

Article

« L'esthétique scientifique : commentaire sur la Grande Unification »

Stéphane Durand

Horizons philosophiques, vol. 5, n° 1, 1994, p. 31-46.

Pour citer cet article, utiliser l'information suivante :

URI: <http://id.erudit.org/iderudit/800963ar>

DOI: 10.7202/800963ar

Note : les règles d'écriture des références bibliographiques peuvent varier selon les différents domaines du savoir.

Ce document est protégé par la loi sur le droit d'auteur. L'utilisation des services d'Érudit (y compris la reproduction) est assujettie à sa politique d'utilisation que vous pouvez consulter à l'URI <https://apropos.erudit.org/fr/usagers/politique-dutilisation/>

Érudit est un consortium interuniversitaire sans but lucratif composé de l'Université de Montréal, l'Université Laval et l'Université du Québec à Montréal. Il a pour mission la promotion et la valorisation de la recherche. Érudit offre des services d'édition numérique de documents scientifiques depuis 1998.

Pour communiquer avec les responsables d'Érudit : info@erudit.org

L'ESTHÉTIQUE SCIENTIFIQUE

COMMENTAIRE SUR LA GRANDE UNIFICATION

Au-delà des mathématiques, au-delà de l'explication des phénomènes, au-delà des expériences, il y a aussi, en physique, la *beauté* des structures. Nous tenterons d'illustrer cette esthétique scientifique dans le contexte des théories de Grande Unification.

Jamais encore de toute l'histoire de la physique (et même de toute l'histoire des sciences) autant de chercheurs n'ont travaillé aussi longtemps sur une théorie physique à ce point dépourvue de la moindre preuve expérimentale de validité. En effet, 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 — et ce, sans que cette théorie ait le moindre petit soupçon de confirmation expérimentale. Pourquoi pareille passion? Autrement dit, pourquoi ces physiciens sont-ils persuadés que cette théorie est bonne (ou du moins un pas dans la bonne direction) même s'il est impossible de la vérifier? Tout simplement parce que cette théorie semble *trop belle pour être fausse...*

Historiquement, bien sûr, la physique a cherché à expliquer les phénomènes de la vie de tous les jours. Bien que le vieux débat sur le *sens* de l'explication que donne la physique de la Nature ne soit pas clos, loin de là, il n'en reste pas moins que la physique a eu beaucoup de succès; qu'il suffise de mentionner toutes les réalisations technologiques basées sur les lois de la physique. Bref, on ne peut pas nier ce fait: la physique "fonctionne". Or, la nature même de la recherche en physique fondamentale a profondément changé depuis quelques temps. Bien sûr, la plupart des physiciens font encore de la recherche traditionnelle, c'est-à-dire motivée et confrontée par les faits expérimentaux; cela est particulièrement vrai dans les domaines de physique appliquée. Par contre, la physique théorique

fondamentale a subi une profonde mutation dans sa façon même de procéder.

La physique théorique étudie les forces fondamentales de la nature; il semble y en avoir quatre (sur lesquelles on reviendra). Les siècles passés ont vu les physiciens les découvrir une à une, les comprendre, les maîtriser, puis les appliquer technologiquement. Tant et si bien qu'aujourd'hui, il n'y a "plus rien à faire" : chacune de ces forces est bien comprise et décrite par une théorie physique particulière qui fonctionne très bien. Il ne reste plus, à première vue, qu'à "figurer les détails" de ces théories pour améliorer leurs applications technologiques. Par conséquent, les théoriciens ont commencé à se poser un nouveau genre de questions. Pourquoi y a-t-il quatre forces fondamentales, plutôt que cinq ou six? Existe-t-il un lien entre ces quatre forces? Remarquez le changement de perspective: on ne s'interroge plus sur «comment fonctionne l'univers», mais sur «pourquoi l'univers fonctionne» ou, en d'autres mots, «pourquoi l'univers est tel qu'il est». Comprendre pourquoi il y a quatre forces n'a, à première vue, absolument aucune conséquence concrète dans la vie de tous les jours, même à long terme. Découvrir que ces quatre forces ne seraient finalement que différentes facettes d'une unique superforce, non plus. Pourtant, c'est ce que tentent les physiciens, et une telle théorie englobant les quatre forces est appelée théorie de Grande Unification. En fait, ce désir de vouloir unifier les forces, c'est-à-dire de vouloir décrire tout l'univers comme la conséquence logique d'une seule force, est en quelque sorte un désir esthétique : il est plus "élégant" de tout expliquer à partir d'une formule qu'à partir de quatre. Ainsi, l'esthétique fait son entrée en physique...

