

# Comment arrive-t-on à vulgariser la physique sans avoir recours aux mathématiques ?

Hugo Lavenant et Julien Seznec

3 avril 2014

## Résumé

« Le livre de la nature est écrit en langage mathématique. », écrivait Galilée lors de l'avènement de la physique moderne. Quatre siècles plus tard, on est tenté de demander si il n'existerait pas une version traduite en français.

Cet article s'intéresse aux écueils et aux possibilités auxquels fait face cette traduction : la « vulgarisation ». Il s'adresse à tous ceux qui, comme nous, n'ont rien compris au tapage médiatique autour du « Boson de Higgs ». A l'issue de cet article, vous n'en saurez probablement pas plus sur ce boson, mais on espère que vous serez capable d'envisager ce que vous pourriez comprendre sans avoir suivi des études supérieures de mathématiques, mais avec un ouvrage de vulgarisation de qualité entre les mains.

**Avertissement** : les théories physiques présentées dans cet article le sont de manière elliptique, à titre d'illustration. De nombreux ouvrages sont disponibles pour un approfondissement de ces théories, qui ne constitue pas l'objet du présent article.

## Introduction

On ne peut qu'être frappé lorsque l'on compare les ouvrages de recherche en physique et ceux de vulgarisation. Tandis que les premiers sont remplis d'équations et de symboles mathématiques, les seconds n'en contiennent presque aucunes et certains le revendiquent (on peut ainsi voir des livres<sup>1</sup> sous-titrés « sans les équations » afin d'attirer un plus grand public). Or, plus que toutes les autres sciences, la physique a la caractéristique, depuis Galilée, de lire le « livre de la nature » en langage mathématique. Le but ici n'est pas de s'interroger sur le lien entre les deux disciplines, mais, en acceptant cette proximité, de comprendre comment il est possible de vulgariser la physique sans avoir recours aux mathématiques. En effet, si à l'époque de Galilée les outils utilisés, c'est-à-dire la géométrie, restaient élémentaires, ils ont considérablement évolués depuis et il s'avère très difficile de les utiliser dans un ouvrage à destination du grand public puisqu'ils sont de plus en plus éloignés de l'intuition.

---

1. Jean-Pierre Maury, *Une histoire de la physique sans les équations*.

Il est nécessaire de rendre accessible la physique au plus grand nombre, et donc de le faire sans utiliser les mathématiques. Pourquoi cette nécessité ? Parce que la physique intervient dans de nombreuses technologies qui peuvent prêter à débat (nanotechnologies, énergie nucléaire, ondes électromagnétiques utilisées dans les téléphones portables) ou qui sont susceptibles de changer nos vies (ordinateur quantique, fusion nucléaire). Cependant, le fait que la physique soit très mathématisée ne pose pas de problèmes supplémentaires (par rapport à ceux déjà présents dans toute vulgarisation). En effet, les difficultés se situent plus souvent dans l'interaction entre les nombreuses disciplines impliquées (sciences humaines, sciences de l'ingénieur et médicales, etc.) et la complexité des enjeux (gestion des risques, questions éthiques, etc.), et pas dans la compréhension des phénomènes physiques. L'apport de la vulgarisation scientifique dans les grands débats technologiques est donc une question spécifique qui ne sera pas concernée par notre propos.

L'autre aspect de la vulgarisation est tout simplement de faire comprendre au grand public comment la Nature fonctionne, de lui faire percevoir son harmonie, sa beauté. Pourquoi ? Parce que c'est l'objet de la recherche conduite par la plupart des physiciens, parce que la compréhension du monde extérieur a toujours été une question qui a intéressée l'homme. Or c'est dans la transmission de ce type d'idées que l'aspect très mathématisé de la physique est source de difficultés. En effet, on peut prendre comme exemple des théories telles que la mécanique quantique ou la relativité d'Einstein : celles-ci ont une formulation mathématique claire, rigoureuse mais qui utilise des outils avancés. Leurs conséquences sont déroutantes (on peut penser à la perte de la notion de simultanéité : le fait d'apercevoir deux événements en même temps est une notion qui dépend de l'observateur ; si l'on considère deux observateurs différents, qui sont en mouvement l'un par rapport à l'autre, deux événements peuvent être simultanés pour le premier mais pas pour le second) et peuvent remettre en question notre façon de voir le monde. Dès lors, jusqu'à quel point le néophyte peut-il comprendre une théorie physique ? Et comment faire percevoir l'harmonie de cette dernière ? Au cours d'une conférence sur ce sujet, Richard Feynman<sup>2</sup> répondit à cette question de la manière suivante : « *Le drame de cette conférence, c'est justement que je dois vous faire comprendre qu'on ne peut sérieusement expliquer la beauté des lois de la nature et surtout la faire ressentir, à des gens qui n'ont aucune connaissance profonde des mathématiques. J'en suis désolé, mais apparemment c'est comme ça.* »<sup>3</sup>. Sans porter de jugement sur la véracité de cette affirmation, force est de constater que les scientifiques et journalistes essaient pourtant, via des articles, des livres et des conférences, de faire mentir Feynman. Comment contourner ce problème ? Que pourra-t-on faire comprendre à travers la vulgarisation ? La vulgarisation, sans le recours aux mathématiques explique-t-elle les vraies questions que se posent les physiciens ?

