

Jean-Philippe Uzan
Bénédicte Leclercq

L'importance des constantes

De la mesure au cosmos

DUNOD

Une précédente version de cet ouvrage a été publiée en 2005
sous le titre *De l'importance d'être une constante* :
Les piliers de la physique sont-ils solides ?

Direction artistique: Élisabeth Hébert
Principe de couverture: Grégory Bricout
Réalisation de la couverture: Pierre-André Gualino
Photographie de couverture: © BIPM

© Dunod, 2020
11 rue Paul Bert, 92240 Malakoff
www.dunod.com
ISBN 978-2-10-079559-8

Le Code de la propriété intellectuelle n'autorisant, aux termes de l'article L. 122-5, 2° et 3° a), d'une part, que les « copies ou reproductions strictement réservées à l'usage privé du copiste et non destinées à une utilisation collective » et, d'autre part, que les analyses et les courtes citations dans un but d'exemple et d'illustration, « toute représentation ou reproduction intégrale ou partielle faite sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayants cause est illicite » (art. L. 122-4).

Cette représentation ou reproduction, par quelque procédé que ce soit, constituerait donc une contrefaçon sanctionnée par les articles L. 335-2 et suivants du Code de la propriété intellectuelle.

Prologue

Révolution silencieuse à Versailles

Vendredi 16 novembre 2018. Il règne une ambiance électrique et cérémonielle à Versailles, le sentiment de voir l'histoire se faire en direct, de passer un jalon attendu depuis des années. La séance publique de la 26^e Conférence générale des poids et mesures (CGPM) s'ouvre sur un film d'animation de deux minutes trente soulignant le rôle primordial de la mesure dans l'histoire de l'humanité. Le clip s'achève par une note de science-fiction ; des vaisseaux spatiaux quittent la Terre, tandis qu'une voix commente : « Nos nouvelles mesures nous mèneront plus loin que ne l'a jamais fait notre imagination. »

Avec solennité, consciente de prendre une décision historique, la CGPM (constituée des délégués des gouvernements des soixante pays membres) s'apprête à changer le Système international d'unités. Sébastien Candell, président de l'Académie des sciences, invite le directeur du Bureau international des poids et mesures (BIPM), Martin Milton, à lire la résolution « *On the revision of the international System of*

Units». Avant d'entamer sa lecture, ce dernier souligne que ce texte de trois pages a été rédigé par le Comité international des poids et mesures (CIPM) en se basant sur les travaux des instituts de métrologie à travers le monde. Publiée neuf mois auparavant pour que chacun puisse l'étudier et la critiquer à volonté, la résolution souligne tout d'abord « qu'il est essentiel de disposer d'un Système international d'unités (SI) uniforme et accessible dans le monde entier pour le commerce international, l'industrie de haute technologie, la santé et la sécurité, la protection de l'environnement, les études sur l'évolution du climat, ainsi que la science fondamentale qui étaye tous ces domaines ». Des préoccupations pratiques et concrètes sont ainsi au cœur de la définition de ce système d'unités. Le texte mentionne ensuite « que les unités du SI doivent être stables sur le long terme, auto-cohérentes et réalisables dans la pratique, en étant fondées sur la description théorique actuelle de la nature, au plus haut niveau ». Les buts et les contraintes sont donc clairs. Les conditions de révision du Système international d'unités ont été adoptées par la 24^e CGPM en 2011, et confirmées par la 25^e en 2014 ; la possibilité de définir nos unités à partir de constantes fondamentales est aujourd'hui atteinte. Martin Milton énumère les six constantes choisies pour cela, dont la valeur sera fixée par le décret.

« Nous allons demander aux États membres ici présents d'accepter d'utiliser ces constantes et, grâce à celles-ci, nous aurons un nouveau système d'unités. » Le secrétaire général du CGPM, James McLaren, appelle les États membres à voter publiquement un à un : « oui » ou silence pour « non ». Afrique du Sud, Allemagne, Arabie saoudite, et ainsi de suite jusqu'à la Turquie, l'Ukraine, l'Uruguay. Sébastien Candel

conclut : « Le vote est unanime. » Le nouveau système d'unités est accepté et sera mis en application le 20 mai 2019.