Mais il y a un problème: la physique théorique d'aujourd'hui est en avance de plusieurs décennies (voire plusieurs siècles) sur la physique expérimentale. En d'autres mots, il est totalement impossible de vérifier expérimentalement, avec la technologie d'aujourd'hui, une telle théorie de Grande Unification. Alors, comment faire pour savoir si cette théorie est bonne? Pourquoi donc autant de physiciens et de mathématiciens travaillent-ils

sur cette théorie invérifiable? Parce que, on l'a dit, cette théorie semble trop belle pour être fausse.¹

Mais qu'est-ce au juste que la beauté d'une théorie physique? Voilà bien la difficulté. Il est relativement aisé de définir *naïvement* la beauté en poésie, en peinture ou en musique, puisque tous et chacun ont déjà admiré des réalisations dans ces domaines, et que chacun sait «par expérience» ce qu'il trouve beau ou laid. Mais en physique? En fait, la beauté en physique se révèle de plusieurs façons : il y a la beauté des idées, la beauté du formalisme, la beauté des structures, etc. Mais par-dessus tout, il y a la *puissance* de la beauté, c'est-à-dire que des considérations purement esthétiques permettent de faire des *prédictions*: par exemple, l'existence de nouvelles particules, ou encore que l'univers a peut-être 9 dimensions... (mais n'anticipons pas). Bien sûr, nous ne présenterons pas une explication rigoureuse de cette notion, car la véritable beauté de la physique ne se révèle qu'à travers les mathématiques. Nous tenterons plutôt une métaphore (rigoureuse, tout de même).

Le but premier de toute théorie physique (et de toute théorie scientifique, d'ailleurs) est, évidemment, de décrire le monde dans lequel nous vivons. Mais ce premier but est talonné de près par un second qui consiste à vouloir «simplifier» au maximum cette description, c'est-à-dire réduire au minimum le nombre de principes de bases à partir desquels ces théories peuvent être construites. En d'autres mots, on veut à partir d'un minimum de principes déduire un maximum de faits. Puisqu'une grande partie de la puissance et de la beauté de la physique réside dans ce deuxième but, une définition plus adéquate serait la suivante : la physique cherche à décrire notre univers à partir du plus petit nombre possible de lois fondamentales; et, ultimement, à partir d'*une seule* loi fondamentale. C'est justement le but des théories de grande unification : unifier tous les phénomènes physiques, c'est-à-dire tout expliquer à partir d'une seule loi. Dans le cadre de ces théories, des phénomènes qui semblaient de prime abord totalement différents et

1. Certains cyniques diraient trop belle pour être vraie...

indépendants, apparaissent soudainement comme autant de morceaux d'un casse-tête qui s'insèrent parfaitement – et quasi miraculeusement – les uns dans les autres. Et mon but principal ici est d'essayer de transmettre au lecteur l'émotion du physicien devant la beauté de ces constructions. Je tenterai de le faire à l'aide d'une analogie géométrique; c'est la métaphore annoncée.

Mais avant tout, j'aimerais mentionner une autre facette de cette esthétique scientifique, d'ailleurs intimement liée à un mythe : la physique ne serait qu'une science aride et austère, "pleine de chiffres et de calculs". Faux : elle est aussi tout le contraire, à savoir, esthétique, génératrice d'émotions et poétique. Bien sûr, c'est une science mathématique, mais les mathématiques ne sont que son langage; la physique est au-delà. Tout comme la musique est au-delà de la partition.