## Les outils de la vulgarisation

Si l'on ne s'autorise que les outils mathématiques les plus élémentaires, comment faire pour vulgariser ?

---

2. Richard Feynman (1918-1988), physicien américain et excellent vulgarisateur.

3. Richard Feynman, *La nature de la physique*.

La première approche peut être de n'aborder que les conséquences physiques, observables, les prédictions expérimentales de la théorie étudiée. En effet, ces conséquences peuvent souvent être décrites sans le moindre recours aux mathématiques et cependant être totalement contre-intuitives : si l'on prend la théorie de la relativité d'Einstein, elle prédit qu'une fois que l'on a remonté une montre, celle-ci pèse plus lourd, fait qui bouscule notre bon sens. Les vulgarisateurs (et les scientifiques) ont ainsi créé des « expériences de pensée » qui sont des expériences imaginaires, faciles à décrire, mais qui mettent en relief les conséquences étonnantes que peut avoir une théorie (le chat de Schrödinger<sup>4</sup> ou le paradoxe des jumeaux<sup>5</sup> se retrouvent ainsi dans beaucoup de livres de vulgarisation). On peut d'ailleurs remarquer que la plupart de ces exemples ont été inventés par les physiciens (respectivement Schrödinger et Langevin pour les exemples ci-dessus) pour leurs collègues physiciens contemporains afin de montrer toutes les conséquences physiques de leur théorie. Cependant ces conséquences sont souvent imperceptibles à notre échelle (pour reprendre l'exemple de la montre il s'agit d'une augmentation de quelques milliardièmes de milliardièmes de kilogrammes), et cette tendance s'accroît au fur et à mesure que la science progresse. De plus, la complexification des théories rend de plus en plus difficile l'exposé d'expériences de pensée propres à présenter les théories actuelles (on peut penser à la récente<sup>6</sup> découverte du boson de Higgs, dont peu d'expériences de pensée mettent en relief les conséquences).

Une fois que l'on a énoncé des conséquences qui peuvent sembler paradoxales telles que « les étoiles bleues sont plus chaudes que les rouges » ou « une montre pèse plus lourd une fois qu'elle est remontée », il devient naturel de tenter d'expliquer pourquoi il en est ainsi. C'est le moment où les mathématiques deviennent prépondérantes. Mais l'objet mathématique utilisé pour décrire la réalité n'est pas toujours facile à appréhender. Si l'on s'intéresse à la mécanique classique, on décrit une particule grâce à sa position et à sa vitesse, ce qui reste compréhensible. Avec la mécanique des fluides (qui étudie le mouvement des liquides et des gaz), pour décrire l'écoulement d'un liquide il est nécessaire de connaître la vitesse des particules en tout point du fluide, le fluide sera décrit par un champ de vitesse<sup>7</sup>, objet déjà plus difficile à comprendre. Et lorsque l'on étudie la mécanique quantique, on peut seulement connaître des probabilités de présence, c'est-à-dire la probabilité d'observer une particule en une position donnée, la représentation mathématique d'une particule se rattachant alors très difficilement à des concepts sensibles, un des problèmes auquel est confronté le physicien étant d'ailleurs de comprendre ce que représente précisément l'objet mathématique attaché à un système et qui le décrit. Il faut alors donner des comparaisons, faire des analogies avec des objets de la vie quotidienne. Par exemple, pour vulgariser la relativité générale d'Einstein, on donne très souvent l'image d'un drap tendu : si l'on pose un objet massif sur ce drap il va déformer la toile, et en conséquence si l'on fait rouler une bille elle aura tendance à se diriger vers le trou creusé par l'objet massif. On observera en apparence que la bille est attirée par

---

4. Schrödinger a proposé une expérience de pensée qui montre qu'un chat peut être à la fois mort et vivant, et que c'est seulement en observant ce chat que l'on force le chat à être mort ou vivant : avant l'observation son état est une superposition de « mort » et « vivant ».