Selon les mots de Barry Inglis, président du CIPM, « ce 16 novembre marque l'aboutissement de plusieurs décennies de travaux menés par des scientifiques de la mesure du monde entier, dont l'importance est immense ».

Des constantes pour unités ?

Que s'est-il passé au juste à ce moment ? Rien d'essentiel pour notre vie quotidienne, mais une révolution pour notre façon de concevoir et de définir les unités de mesure, pour la physique, théorique et expérimentale, et la métrologie. Jusqu'à ce 16 novembre, parmi les sept unités de base, quatre étaient définies à partir d'un artefact matériel : le kilogramme, unité de masse, le kelvin, unité de température, l'ampère, unité d'intensité électrique, la mole, unité de quantité de matière, et la candela, unité d'intensité lumineuse. Pas d'inquiétude, nous reviendrons sur la définition de toutes ces unités et du Système international qui les régit. Ces unités étaient donc définies par les propriétés d'objets physiques. Pour la masse par exemple, la référence était le kilogramme étalon, baptisé avec respect « le Grand K », ou le *PIK* (prototype international du kilogramme) dans le jargon de la métrologie : il consiste en un cylindre de 39 millimètres de diamètre et de hauteur composé d'un alliage de platine à 90 % et d'iridium à 10 %, précieusement conservé sous triple cloche au BIPM, situé au pavillon de Breteuil à Sèvres, près de Paris. Se référer à un même objet pour le monde entier garantit l'uniformité mondiale des mesures et leur traçabilité au SI. Cependant, tout objet subit des altérations au cours du temps, ce qui a

des conséquences sur la stabilité et limite la précision des mesures.

C'est pour cette même raison que la définition du mètre avait été changée en 1983. Le mètre étalon, une règle matérielle dont la longueur était par définition d'un mètre, avait été remplacé par une définition le reliant à la vitesse de la lumière dans le vide, une constante de la nature mesurée avec une grande précision, universelle et ne subissant aucune altération dans le temps : le mètre est la distance parcourue par la lumière en $1/299\,792\,458$ de seconde. En fixant la valeur d'une constante, on reliait l'unité de longueur à celle de temps, une pratique adoptée depuis longtemps par les astrophysiciens, qui mesurent les distances en années-lumière.

Trente-cinq ans après le mètre, quatre autres unités sont désormais rattachées à quatre constantes de la nature : la charge électrique élémentaire, la constante de Planck (qui régit le monde microscopique et la fascinante mécanique quantique), la constante de Boltzmann et le nombre d'Avogadro. Il peut sembler surprenant de remplacer un étalon matériel clairement identifié, concret et intuitif, par un concept abstrait, défini dans des théories réputées difficiles à appréhender par le commun des mortels. Mais le besoin d'augmenter la précision dans les mesures scientifiques et celui de fonder nos unités sur les théories les plus fines de la nature a eu raison des anciens étalons. Ceci n'a été rendu possible que par un progrès conjoint de la théorie, qui offre une meilleure définition des concepts, et de la physique expérimentale, à la suite de découvertes majeures telles que l'effet Josephson, en 1962, et l'effet Hall quantique découvert par Klaus von Klitzing, en 1980. Ces deux effets quantiques mettent en relation constantes et unités et, ce faisant,

fournissent des techniques métrologiques sans lesquelles les belles définitions ne pourraient être opérationnelles dans notre monde réel. Il a fallu concilier idéalisme théorique et pragmatisme de la mesure, car le nouveau système se devait de reposer à la fois sur les théories les plus fines de la nature et sur des dispositifs de mesure capables d'atteindre les plus hautes précisions. L'un des moteurs de la révolution a été l'émergence de la mécanique quantique en métrologie, mais on a obtenu avant tout un système pratique, conservant quelques traces de son histoire.