Mais poursuivons un peu avec l'analogie musicale. La musique, disais-je, est au-delà de la partition; la partition n'étant qu'une écriture, qu'une notation, qu'un langage musical. On a beau vous dire, ceci est un do, cela un ré, ceci une noire, cela une double croche, on a beau vous expliquer la signification de chaque symbole apparaissant sur une partition, vous n'arriverez jamais, si vous n'avez aucune connaissance musicale théorique, à saisir, à comprendre, à "entendre" ce qui est derrière tous ces symboles. Vous ne ressentirez donc absolument aucune émotion. Par contre, si des instrumentistes *jouent* la partition, alors là vous pouvez saisir la beauté musicale. Par ailleurs, un musicien expérimenté peut, à la *seule lecture* de la partition, "entendre" cette musique; il sera alors aussi ému que vous qui l'entendez réellement.

C'est exactement le même phénomène qui se produit en physique: la différence entre une formule mathématique et la physique sous-jacente est du même ordre que celle entre une partition et la musique qu'elle engendre. Et tout comme le musicien expérimenté, le physicien expérimenté réussit, à la lecture d'une formule mathématique, à «entendre» la physique qu'elle représente. Ainsi, l'important n'est pas de savoir que tel symbole représente la vitesse d'une planète, tel autre sa masse, etc; l'important, c'est le lien qui unit tous ces symboles,

la façon dont ils sont agencés, la structure qu'ils produisent. Tout comme la valeur d'une partition musicale ne vient pas de la position absolue de chacune des notes prises individuellement, mais plutôt de leur position relative, de leur agencement les unes par rapport aux autres, de la façon dont elles s'enchaînent, de la structure qu'elles génèrent. Il suffit alors d'entendre cette structure.

Malheureusement, et contrairement à la musique, il n'existe pas d'«instrument» qui permette de «jouer» de la physique. La seule façon de l'entendre (et d'apprécier sa poésie) est donc d'étudier son langage mathématique assez profondément pour réussir à le transcender et à saisir ce qui est au-delà; alors l'émotion naît et la physique subjugué.²

Il est important de souligner que, contrairement au langage musical (la partition), le langage de la physique (les mathématiques) est aussi quelque chose d'extrêmement intéressant *en soi*. Mais le but ici n'est pas de faire saisir, ni la beauté des mathématiques, ni la beauté de leurs liens avec la physique : on pourrait parler d'élégance ou encore de simplicité; mais ce ne seraient que des mots. D'ailleurs, même entre physiciens, il serait assez difficile de définir précisément la nature de cette beauté : c'est quelque chose que l'on ressent. Pourtant, c'est moins subjectif qu'il n'y paraît à priori, car tous s'accorderaient à dire que telle formule mathématique est belle et que telle autre ne l'est pas! Mais ce n'est pas le but recherché ici. Le but est plutôt – rappelons-le – de faire saisir comment une théorie peut être «trop belle pour être fausse» et comment des considérations esthétiques peuvent conduire à des prédictions. 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 sont en forme de «patates»?
- Pourquoi une fourmi peut-elle facilement transporter un objet pesant plusieurs fois son propre poids, tandis 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 tous ceci?

Questions intéressantes, n'est-ce pas? (À part la dernière, bien sûr.) Qui semblent a priori indépendantes. Et 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'*unité* de la physique : expliquer le plus de choses possible à partir du moins de lois possible. Nous ne passerons pas en revue ici la façon dont la théorie de la gravité répond à chacune des questions précédentes – cela serait un peu long – car pour l'instant l'important est de prendre conscience de l'*existence* de cette unité et non pas de la façon dont elle procède. Poursuivant dans le même sens, voici un autre exemple.

Le système solaire est formé (pour ce qui est des objets les plus importants) du Soleil au centre, de neuf planètes qui gravitent autour, et de plusieurs lunes qui tournent autour des planètes. La Terre ne possède qu'une lune, mais Jupiter en possède au moins 16 et Saturne une vingtaine. Alors, prenez quelques instants pour imaginer le mouvement harmonieux de cette centaine de corps célestes voyageant tous à des vitesses différentes sur des orbites parfaitement stables

