoi elle nécessite des dimensions supplémentaires.

### Un monde plat

Transposons donc tout cela dans le cadre de notre analogie. Imaginons un « monde » à deux dimensions (la surface d'une feuille de papier, par exemple) sur lequel vivent des « êtres » plats. Supposons que ce monde contienne seulement deux sortes de particules élémentaires, représentées par deux types de figures géométriques: des disques et des carrés (voir la figure 1). Les « atomes » de ce monde sont alors représentés par des figures plus complexes formées par différents agencements des figures de base. À leur tour, les « molécules » sont des agencements d'atomes, et ainsi de suite. Toute la matière de ce monde est donc constituée de divers agencements de disques et de carrés. Il y a aussi différentes forces qui font interagir ces particules, mais, pour simplifier, on ne les considérera pas et on se posera seulement une question: pourquoi y a-t-il deux types de particules élémentaires? Ou, autrement dit: y a-t-il un lien entre un disque et un carré? À première vue: non. Il semble n'y avoir absolument aucun lien entre ces deux figures. Pourtant, à bien y penser, il en existe un: c'est le cylindre. Vu de face, il apparaît comme un disque; vu de côté, c'est un carré ou un rectangle! (Voir la figure 2.) Donc disque et carré ne sont pas fondamentaux, mais seulement deux facettes d'un même objet plus fondamental: une superparticule cylindrique.

Notez la nécessité *absolue* d'introduire une dimension supplémentaire pour établir ce lien. Dans l'espace ordinaire à deux dimensions de ce monde plat, ce lien est *totalem*ent impossible à discerner: les êtres plats ne perçoivent que des sections

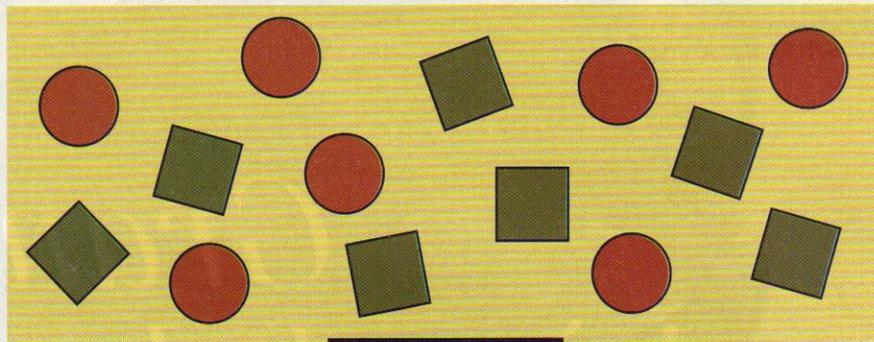


Figure 1

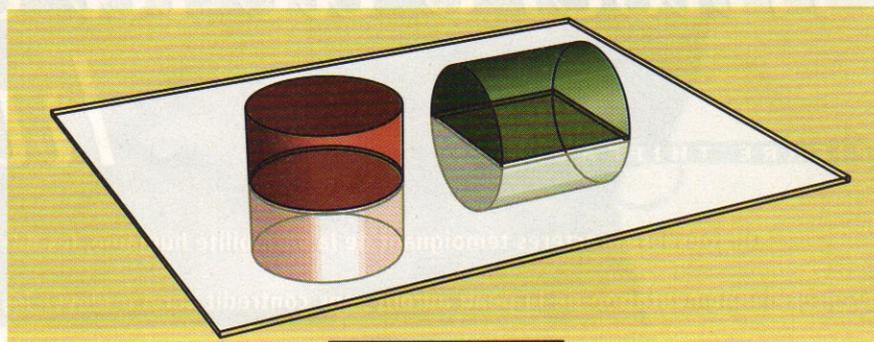


Figure 2

du cylindre, comme l'indique la figure 2. Il faut bien se rendre compte qu'il est impossible, pour des êtres à deux dimensions, de visualiser cette troisième dimension, tout comme il est impossible, pour nous, d'en imaginer une quatrième. Pour eux, cette superparticule est donc extrêmement abstraite, comme le serait pour nous une théorie nécessitant un espace à plus de trois dimensions.

### Neuf dimensions

De façon analogue, les *vraies* théories d'unification nécessitent des dimensions supplémentaires pour permettre d'établir le lien entre les trois particules élémentaires (proton, neutron et électron) et les quatre forces fondamentales (gravitationnelle, électromagnétique, nucléaire et faible). Dans le cadre de notre analogie, il suffirait d'une dimension supplémentaire; dans la réalité, il en faut six de plus... Pour un total de neuf (dix, si l'on inclut le temps?).

On pourrait être tenté de croire que tout cela n'est qu'un jeu et que ces dimensions supplémentaires ne sont que le fruit de l'imagination des physiciens. Il n'en est rien. De fait, les quatre forces fondamentales se séparent en deux grandes catégories: d'une part, il y a la gravité (c.-à-d. une force macroscopique); et, d'autre part, il y a les forces électromagnétique, nucléaire et faible (c.-à-d. trois forces microscopiques) qu'on réunit sous le vocable de forces quantiques, la théorie quantique étant une théorie du très petit. On a donc deux théories complémentaires: la gravité et la théorie quantique. Mais, *conceptuellement*, ces deux théories sont incompatibles. En général, cela importe peu car elles gouvernent deux catégories

de phénomènes qui ne se chevauchent pas du tout: phénomènes microscopiques et phénomènes macroscopiques.

En réalité, ce n'est pas tout à fait exact: la théorie de la gravité est en fait une théorie des phénomènes *massifs*. Bien sûr, en général, les objets massifs sont gros, donc la gravité est bien une théorie du macroscopique, et tout est parfait... Sauf dans (au moins) un cas: au moment du big-bang. Car, à ce moment, tout l'univers était concentré dans un volume infiniment petit. À cet instant, l'univers était à *la fois* massif et petit! Par conséquent, pour discuter rigoureusement du début de l'univers, il faudrait concilier – c.-à-d. unifier – la théorie de la gravité et la théorie quantique. Ce qui n'est pas encore fait, mais le sera par une théorie de grande unification (car elle unifie tout!). Ainsi, une telle théorie pourra (peut-être) répondre à la question: mais d'où vient le big-bang?

Voilà ce qui fait courir les physiciens... ••

### Notes

1. Il n'y a pas seulement trois types de particules élémentaires. Le proton et le neutron, contrairement à l'électron, ne sont pas des particules élémentaires, car ils sont eux-mêmes constitués de particules encore plus petites tels les quarks.
2. Depuis Einstein, on considère le temps comme une dimension. Ainsi, l'univers accessible à nos sens est à quatre dimensions (trois dimensions d'espace et une dimension de temps) tandis que les théories d'unification seraient à dix dimensions (neuf d'espace et une de temps). On les appelle « théories de supercordes ».