Les scientifiques ont souhaité une révolution silencieuse. Les unités gardent la valeur qu'elles avaient aux incertitudes du précédent SI, mais les nouvelles définitions permettent d'augmenter la précision des mesures. Ainsi, notre quotidien ne sera aucunement bouleversé, et les scientifiques disposeront d'un outil plus fin pour pousser leur exploration de la nature. Martin Milton poursuit son discours : « [c]ette redéfinition est un moment charnière dans les progrès scientifiques. En utilisant les constantes fondamentales pour fonder des concepts importants tels que la masse et le temps, nous disposons d'une base stable sur laquelle faire avancer notre compréhension scientifique, développer de nouvelles technologies et relever certains des plus grands défis de la société. »

Ce nouveau système d'unités met en lumière l'importance des constantes fondamentales, en même temps que l'universalité du langage scientifique. Il soulève aussi de nombreuses questions. Comment les constantes apparaissent-elles dans les théories physiques ? Quels rôles y jouent-elles ? Sont-elles réellement constantes ? Quel est leur lien avec les unités de mesure ? En nous posant ces questions,

nous aurons l'occasion d'explorer les théories scientifiques, d'appréhender leur beauté et d'envisager l'approche scientifique comme un bien commun de l'humanité.

Un pavé dans la mare

Pendant toutes ces recherches, dans le monde de l'astrophysique, et pour des raisons très différentes, les constantes fondamentales défrayaient aussi la chronique. Au début de l'année 1999, une courte communication de la prestigieuse revue scientifique américaine *Physical Review Letters* provoqua des remous chez les physiciens. Une équipe internationale d'astrophysiciens dirigée par John Webb, de l'université de Nouvelle-Galles du Sud à Sydney, a analysé la lumière émanant des confins de l'Univers. Conclusion de leurs observations : la valeur d'une constante de la nature, « alpha » de son petit nom, aurait été plus faible il y a 10 milliards d'années.

Toute la surprise de l'annonce tient à l'identité d'alpha, qui fait intervenir trois constantes fondamentales de la physique. La première de ces constantes est la charge de l'électron. La deuxième représente la vitesse de la lumière dans le vide : depuis la relativité restreinte d'Einstein, elle impose une limite infranchissable à toute vitesse. Le trio est complété par la constante de Planck, qui régit le monde microscopique. Ces trois constantes fondamentales sont considérées comme des entités immuables de la physique. Pire, comme nous venons de le voir, ces trois constantes sont au cœur du nouveau Système international d'unités. Par conséquent, en tant que combinaison de ces quantités, alpha « ne peut pas » varier.

Séisme sur la physique contemporaine ou élucubration dénuée de sens? Imaginons que nous fassions partie d'une commission d'experts chargée d'enquêter sur la solidité de la physique moderne. Comment évaluer les conséquences théoriques de cette communication concernant l'éventuelle variation d' α ?

Des projecteurs sur le passé

La constante α , notée α et appelée « constante de structure fine », caractérise les interactions entre la matière et la lumière. Elle est mesurée en laboratoire avec une grande précision. C'est même la mieux mesurée de toutes les constantes de la physique. Elle vaut 0,007297352568, ou de façon équivalente $1/137,03599976$ – aussi la mémorisons-nous volontiers sous la forme approchée $1/137$.

Pourquoi les physiciens de Sydney ont-ils cherché à l'évaluer dans l'Univers lointain, alors qu'elle est mesurée en laboratoire avec une telle précision? Les mesures de laboratoire ont toutes été effectuées dans les dernières décennies, et les chercheurs australiens voulaient savoir si elle a de tout temps gardé la même valeur. Or regarder loin dans l'espace équivaut à regarder dans le passé. C'est une conséquence de la finitude de la vitesse de la lumière. Quand vous observez une éruption solaire dans votre télescope, vous suivez les événements en léger différé, car la lumière met environ 500 secondes (un peu plus de huit minutes) pour parvenir du Soleil jusqu'à votre œil. Quand vous pointez votre télescope sur Proxima du Centaure, l'étoile la plus proche de nous après le Soleil, vous la voyez dans l'état où elle se trouvait il y a un peu plus

de quatre ans. Plus les objets visés sont éloignés, plus les phénomènes observés sont anciens.