depuis des milliards d'années... Eh bien, tout ce formidable ballet cosmique découle de seulement deux petites formules : $F=ma$ et $F=GMm/r^2$. Tout, absolument tout – incluant la moindre perturbation – est la conséquence de ces deux petites formules.³ Bien que leur formulation n'ait l'air de rien, le moindre petit changement dans ces formules peut avoir des conséquences désastreuses. Par exemple, si on remplace le "2" dans la deuxième formules par n'importe quel autre chiffre, toute la stabilité du système solaire est détruite: selon le nouveau chiffre choisi, ou bien toutes les planètes s'écrasent sur le soleil, ou bien elles s'échappent de l'attraction du soleil pour aller se perdre dans l'immensité du cosmos. Il est donc clair que l'important n'est pas la signification de chacun des symboles (par exemple, que "a" représente l'accélération), mais leur agencement, c'est-à-dire la structure de la formule. On a donc ici, pour en revenir à l'analogie musicale du début, un exemple de cette sorte de «mélodie» céleste qui se cache derrière une «partition» de physique; certains changements dans la partition provoquant des «dissonances», comme l'effondrement du système solaire.⁴

On vient donc 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

2. Avouez que si vous n'aviez aucune idée de l'effet produit par l'audition réelle d'une œuvre musicale, vous trouveriez sa partition aussi austère et hermétique qu'une formule mathématique...
3. Ces deux formules sont de Newton. La première est bien connue (du moins, de nom) et la deuxième est la formulation mathématique de la loi de la gravité. Rigoureusement, on devrait aussi inclure le principe «action égale réaction». La formule de gauche donne l'accélération "a" d'un corps de masse "m" sous l'influence d'une force "F". La formule de droite donne la force "F" agissant entre deux corps de masses "m" et "M" (la Terre et la Lune, par exemple) séparés par une distance "r". La lettre "G" représente la constante gravitationnelle.
4. Cet exemple n'est pas typique du lien physique/mathématique au sens musical précédemment mentionné. Généralement, la "poésie physique" qui se cache derrière une "partition mathématique" est d'un autre ordre: beaucoup plus abstraite (donc, sans visualisation possible) et, surtout, beaucoup plus proche de l'émotion artistique. Ici, l'exemple en était assez lointain finalement (il voulait surtout montrer les conséquences complexes qui peuvent découler de formules apparemment simples).

temps d'être un peu plus systématique, et d'expliquer plus précisément en quoi consiste une théorie d'unification.

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, les plus petites particules à partir desquelles toute la matière peut être construite. Elles forment les particules plus «grosses», telles le proton et le neutron, qui à leur tour composent les atomes, qui à leur tour constituent les molécules, et par conséquent toute la matière. Il y a 12 particules élémentaires différentes : 6 types de quarks et 6 types de leptons (les quarks forment le proton et le neutron tandis que l'électron est un des leptons). Par conséquent, toute la complexité, la diversité et la richesse de l'univers se ramènent au jeu de 12 particules de base.

Ces particules élémentaires interagissent entre elles sous l'effet de 4 forces fondamentales : la force de gravité, responsable de l'attraction universelle (par exemple, l'attraction entre les planètes); 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, responsable de l'attraction des particules se trouvant à l'intérieur du noyau (protons et neutrons); et la force faible, responsable, par exemple, de la radioactivité. Comme on le voit, chacune de ces quatre forces gouverne des phénomènes bien différents et chacune d'elles est décrite par une théorie distincte. 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 trois autres forces, bien qu'il soit beaucoup plus difficile d'en parler de façon non technique. En effet, la gravité est un cas à part : c'est la force du monde macroscopique, c'est-à-dire du monde directement accessible à nos sens. On connaît bien le genre de phénomènes sous sa gouverne. Au contraire, les trois autres forces régissent le monde microscopique: un monde caché, inaccessible à nos sens; un monde gouverné par une logique

qui n'est plus celle de la vie de tous les jours et, par conséquent, un monde très difficile à se représenter. En résumé, tous les phénomènes connus de l'univers se ramènent au jeu de *quatre* forces agissant sur *douze* particules élémentaires différentes. Mais pourquoi ces nombres : quatre et douze ?

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'est-à-dire quatre cas particuliers). C'est ce qu'on appelle l'unification des forces.

