

> le kilogramme mètre par seconde carrée. Ce faisant, Gauss a mis fin à plus d'un siècle de débats sur la nature de la force: en devenant une simple grandeur dérivée, la force a perdu son caractère métaphysique de cause du mouvement.

C'est à partir de cette nouvelle conception de la force et de sa mesure que l'on écrit l'équation qui exprime la loi de gravitation universelle. L'équation numérique qui lie la mesure de la force d'attraction entre deux corps – c'est-à-dire désormais la mesure de MA (en kilogrammes mètres par seconde carrée) –, la mesure des masses m et m' des deux corps en présence et celle de la distance R qui les sépare détermine un coefficient numérique de proportionnalité entre les mesures qui se trouve être le même pour tous les systèmes mécaniques. Comme dans l'exemple de l'aire, on passe de l'équation empirique entre mesures à la loi de gravitation universelle entre grandeurs, $F = G mm'/R^2$, en faisant de ce coefficient numérique une constante fondamentale dimensionnée, la constante de la gravitation universelle G , mesurée en mètres cubes par kilogramme et par seconde carrée.

Gauss, puis Wilhelm Eduard Weber et James Clerk Maxwell à sa suite, ont étendu ce processus aux grandeurs de l'électricité et du magnétisme qui constituaient jusqu'alors un domaine complètement indépendant de la mécanique. D'une part, ils ont lancé la redéfinition de l'ensemble des grandeurs physiques à partir de leurs relations empiriques avec les grandeurs mécaniques dès lors que ces relations étaient admises comme lois. Et, d'autre part, simultanément, ils ont commencé à mettre en place un système d'unités reliant en un vaste réseau les unités dérivées des grandeurs physiques aux unités de base de la mécanique. Ces dernières étaient encore, à

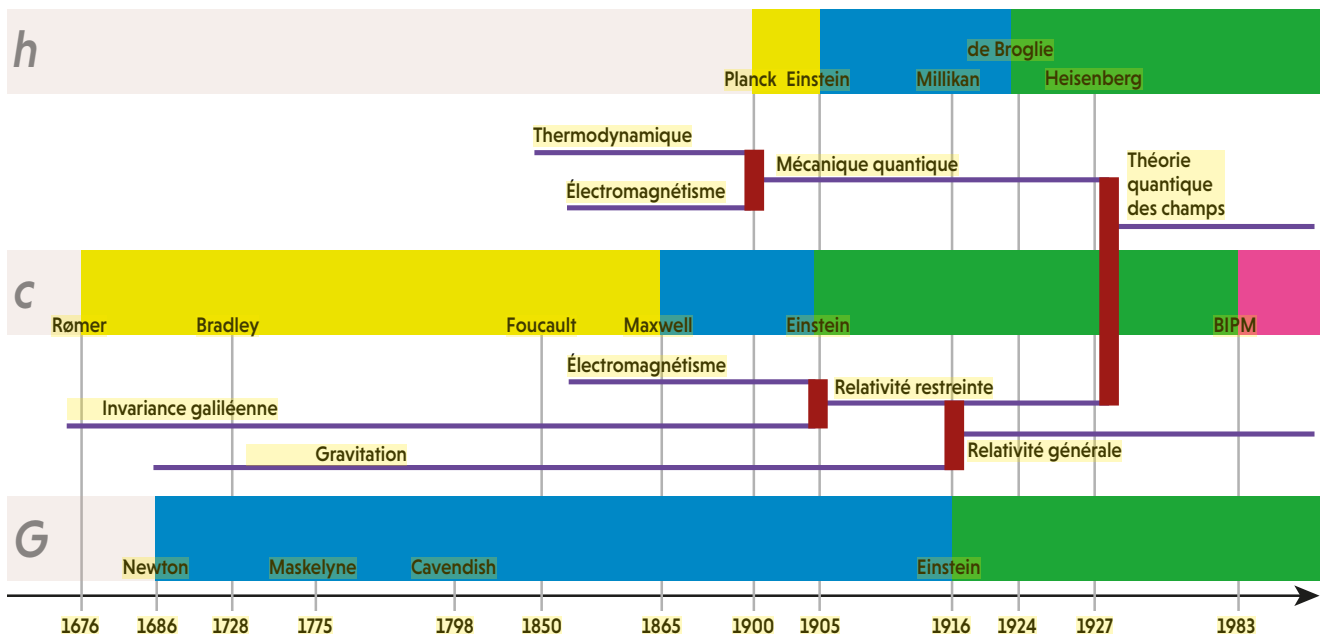
l'époque, définies de façon indépendante par un artéfact naturel ou artificiel (le méridien terrestre, puis le mètre des Archives pour la longueur, le kilogramme étalon pour la masse, la rotation de la Terre pour le temps). L'ensemble des concepts de la physique fut ainsi reconfiguré en termes «dynamiques». C'est en ce sens que l'on parle au XIX^e siècle d'une description mécanique de la nature.

LE STATUT DES CONSTANTES, TÉMOIN DE L'ÉTAT DE NOS CONNAISSANCES

Cependant, cette disposition à apparaître ou disparaître, semble-t-il à notre gré, lors du passage des relations de proportion aux équations entre mesures, puis aux équations entre grandeurs, donne aux constantes universelles un caractère passablement déconcertant. Comme le soulignait dans les années 1960 le physicien espagnol Julio Palacios dans son *Analyse dimensionnelle*, les constantes universelles apparaissent dans les lois physiques sans avoir été ni qualitativement ni quantitativement définies au préalable; elles ne désignent ni des attributs des corps, qui seraient variables de l'un à l'autre, ni des grandeurs physiques, car elles se présentent toujours avec la même valeur; et leur existence même apparaît de surcroît précaire puisqu'elles semblent dépendre du choix conventionnel de nos unités. Comment pourraient-elles représenter des propriétés invariantes caractéristiques de l'espace, de la matière ou de l'Univers?