5. Si l'on sépare deux jumeaux à la naissance, que le premier reste sur Terre et que le second va jusqu'à Proxima du Centaure (la planète la plus proche du système solaire) à grande vitesse puis revient sur Terre, alors à son retour le premier sera beaucoup plus âgé que le second : c'est le paradoxe des jumeaux.

6. Annoncée officiellement le 4 juillet 2012.

7. C'est-à-dire une fonction qui à un point de l'espace associe le vecteur vitesse du fluide en ce point.

l'objet massif : c'est l'attraction gravitationnelle. Si cette comparaison fonctionne si bien c'est parce qu'elle donne une idée de la façon dont on modélise l'espace et le temps (par un drap tendu qui peut se déformer), elle montre aussi quels sont les effets de la présence de matière (déformer le drap par l'action de leur masse), c'est-à-dire les équations fondamentales de cette théorie. C'est ainsi que l'on voit pour chaque théorie une ou plusieurs analogies qui reviennent fréquemment dans les ouvrages de vulgarisation. Mais bien sûr toute analogie a ses limites, et il faut être précautionneux et ne pas extrapoler toutes les conséquences que l'on pourrait en tirer. Cependant, ce défaut n'est pas spécifique aux sciences physiques, il est intrinsèque à la notion de vulgarisation.

Ce qui précède concerne surtout la physique la plus fondamentale, celle qui essaye de construire un modèle théorique permettant d'expliquer l'ensemble des phénomènes observables. Dans d'autres domaines de la physique on peut adopter un point de vue plus descriptif. Prenons l'exemple de la cosmologie. On peut présenter la façon dont une étoile va naître, vivre et mourir. L'exposé sera alors constitué de raisonnements qualitatifs tels que « au cœur de l'étoile, la fusion de l'hydrogène produit l'énergie qui lui permet de briller », et la partie mathématique sera cachée dans le modèle qui explique pourquoi l'hydrogène peut fusionner et produire de l'énergie, quelle quantité y sera produite, quelle est la température nécessaire pour que cela se produise etc. De même, si l'on cherche à expliquer de quoi est constituée la matière, on peut dire que les molécules sont formées d'atomes, les atomes sont constitués d'un noyau et d'électrons en mouvement autour du noyau etc. Tout ceci n'est que qualitatif car l'on peut se demander pourquoi les atomes se lient pour former des molécules, préciser de quelle façon les électrons se déplacent autour du noyau etc. Il peut en être de même lorsque l'on décrit une expérience : si l'on s'intéresse à la découverte du boson de Higgs, dire que l'on a fait entrer en collision des protons possédant une très haute énergie pour produire le fameux boson peut être satisfaisant pour le grand public tout en cachant une théorie physique derrière la question de savoir comment il a été produit dans la collision. Il n'est pas ici prétendu qu'il est nécessaire, dans les trois exemples précédents, d'expliquer les parties passées sous silence. Au contraire il est possible de dégager des idées qualitatives sans entrer dans les détails. C'est ainsi que l'on peut « raconter » toute une partie de la physique sans entrer dans des complications mathématiques. Cette approche de la physique se retrouve parfois dans l'enseignement secondaire, afin de donner aux élèves une « culture scientifique » plutôt que de chercher une maîtrise approfondie (mais sur des sujets moins variés et plus académiques) de la discipline.

## Que pourra-t-on comprendre de la vulgarisation ?

Qu'est ce que le grand public peut retenir et comprendre de ce qui a été vulgarisé ?