De plus, dans le cadre de 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. Pourquoi une telle quête? Simplement pour la beauté de la construction!⁵ 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 fascine tant les physiciens.

5. En fait, une telle quête n'est pas entièrement esthétique comme on le verra plus loin.

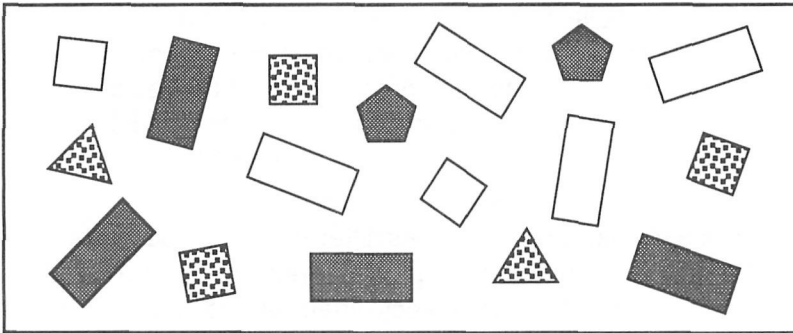


illustration 1

Maintenant, transposons tout ceci dans le cadre de notre analogie. Imaginons un «monde» à 2 dimensions (la surface d'une feuille de papier, par exemple) sur lequel vivent des «êtres» plats. Supposons que les particules élémentaires de ce monde soient représentées par les figures géométriques de l'illustration 1. Il y a donc 17 particules élémentaires connues dans ce monde : 6 types de particules «blanches», 5 types de «tachetées» et 6 types de «grises». ⁶ Le nombre, la teinte et la forme de chaque particule sont très importants. Attention: les figures de l'illustration représentent des particules *différentes*. Par exemple, les deux triangles tachetés doivent être considérés comme légèrement différents, c'est-à-dire qu'ils représentent deux particules de type différent (par exemple, deux types de quarks). Bien sûr, il existe un très grand nombre de copies conformes de chaque figure, c'est-à-dire de chaque particule, tout comme dans la Nature il y a quasiment une infinité de quarks de chaque type et de leptons de chaque type (par exemple, une quasi infinité d'électrons, tous rigoureusement identiques).

De plus, supposons qu'il existe trois forces différentes que nous appellerons *B*, *T* et *G*. Elles agissent de la façon suivante : les particules blanches s'attirent entre elles sous l'effet de la force *B*, les tachetées s'attirent entre elles sous l'effet de la force

6. C'est la transposition, dans notre analogie, des six types de quarks et des six types de leptons. Le fait qu'il n'y ait pas les mêmes nombres et catégories de particules que dans la réalité importe peu ici.

T, et pareillement pour les particules grises et la force G. Pour simplifier, on suppose qu'il n'y a pas d'interaction entre les particules de teintes différentes. Les «atomes» de ce monde sont alors représentés par des figures plus complexes formées par différents agencements des figures de base : quelques exemples sont donnés sur l'illustration 2. À leur tour, les molécules sont des agencements d'atomes, et ainsi de suite.

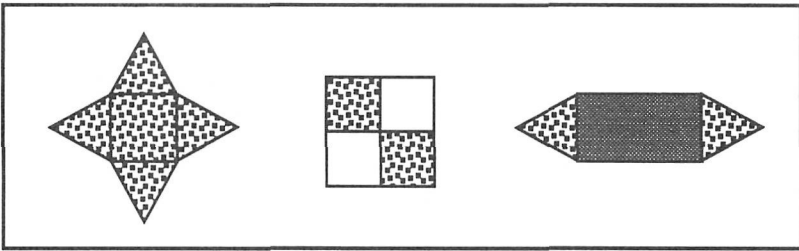


illustration 2

Donc, en résumé, tous les phénomènes connus de ce monde se ramènent au jeu de 3 forces agissant sur 17 particules élémentaires différentes. Mais pourquoi ces nombres : 3 et 17? Plus précisément, pourquoi y a-t-il 6 figures blanches, 5 tachetées et 6 grises?⁷ Pourquoi les figures ont-elles ces formes particulières? Y a-t-il un lien entre les 3 forces? Bref, existe-t-il un principe unique duquel on puisse déduire toutes ces caractéristiques? Pour répondre à toutes ces questions, il faudrait trouver une théorie plus générale englobant toutes les figures de l'illustration 1. Suivant cette idée, on remarque qu'on peut former avec les 6 figures blanches et les 5 figures tachetées de l'illustration 1, la boîte rectangulaire et la boîte triangulaire de l'illustration 3. Intéressant! Par contre, il manque un rectangle gris pour pouvoir former la boîte pentagonale...