Ces remarques cessent d'être déconcertantes si, au lieu d'envisager les constantes fondamentales dans une perspective ontologique, l'on prend acte, à la suite de Jean-Marc Lévy-Leblond, de leur évolution au cours de l'histoire. En 1977, ce physicien a proposé une

Au cours de l'histoire, les constantes fondamentales (ici la constante de Planck, h , la vitesse de la lumière, c et la constante de la gravitation universelle, G) jouent le rôle de synthétiseurs de concepts. D'abord juste des constantes spécifiques caractérisant un système physique particulier (en jaune), elles deviennent des constantes génériques caractérisant une classe générale de phénomènes (en bleu), puis des constantes universelles qui interviennent dans les lois fondamentales de la physique (en vert), et enfin des constantes de référence dont la valeur numérique est fixée et sert à définir une unité (en rose).



classification des constantes physiques qui met en exergue leur rôle épistémologique dans le développement de notre connaissance de la nature (voir la figure page ci-contre). L'itinéraire de la constante c illustre bien le destin d'une constante physique, qui est de gravir les échelons de cette classification, pour finalement être assimilée à une simple constante de conversion.



Avec la relativité restreinte, la vitesse de la lumière a atteint le stade ultime des constantes



La constante c fut tout d'abord introduite comme une constante spécifique, caractérisant l'une des propriétés d'une entité physique particulière: la lumière. Elle est devenue une constante générique lorsque les travaux de Maxwell ont montré que cette propriété caractérisait toute une classe de phénomènes: c est la vitesse dans le vide de l'ensemble des ondes électromagnétiques. Enfin, elle a acquis le statut de constante universelle avec la relativité restreinte, qui en a fait une constante caractéristique de la structure de l'espace-temps, liée à l'invariance des lois de la physique lorsque l'on passe d'un référentiel galiléen à un autre. C'est alors seulement que la constante c a pu atteindre le stade ultime de la classification: la valeur de c , jusqu'alors déterminée par l'expérience, a été fixée sans incertitude.

Comme le souligne Jean-Marc Lévy-Leblond, et comme dans l'exemple de l'aire, ce geste synthétise plusieurs concepts, ici ceux d'espace et de temps, combinés dans l'expression de l'intervalle d'espace-temps: $(\Delta s)^2 = c^2(\Delta t)^2 - (\Delta l)^2$. Les grandeurs d'espace et de temps cessent d'avoir une signification objective lorsqu'on les prend séparément; l'objectivité est attachée à leur combinaison au sein de l'intervalle d'espace-temps, seul à être invariant par changement de référentiel galiléen.

Cette synthèse se traduit par une redéfinition de l'unité de longueur: c'est à partir de la forme prise par l'intervalle d'espace-temps pour les ondes électromagnétiques, $\Delta l = c\Delta t$, que l'on a redéfini le mètre, en 1983, à l'aide de l'unité de temps et de la valeur, devenue fixe, de c . De la

même manière, la réforme imminente du système international consacra, en fixant k , la constante de Boltzmann, la synthèse des concepts de température et d'énergie. Et la constante de Planck, h , une fois fixée en conjonction avec c , entérinera un principe de la physique quantique – la dualité onde-corpuscule – selon lequel tous les objets physiques présentent à la fois des propriétés d'ondes et de corpuscules.

La valeur de c a été gelée à partir de sa valeur expérimentale, mesurée dans le système d'unités en vigueur avant la redéfinition, et non pas prise égale à un, comme dans l'exemple de l'aire, et comme le font souvent les théoriciens – un tel choix eût exigé la conversion de toutes les mesures de longueur effectuées avant la redéfinition. Les valeurs «commodes» des constantes choisies, que ce soit pour la redéfinition du mètre, ou celles, imminentes, de la masse, de la température, de l'ampère et de la mole, sont celles qui assurent la continuité avec les mesures antérieures.

PUIS LES CONSTANTES S'ÉVANOUISSENT

La constante c (et bientôt, avec elle, les constantes k et h) prend ainsi le chemin d'autres constantes qui ont aujourd'hui sombré dans l'oubli, comme la constante mécanique de la chaleur J . Initialement déterminée par l'expérience, cette constante liait au XIX^e siècle le travail mécanique et la chaleur. Vers la fin du XIX^e siècle, elle est devenue une simple constante de conversion entre les joules et les calories (1 calorie = 4,18 joules), entérinant l'idée que la chaleur n'est qu'une forme d'énergie: ainsi reconnaît-on que deux grandeurs, initialement tenues pour être de nature différente, renvoient en fait à la même réalité physique. Une multitude de constantes fondamentales, rendues désuètes par l'unification progressive des concepts physiques, ont ainsi été enfouies et rendues invisibles dans la trame de la physique telle qu'elle se présente à nous aujourd'hui.

Mais comment s'opèrent ces reconfigurations? On pourrait croire qu'elles découlent en quelque sorte naturellement du déploiement interne de la science et sont entérinées par une sorte de *fiat*. Mais, pour peu qu'on les regarde de près, ces processus révèlent au contraire la complexité des activités pratiques mises en œuvre au cours de l'histoire pour stabiliser l'écheveau des avancées empiriques dans un corps de connaissances et d'actions communes.

La redéfinition des unités engage des opérations de nature très différente. Mesurer la valeur d'une constante dans des unités déjà établies et redéfinir l'une de ces unités après avoir fixé la valeur de la constante ne sont pas du tout des tâches symétriques. La première relève de ➤