Ainsi, pour traquer la valeur passée de la constante α , il faut s'intéresser aux régions les plus lointaines de l'Univers, à la recherche des phénomènes les plus sensibles à la valeur de cette constante. Or, ces phénomènes se déroulent dans des zones quasi désertiques. C'est que l'Univers est beaucoup moins vide qu'il ne paraît : entre les galaxies, flottent d'immenses nuages de gaz et de poussières. Ces nuages n'émettent aucune lumière, ce qui les rend difficiles à observer directement. En revanche, les atomes et les molécules dont ces nuages sont constitués absorbent une partie de la lumière qui les traverse, et ce phénomène dépend de la constante α . Cette lumière doit donc permettre d'accéder à la valeur d' α .

Afin de remonter au plus loin dans le temps, l'astuce consiste à utiliser la lumière émise par les objets les plus lointains possible. Les quasars sont de bons candidats. Ces noyaux de galaxie extrêmement énergiques ont commencé à briller il y a une dizaine de milliards d'années, dans les premiers instants de l'Univers. Aujourd'hui, ils constituent des projecteurs puissants, situés aux confins de l'Univers, et éclairent le reste de l'Univers, notamment les nuages de gaz et de poussières que nous venons d'évoquer. Sur son chemin, la lumière des quasars peut interagir avec les atomes de ces nuages et en conserver la trace. En collectant cette lumière-témoin, les physiciens déduisent la valeur qu'avait α au moment de ces interactions. Ils examinent de la sorte des nuages diversement éloignés, entre une dizaine d'années-lumière et 12 milliards d'années-lumière, ce qui leur permet de déterminer la valeur de la constante de structure fine à plusieurs époques.

C'est précisément la mesure que John Webb et ses collaborateurs ont effectuée en 1999, et à plusieurs reprises depuis. Ils ont alors conclu, contre toute attente, que le nombre α était plus faible d'un cent millièmè il y a 12 milliards d'années. Un cent millièmè! Voilà qui semble bien faible, mais toute infime qu'elle soit, cette variation pourrait être un grain de sable dans les rouages bien huilés de la physique actuelle...

Farfelu ou génial ?

Quelle idée saugrenue, aussi, d'imaginer que les constantes puissent ne pas l'être! Pourtant, à y regarder de plus près, cette annonce a relancé un débat vieux de 70 ans sur la « constance » des constantes fondamentales, avec en toile de fond les propriétés de la gravitation et les possibles théories alternatives à la relativité générale d'Einstein. En effet, ces astronomes ne sont pas les premiers à s'intéresser à la constance des constantes fondamentales. Le sujet en a passionné plus d'un, et non des moindres. Le premier à envisager ouvertement cette éventualité fut Paul Adrien Maurice Dirac, l'un des fondateurs de la mécanique quantique, amoureux de la beauté mathématique des lois physiques. Considéré par ses pairs comme un esprit rationnel supérieur, il reçut le prix Nobel en 1933 à l'âge de 31 ans pour avoir prédit l'existence de l'antiparticule de l'électron, le positron. Certes, Dirac n'hésitait pas à émettre des hypothèses apparemment farfelues pour tout un chacun. Il n'était cependant pas un doux rêveur et savait les mettre à rude épreuve, soit par le raisonnement théorique, soit par l'expérience – en proposant des tests impitoyables.

Dans les années 1930, Dirac se mit en quête d'une « théorie fondamentale » englobant la microphysique et la description de l'Univers. Il suivait en cela les traces de l'un de ses anciens professeurs de l'université de Cambridge, l'astrophysicien Arthur Eddington, célèbre, entre autres, pour avoir apporté la première vérification observationnelle d'une des prédictions de la relativité générale d'Einstein. Leur réflexion à tous les deux partait d'une interrogation sur les valeurs des constantes fondamentales, telles que la constante de gravitation, la vitesse de la lumière, la charge et la masse de l'électron et du proton. Aucune théorie connue ne prédit leurs valeurs, si bien qu'on en est réduit à les mesurer.