Une alternative se présente alors : ou bien le fait de pouvoir former des boîtes avec les figures blanches et tachetées n'est qu'un hasard; ou bien ce n'en est pas un, et il doit alors exister

7. C'est l'équivalent des vraies questions que se posent les physiciens : «Pourquoi y a-t-il 12 particules élémentaires et 4 forces fondamentales, et en particulier, 6 types de quarks et 6 types de leptons?»

un cinquième rectangle gris, encore inconnu. La «théorie des boîtes» fait donc une *prédiction* : l'existence d'un autre type de particule «rectangle gris». Pour confirmer la théorie, il faudrait faire des expériences et découvrir la particule manquante. Sans cela, la théorie n'est pas parfaitement convaincante: le risque de hasard est toujours présent.

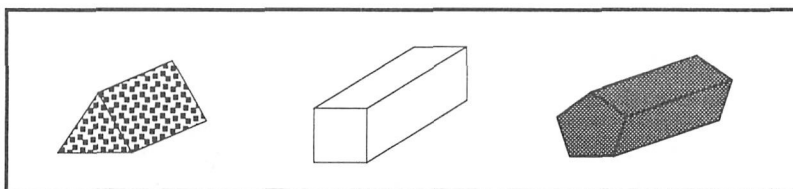


illustration 3

Mais on peut aller plus loin, et calculer le *volume* de chacune des boîtes. On découvre alors – ô extase! – que le volume de la boîte blanche est égal à l'intensité de la force B, celui de la boîte tachetée égal à l'intensité de la force T et celui de la boîte grise égal à l'intensité de G! Le hasard ne peut plus expliquer autant de coïncidences; cette théorie fonctionne maintenant trop bien, car toutes les caractéristiques des particules se déduisent d'un *principe unique et universel* : pour chaque teinte, on explique à partir d'une boîte particulière l'intensité de la force, le nombre et la forme des particules. Bref, cette théorie est trop belle pour être fausse...

Bien sûr, ceci n'est qu'une façon de parler. Toute théorie scientifique se doit d'être vérifiée expérimentalement. On veut tout simplement souligner ici qu'une théorie aussi "belle" (c'est-à-dire qui explique de façon aussi simple et élégante plusieurs phénomènes apparemment indépendants et/ou désordonnés) a beaucoup plus de chance d'être vraie qu'une théorie "laide". D'ailleurs, l'histoire de la physique le confirme: les théories belles mais fausses sont très rares, de même que les théories laides mais bonnes. Par conséquent, dans ce contexte, il est *presque* certain que la particule manquante (le cinquième rectangle gris) existe vraiment, et que ce ne soit qu'une question de temps avant que la technologie soit assez avancée pour la

mettre en évidence expérimentalement.⁸ Voilà pourquoi certaines théories de grande unification—les théories de supercordes—sont tellement à la mode aujourd’hui, malgré le fait qu’elles soient pratiquement invérifiables : elles permettent aux morceaux du casse-tête de la physique fondamentale de s’agencer tellement miraculeusement que les physiciens (enfin, certains physiciens) sont persuadés que ces théories sont au moins un pas dans la bonne direction.⁹

Ce n’est pas tout. Revenons à notre analogie et à son principe qui permet d’établir un lien entre les figures à *deux dimensions* de l’illustration 1, à l’aide des boîtes à *trois dimensions* de l’illustration 3. Il est crucial de remarquer qu’il faut *absolument* introduire une dimension supplémentaire pour établir ce lien : dans l’espace ordinaire à deux dimensions de ce monde plat, ce lien est totalement impossible à discerner. Il faut aussi bien réaliser qu’il est impossible pour des êtres à 2 dimensions de visualiser cette troisième dimension, tout comme il est impossible, pour nous, d’en imaginer une *quatrième*. Pour eux, cette théorie des boîtes à trois dimensions est donc extrêmement abstraite, comme le serait pour nous une théorie à plus de trois dimensions. Or, les théories de supercordes nécessitent un espace à neuf dimensions! (Dix, si l’on inclut le temps.)¹⁰ Autrement dit, comme pour notre analogie, les vraies théories d’unification nécessitent des dimensions supplémentaires pour permettre d’établir le lien entre toutes les particules et toutes les forces de la Nature.