Physique et mathématiques sont deux disciplines séparées, ayant chacune leurs objectifs et leurs buts propres. Tandis que l'objectif des secondes est, en partant d'un petit nombre d'axiome, de construire un édifice logique rigoureux (presque) parfait, la première cherche à expliquer, à l'intérieur d'une même théorie, le plus grand nombre de phénomènes à l'aide du plus petit nombre de lois possibles. En physique, les mathématiques ont notamment pour rôle d'exprimer les choses de manière concise, univoque, de construire des raisonnements à une vitesse incomparable avec

tous les autres outils disponibles. On trouve en physique, contrairement aux mathématiques, des « idées physiques » qui sont des idées postulées par le physicien sur la manière dont marche le monde, qu'il faut inclure dans la modélisation du réel. Ces idées physiques n'ont pas vocation à être prouvées rigoureusement, la physique est une « *création de l'esprit humain au moyen d'idées et de concepts librement inventés* »<sup>8</sup>. À partir de ces postulats, on dérive mathématiquement des conséquences et prédictions expérimentales qui sont, elles, vérifiées en laboratoire, et l'adéquation entre ces prédictions et le réel permet de valider les idées d'origine. Prenons l'exemple de la théorie de la relativité restreinte d'Einstein. Elle postule que le temps est relatif, c'est-à-dire qu'il n'existe pas une horloge qui donne le temps pour tout l'univers, mais qu'au contraire chaque observateur a sa propre horloge qui indique un temps différent des autres : c'est ce que met en relief le paradoxe des jumeaux. Ce postulat s'exprime, comme ici, sans concepts mathématiques poussés, et c'est précisément ce genre de concepts que l'on retrouve dans les livres de vulgarisation. De ce point de vue les livres de vulgarisation d'Einstein<sup>9</sup> sont très instructifs puisqu'ils expliquent de manière claire toutes les idées physiques qui l'ont conduit à formuler sa théorie, les expériences de pensée qui l'ont amené à comprendre quels sont les ingrédients fondamentaux qu'il fallait prendre en compte. C'est d'ailleurs pour cela que les grands savants sont (parfois) de très bons vulgarisateurs : ils arrivent à voir au delà de la simple manipulation d'équations et expriment les quelques idées qui sous-tendent leur théorie. Cependant, une fois les idées énoncées il faut pouvoir en déduire des conséquences expérimentales que l'on peut mesurer. Si une théorie reste à l'état d'idées et de principes, ce n'est plus de la physique mais de la métaphysique. Prenons l'exemple de Copernic : Aristarque<sup>10</sup> avait déjà eu l'idée, 2000 ans avant Copernic, que la terre tournait autour du soleil. Ce dernier est allé plus loin car il a montré que cette hypothèse expliquait et prédisait mieux les mouvements des planètes que le système de Ptolémée, et c'est pourquoi l'histoire a retenu son nom et pas celui d'Aristarque.

Remarquons que si le physicien n'est pas obligé de vulgariser ses travaux à destination du grand public, il doit faire, lorsqu'il présente ses recherches à ses collègues, un effort de vulgarisation. En effet, à part si ces derniers travaillent exactement sur le même sujet, il doit montrer les idées physiques qu'il y a derrière ses résultats, les formuler de façon claire et compréhensible, voire éventuellement aborder des applications pratiques (notamment lorsqu'il demande des financements). Cette vulgarisation présente une différence majeure avec la communication à destination du grand public : l'utilisation du langage mathématique qui peut parfois accélérer le raisonnement et la transmission des idées, voire l'expression de certains concepts.

## Limites et problèmes

Bien que la vulgarisation puisse contourner l'écueil majeur qui est l'omniprésence des mathématiques en physique, quelques problèmes demeurent néanmoins, notamment en raison des attentes du grand

---

8. Albert Einstein et Léopold Infeld, *L'évolution des idées en physique*.

9. En plus du livre cité précédemment, *La théorie de la relativité restreinte et générale* d'Albert Einstein est un excellent livre de vulgarisation.

10. Aristarque de Samos (310 à 230 avant J.C.), astronome et mathématicien grec.

public.