Conscient de ce problème, Dirac tenta de faire émerger une structure cachée en manipulant les constantes fondamentales : il s'attacha à construire des nombres en les combinant algébriquement. Par ce jeu de combinaisons numérogiques, Dirac obtint des nombres incroyablement grands ou petits, ce qui ne manqua pas de l'étonner. Il compara par exemple deux forces fondamentales qui s'exercent entre le proton et l'électron : la force électrique d'une part, qui dépend du carré de la charge électrique, et la force gravitationnelle d'autre part, qui dépend du produit des masses des deux particules et de la constante de gravitation. Le rapport des intensités de ces deux forces vaut 10^{39} « environ ». Est-il besoin de préciser ? Un 1 suivi de trente-neuf 0 ! Mille milliards de milliards de milliards de milliards !

Ce gigantisme choquait le sens de l'harmonie de Dirac : comment concevoir que des quantités aussi disparates puissent être unifiées dans une « théorie fondamentale » ? Dirac recensa alors les grands nombres qui apparaissent lorsqu'on essaie de décrire l'Univers dans les termes de la

physique atomique. En particulier, il eut l'idée de comparer l'âge de l'Univers à la période de l'orbite de l'électron autour du proton formant le plus simple de tous les atomes : l'hydrogène. Le rapport de ces deux temps vaut... 10^{39} . Tiens ! Pure coïncidence numérique ou indice de l'existence d'une loi nouvelle ? Dirac refusa de considérer qu'il s'agissait là de simples coïncidences numériques et préféra y voir l'indice d'une théorie physique plus fondamentale, qu'il baptisa l'hypothèse des grands nombres et énonça ainsi : « Tous les grands nombres purs de la nature sont liés deux à deux par une relation mathématique simple dont les coefficients sont de l'ordre de l'unité. »

Voyons ce que Dirac déduisit de son hypothèse des grands nombres. Il supposa que ces deux grands nombres doivent toujours être égaux, et pas seulement aujourd'hui : le rapport de la force électrique à la force gravitationnelle entre le proton et l'électron serait donc proportionnel à l'âge de l'Univers. En principe, le premier terme (le rapport des forces) reste constant dans le temps, alors que le second (l'âge de l'Univers) augmente quand le temps s'écoule. Toutefois, si l'on autorise le premier terme à varier comme le second, alors sa valeur considérable se trouve expliquée : elle ne serait qu'une conséquence du grand âge de notre Univers. Pour que cela soit vrai, il faut qu'une ou plusieurs des constantes fondamentales qui interviennent dans le rapport entre les forces électrique et gravitationnelle évoluent dans le temps. Dirac supposa que la constante de gravitation variait en proportion inverse de l'âge de l'Univers, et qu'elle diminuait donc avec le temps, les valeurs de toutes les autres constantes restant fixes.

Cette hypothèse, fondée sur des arguments purement numérologiques, surprit plus d'un collègue de Dirac, qui les

avait habitués à un rationalisme implacable. Les mauvaises langues attribuèrent ce coup de folie à sa nuit de noces, car Dirac se maria en 1937, l'année même de la publication de son « hypothèse des grands nombres » dans la célèbre revue britannique *Nature*. Presque personne ne prit ce travail au sérieux. Cependant, le ver était dans la pomme : l'idée qu'une constante fondamentale puisse varier était lancée.

Les joies de l'oxymore

« Des constantes variables » ! Les physiciens n'ont-ils rien de mieux à faire que s'adonner aux joies de l'oxymore ?