8. D’ailleurs, de façon très similaire, les physiciens expérimentateurs viennent de découvrir (mai 94) le quark manquant (qu’on appelle le “top” quark) prédit par les théoriciens il y a presque 15 ans. En fait, depuis plusieurs années, tout le monde fait comme si ce quark existait bel et bien, tellement on était sûr de son existence.
9. Elles sont invérifiables car leur confirmation expérimentale est au delà (et de beaucoup) de la technologie d’aujourd’hui. (Note : le degré de confiance en ces théories est quand même moins élevé que celui qu’on avait en l’existence du “top” quark, tellement ces théories sont abstraites, complexes et encore partiellement incomprises.)
10. 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 de supercordes seraient à dix dimensions (neuf d’espace et une de temps).

Remarquons qu'à son tour la "théorie des boîtes" conduit à une nouvelle interrogation : pourquoi y a-t-il ces 3 boîtes particulières (c'est-à-dire ces 3 forces)? Une réponse possible serait que ces boîtes à 3 dimensions forment les «faces» d'une *seule et unique* «boîte» à 4 dimensions!¹¹ Ou encore, peut-être devrait-il y avoir une autre boîte à 3 dimensions pour réussir à construire un tel objet à 4 dimensions. Dans ce dernier cas, on pourrait prédire l'existence d'une quatrième force ainsi que d'une nouvelle catégorie de particules associées à cette dernière. On pourrait même prédire l'intensité de cette nouvelle force: ce serait le volume de cette nouvelle boîte. Cette boîte à 4 dimensions constituerait *la* loi fondamentale de ce monde, c'est-à-dire la théorie *unifiée* de toutes ses particules et de toutes ses forces (la *géométrie* de la boîte représentant la superparticule et son *volume* étant relié à la superforce). Notez que par rapport à l'espace plat de départ, il a fallu ajouter deux dimensions pour saisir cette théorie d'unification.

De façon analogue, une *vraie* théorie d'unification prédit de nouvelles particules, de nouvelles forces, et (comme on l'a dit) nécessite des dimensions supplémentaires. Il est important de souligner que cette idée de dimension supplémentaires—à première vue, totalement excentrique et farfelue—apparaît pour des raisons à la fois esthétiques et fondamentales : esthétiques, car elle permet d'établir un lien entre toutes les particules et toutes les forces connues; fondamentales, car elle permet de faire des prédictions (nouvelles particules et nouvelles forces) et d'expliquer certains phénomènes très particuliers (voir ci-dessous).

Mais il restera encore une autre question : pourquoi l'univers est-il régi par telle superforce particulière et non pas par telle autre? En fait, il se pourrait que des considérations de pure cohérence mathématique permettent de montrer que *seule une certaine superforce particulière* conduit à un univers stable et cohérent. Alors, il ne restera plus qu'une seule question : pourquoi cette superforce existe-t-elle? Autrement dit : pourquoi y a-t-il un univers plutôt que rien?...

11. impossible à dessiner...

Bien sûr, notre analogie n'était qu'une métaphore. Les vraies théories physiques sont hautement mathématiques et, par conséquent, la réelle beauté d'une théorie d'unification est d'ordre mathématique. Les mathématiques étant infiniment plus riches et complexes que notre analogie géométrique, l'émerveillement du physicien devant la réalité est d'autant plus grande. C'est ce qu'on nomme l'esthétique en physique.