Comme on l'a vu précédemment, ce qui pose le plus de problèmes à vulgariser est notamment la phase de production, à partir d'idées physiques, de conséquences vérifiables expérimentalement, or c'est une phase centrale dans le travail de recherche. Le génie de Newton n'est pas seulement d'avoir énoncé ses trois lois (qui se rapprochent plus une synthèse des idées qui circulaient à l'époque), mais est aussi constituée par son habilité technique qui a permis de montrer que ces hypothèses expliquaient quantitativement les mouvements célestes, les marées et le mouvement des projectiles. La force d'Einstein dans sa théorie de la relativité générale c'est certes d'avoir compris les ingrédients essentiels à inclure, mais c'est aussi la formulation mathématique de cette dernière qui a permis de retrouver les lois de Newton et d'expliquer des phénomènes incompris à l'époque. La vulgarisation a beaucoup de mal à faire sentir les enjeux et les idées mises en jeu pendant cette phase de recherche.

De plus les mathématiques permettent de faire des analogies entre différents phénomènes physiques (dans le sens où les équations qui décrivent ces phénomènes sont analogues mathématiquement), et ces analogies sont sources de progrès, d'unification, c'est-à-dire qu'elles permettent trouver une théorie plus générale qui en englobe plusieurs. Par exemple une certaine formulation mathématique des équations de Newton, appelée formulation lagrangienne, s'applique à la quasi-totalité des modèles physiques (même ceux apparus après Newton comme la mécanique quantique) et permet d'utiliser le même formalisme pour des théories très différentes. Pour le physicien c'est une preuve de l'harmonie, de l'unité (voire de la beauté) de la Nature, dans le sens où une même idée, un même concept s'applique partout. Le problème est qu'il est difficile de faire percevoir ces analogies sans expliquer le formalisme mathématique sous-jacent. Et c'est peut être ce que veut dire Feynman : la découverte de cette harmonie est en partie ce qui pousse le scientifique à la recherche, mais il s'agit d'une chose qu'il ne pourra jamais transmettre à un public n'ayant pas des bases solides en mathématiques.

Enfin, et je parle ici en tant qu'ancien lecteur de livre de vulgarisation et maintenant étudiant en physique, les images, les comparaisons choisies ont beau être judicieuses, il n'est possible de comprendre réellement un texte de vulgarisation qu'une fois le sujet étudié de manière approfondie. L'usage de mots et de concepts souvent flous (comme la « courbure de l'espace-temps » ou encore la « dualité onde-corpuscule ») ne devient clair (et encore, certains points restent parfois mal compris) que si le pendant scientifique, notamment mathématique, de ces termes est maîtrisé.

Pour conclure, le vulgarisateur peut être tenté de choisir un point de vue en fonction des attentes perçues des lecteurs, quitte à déformer la réalité de la recherche physique. Puisqu'il est difficile, lors de la vulgarisation, de faire percevoir ce qui motive réellement le physicien, il est parfois plus vendeur auprès du grand public de parler de grandes avancées, de révolution etc. Lors de la découverte du boson de Higgs, on a pu entendre dans les média généralistes<sup>11</sup> des expressions comme « particule de dieu », « la clé qui nous donnera accès à d'autres univers », on parle de « Graal » des physiciens. Ce lexique donne un côté mystique à l'événement, alors que la découverte

---

11. Le 20h de TF1 du 4 juillet 2012 notamment.

de cette particule est simplement une preuve que le modèle standard, à la base de toute la physique des particules est cohérent. Elle était certes très importante, mais les motivations décrites par les médias n'étaient pas celles des scientifiques. Pour prendre un autre, lors du « dépassement » de la vitesse de la lumière par des neutrinos<sup>12</sup>, la plupart des médias<sup>13</sup> titraient que la théorie d'Einstein était à remettre en cause. Cette position contrastait avec le fait que la plupart des scientifiques interrogés (y compris les membres de l'expérience en question) étaient beaucoup plus réservés et convaincus qu'il s'agissait d'un problème de mesure et non d'un problème de fond. Ce type de vulgarisation induit en erreur sur les questions que se posent les physiciens, les objectifs de la physique, elle donne une image biaisée voire fausse de la discipline.

Peut-on expliquer la physique sans avoir recours aux mathématiques ? Probablement, mais avec des lacunes et des approximations. Cherche-t-on à le faire ? Pas toujours dans les communications à destination du « grand public ».

---

12. L'expérience Opera du laboratoire de Gran Sasso (Italie) avait mesuré en 2011 des neutrinos ayant une vitesse supérieure à celle de la lumière avant que l'on trouve 5 mois plus tard la source de l'erreur (des appareils mal branchés).

13. *The Economist* titre notamment le 1er Octobre 2011 « Was Einstein wrong ? ».