En réalité, la question de la « constance » des constantes fondamentales représente beaucoup plus qu'un amusement de physiciens désœuvrés. Pour nous en persuader, nous pouvons déjà remarquer que certaines des réflexions et des motivations de Paul Dirac s'ancrent dans les fondements de la physique et restent tout à fait actuelles. Nous avons choisi d'en souligner trois.

En premier lieu, Dirac extrapole à l'Univers entier une relation entre deux grandeurs différentes, relation qu'il n'a pourtant validée qu'avec les valeurs actuelles des constantes mesurées aujourd'hui et localement : sur la Terre et sa banlieue. Il admet implicitement que les lois de la physique sont valables en tout point et en tout temps. Si sa relation reflète une loi physique, elle doit respecter le même principe d'universalité. L'universalité des lois physiques constitue l'une des bases de la cosmologie actuelle : aucun point ou lieu de l'Univers ne possède des propriétés spécifiques. En particulier, l'universalité et l'immuabilité des constantes sous-tendent la description moderne de la gravitation par

la relativité générale d'Einstein. Par conséquent, vérifier ces propriétés des constantes revient à tester les lois de la physique actuelle.

Deuxième considération : Dirac est mû par le désir de relier les multiples descriptions du monde physique, notamment l'approche microscopique du monde atomique et celle, macroscopique, de l'Univers. L'unification est l'un des moteurs de la physique. Newton a été le premier à en réaliser une, en décrivant par une loi unique la chute des corps sur Terre et la ronde des planètes dans le Système solaire. Aujourd'hui, trois des quatre interactions fondamentales (électromagnétique et nucléaires faible et forte) sont unifiées dans une même description physique, alors que la quatrième – la gravitation –, décrite par la relativité générale, reste à part. Notons au passage que, parmi les théories les plus prometteuses qui tentent cette unification, la théorie des cordes s'accommoderait de constantes qui varieraient.

La question de l'unification est reliée au troisième constat de Dirac : la force gravitationnelle que ressentent deux particules chargées est minuscule comparée à la force électrique qu'elles subissent. Cette disparité, que l'on désigne techniquement par le « problème de la hiérarchie », n'est toujours pas comprise aujourd'hui et reste l'un des obstacles à l'unification tant désirée.

À ces trois points, directement inspirés de la réflexion de Dirac, nous pouvons en ajouter un dernier, plus fondamental encore : s'interroger sur les constantes, c'est s'interroger sur les lois qui les font intervenir. Sur toute la physique en somme, puisque toutes les équations exhibent des constantes fondamentales !

Comment sont-elles apparues dans nos formulations mathématiques des lois de la nature? Quels rôles jouent-elles dans les lois physiques? Combien y en a-t-il? Faut-il toutes les mettre sur un pied d'égalité? Que deviendraient les lois physiques si l'une d'entre elles se révélait inconstante? Les questions que soulèvent les constantes sont nombreuses. Notre commission d'enquête aura à les aborder.

La « constantologie »

Durant cette enquête, nous nous interrogerons donc sur la « sincérité » des constantes, dans le sens où une constante « sincère » ne doit pas varier, ni dans le temps ni dans l'espace. Les valeurs de nombreuses constantes fondamentales sont mesurées en laboratoire depuis un siècle ou deux. Si l'une d'elles avait varié significativement dans le temps, on peut naïvement penser que cette variation aurait déjà été détectée! La reproductibilité des expériences de laboratoire, à la base de toute la démarche scientifique, implique que, si variation il y a eu, celle-ci reste très faible, en deçà de ce qui est mesurable. La vérification expérimentale de la « constance des constantes » exige donc l'élaboration de techniques de métrologie de haute précision, à la limite des techniques actuelles. De fait, l'étude des constantes fondamentales mobilise toujours plus de chercheurs, aussi bien expérimentateurs que théoriciens. Au point qu'elle pourrait constituer une discipline à part entière : on la nommerait la « constantologie », et cet ouvrage lui serait consacré!