En fait, la quête d'une telle théorie d'unification n'est pas entièrement esthétique. Les quatre forces fondamentales se séparent en deux grandes catégories : d'une part, il y a la gravité (c'est-à-dire une force macroscopique); et d'autre part, il y a les forces électromagnétique, nucléaire et faible (c'est-à-dire 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.¹² 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, et donc la gravité est bien une théorie du macroscopique, et tout est parfait... Sauf dans (au moins) un cas: au moment du Big Bang; cette explosion primordiale de laquelle serait né l'univers il y a quinze milliards d'années. Car à ce moment, tout l'univers connu était concentré dans un volume infiniment petit. À cet instant, l'univers était à la fois massif et petit!¹³ Par conséquent, pour discuter rigoureusement du début de l'univers, il faudrait concilier (c'est-à-dire unifier) la

12. Selon la théorie quantique, l'action d'une force résulte d'un *échange de particules*, tandis que selon la théorie d'Einstein, l'action de la force de gravité est purement un *effet géométrique*, c'est-à-dire le résultat de «courbures» de l'espace-temps. Une théorie d'unification adéquate devrait réconcilier ces deux visions. [Note : la théorie newtonienne de la gravité n'est qu'une approximation (mathématique) de celle d'Einstein.]

13. Il existe au moins un autre phénomène à la fois massif et petit : les trous noirs (ou, plus précisément, la singularité au cœur des trous noirs).

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 : d'où vient le Big Bang?

Stéphane Durand*
Physicien, Collège Édouard-Montpetit et
Université de Montréal (CRM)

Notes supplémentaires :

- D'un point de vue historique, l'idée d'unification n'est pas nouvelle. Tout d'abord, Newton a unifié la mécanique céleste et la mécanique terrestre (1687). Puis Maxwell a unifié l'électricité et le magnétisme (1864). Ensuite, Weyl (1919) puis Kaluza (1921) ont tenté d'unifier l'électromagnétisme et la gravité (ce dernier resté dans l'oubli jusqu'à tout récemment, mais le premier à avoir introduit l'idée de dimensions supplémentaires). Par la suite, Einstein a tenté la même chose durant la dernière partie de sa vie (1923-1955), sans succès, mais a vraiment popularisé l'idée d'une théorie unifiée. Elle est maintenant très à la mode.
- Il existe au moins deux versions des théories de supercordes : une à 10 dimensions (mentionnée dans le texte) et une à 26 dimensions. Mais l'important ici n'était pas de comprendre pourquoi il y aurait 10 ou 26 dimensions (raison mathématique), mais de saisir pourquoi l'idée de dimensions supplémentaires est intéressante et fructueuse (faisant ressortir certains liens insoupçonnés). Les nombres 10 et 26 sont importants pour des raisons de cohérence mathématique et physique.
- Dans l'éventualité où ces dimensions supplémentaires existeraient bel et bien, encore faudrait-il expliquer pourquoi on ne les "voit" pas. En fait, ces dimensions additionnelles seraient enroulées sur elles-mêmes de façon très serrée, formant un "volume" plus petit qu'un électron (d'où l'impossibilité de les détecter).
- La révolution associée à l'existence de dimensions supplémentaires ne serait peut-être que la pointe de l'iceberg d'une révolution encore plus fondamentale. En effet, ces six dimensions supplémentaires ne sont «que six autres dimensions», c'est-à-dire six dimensions du même genre que celles que nous connaissons bien (mais refermées sur elles-mêmes). La vraie révolution d'une théorie d'unification sera de remettre en question la notion même de dimension, c'est-à-dire la notion même d'espace et de temps. Ainsi, il se pourrait que l'espace et le temps ne soient plus des quantités fondamentales mais seulement des «effets secondaires» d'entités plus abstraites et plus primordiales.
- Finalement, il aurait été intéressant d'expliquer de quelle façon la force de gravité (juxtaposée à la résistance des matériaux dans certains cas) répond à la série de questions du début. Mais: manque de place! Disons simplement que si vous avez lu jusqu'ici, la réponse à la dernière question est très claire...
- * L'auteur a été lauréat du concours de vulgarisation scientifique de l'*Association canadienne française pour l'avancement des sciences (Acfas)*, édition 1994, pour son texte intitulé «Qu'est-ce qui fait courir les physiciens?»