Le programme est vaste, car la constantologie apparaît transversale à toutes les disciplines de la physique. En quelques lignes, nous avons déjà évoqué : la physique

Prologue

quantique et la physique atomique, avec les interactions des atomes avec la lumière; l'astrophysique, avec les quasars et les nuages intergalactiques; la cosmologie, avec la naissance et l'évolution de l'Univers; les théories de la gravitation, relativité générale et théorie des cordes; la métrologie. Tout au long de notre enquête, les constantes fondamentales vont nous faire voyager aussi bien dans le temps que dans l'espace, de la naissance de l'Univers à aujourd'hui, des laboratoires jusqu'au fin fond du cosmos. Nous naviguerons aussi, et surtout, à travers l'univers des théories physiques.

La question qui nous est posée pourrait s'énoncer ainsi: la variation d'une constante fondamentale risque-t-elle d'ébranler l'édifice des théories actuelles? Pour y répondre, la commission d'enquête commencera par examiner ledit édifice: nous inspecterons ses fondations. Puis nous établirons quelles constantes soutiennent le plus solidement la physique. Nous identifierons ensuite les «suspects», c'est-à-dire les constantes ou les paramètres dont l'éventuelle variation porterait à conséquences. Du coup, nous surveillerons de près les faits et gestes de l'un de ces paramètres, le fameux α . Enfin, nous reviendrons sur les indices théoriques qui font croire à l'imminence d'une nouvelle révolution de la physique. Préparez calepins, loupes, appareils photo et caméra: l'enquête commence!

1

Qu'est-ce qu'une constante ?

Nous démarrons une enquête minutieuse sur les constantes fondamentales, encore dénommées « constantes universelles », et leur lien avec les unités de mesure et l'édifice de la physique. Avant de nous précipiter sur le terrain, planifions notre mission. Savons-nous bien sur quoi nous enquêtons ? Peut-on définir précisément ces termes ?

Les questions posées par le dictionnaire

L'école nous a habitués à nous référer au dictionnaire au moindre doute sur la signification d'un terme. Commençons donc par chercher dans le *Larousse* (édition 2019). « Constante : en physique-chimie, valeur numérique de certaines grandeurs (températures de fusion ou d'ébullition, masse volumique, etc.) permettant de caractériser un corps. » Arrêtons-nous déjà et soulignons le mot « certaines » : de quelles grandeurs s'agit-il ? Une énumération est

engagée, puis interrompue par « etc. ». Mais la liste est-elle longue? Qu'est-ce qui les distingue des autres grandeurs? Notre enquête devra le préciser. La suite de la définition précise: « Constante fondamentale: Grandeur particulière dont la valeur est fixe (masse et charge de l'électron, constante de Planck, par exemple) et qui joue un rôle central dans les théories physiques ». Là aussi quelques exemples suivent, mais quelle serait la suite de l'énumération? Combien existe-t-il de constantes fondamentales? Et quel « rôle central » sont-elles censées jouer dans les théories physiques? Nous nous attachons à trouver des réponses.

Essayons le *Petit Robert*: « Constante: quantité qui garde la même valeur; nombre indépendant des variables ». Pour ce qui concerne la physique, le dictionnaire cite l'expression « constante physique universelle » et la définit ainsi: « grandeur qui, mesurée dans un système d'unités cohérent, est invariable ». Bien, mais comment sait-on *a priori* qu'une grandeur est invariable? Peut-on distinguer sans ambiguïté une constante d'une variable? Suivent quelques exemples: la constante de Planck (notée h), et la vitesse de la lumière (notée c). Il nous faudra comprendre ce qui distingue ces constantes des autres, et s'il en existe d'autres.

Puisque nous sommes plongés dans le dictionnaire, profitons-en pour chercher le mot « fondamental ». Nous lisons alors, dans le *Petit Robert*: « Qui sert de fondement. Qui a l'importance d'une base, un caractère essentiel et déterminant. » Nous retrouvons le caractère essentiel des lois énoncées; une « constante fondamentale » constituerait l'un des fondements d'une théorie physique.

Pour avancer plus loin sur le terrain inconnu des constantes fondamentales, la méthode des naturalistes paraît