

Réflexions sur la mesure



Étienne Klein

L'observation quantifiée des régularités du réel est à la base même de la science. Dans ses principes aussi bien que dans son développement, celle-ci s'appuie donc explicitement sur la mesure. Cela tient à l'essence même du projet scientifique: pour que l'étude d'un phénomène puisse s'inscrire dans le champ scientifique, il doit pouvoir être justifiable d'une quantification, de manière répétable et suffisamment précise, de sorte qu'on puisse l'associer à une grandeur. En d'autres mots, il doit être "mesurable".

Dans son acception courante, le mot "mesure" désigne l'opération consistant à enregistrer, au moyen d'un dispositif approprié, la valeur de telle ou telle grandeur physique pour un système donné. Plus généralement, mesurer, c'est comparer, à l'aide d'un instrument de mesure, la valeur d'une grandeur A du monde physique à une grandeur de référence A_0 , prise pour unité et supposée stable au cours du temps, puis traduire cette comparaison par la valeur A/A_0 , qui est le résultat de la mesure. C'est aussi fournir une estimation de la qualité de cette opération, en livrant l'incertitude ou la marge d'erreur qui lui est associée.

Une ouverture vers la mathématisation du monde

La première vertu de la mesure est de nous élever au-dessus de la perception qualitative des choses. De ce seul fait, elle ouvre la possibilité d'une mathématisation du réel: partant d'une "donnée" *a priori* complexe, confuse, parfois même insaisissable, elle la met en correspondance avec une grille numérique permettant de la quantifier.

“ Il faut réfléchir pour mesurer et non pas mesurer pour réfléchir ”

Gaston Bachelard
La Formation de l'esprit scientifique

Elle transfère ainsi un "morceau de réel" sur un registre capable de le condenser, de le résumer, de le caractériser. Mesurer une propriété d'un objet, c'est en définitive extirper cette propriété hors de son support matériel pour la déposer ailleurs, sous la forme d'un nombre, d'un tracé, d'une formule. À l'issue de cette projection dans le monde des chiffres, on obtient une image, en apparence "allégée", de la chose mesurée.

Pour autant, il ne faudrait pas réduire la mesure à un simple chiffrage: dans ce dernier cas, on se contente de "compter", par exemple, les diverses pièces d'un objet.

La mesure en diffère parce qu'elle suppose toujours un appareil, ainsi qu'une méthode, capable d'arracher l'être mesuré à son état fermé ou imperceptible. Elle se doit d'établir un contact, une médiation entre ces deux réalités bien distinctes que sont l'instrument de mesure d'un côté, la chose à mesurer de l'autre. Pour "faire bonne mesure", il faut donc être deux, nécessairement, et pouvoir interagir. On voit par là que la mesure a à voir avec la conjugalité: un thermomètre ne mesure pas sa propre température.

Il ne faudrait pas davantage confondre la mesure avec une sorte de langage quantitatif. D'une part parce que, à la différence des mots, la mesure vise l'universel et n'est pas dépendante d'un vocabulaire: les scientifiques se sont mis d'accord et sur les unités opérationnelles et sur les procédures à utiliser, de telle sorte que les résultats accessibles à tous puissent être comparés et discutés.

D'autre part parce que les nombres qui caractérisent le résultat d'une mesure en disent bien plus sur la chose que les mots de la langue. Certes, la température d'un corps pourra être dite brûlante, ou tiède ou douce, mais ces qualificatifs d'une part sont vagues, d'autre part sont souvent faussés par le fait qu'ils demeurent indissolublement liés à nos impressions sensorielles: le rapport personnel que nous avons avec la chose que nous souhaitons appréhender brouille systématiquement l'opération. De façon subreptice, nous substituons à cette chose notre propre réaction à elle, et ajoutons par là un opérateur supplémentaire, en l'occurrence notre organisme et ses habitudes.

La mesure, elle, est censée permettre d'obtenir un résultat plus sûr, plus objectif, et aussi plus concis.

Un idéal d'objectivité

On a pourtant longtemps objecté à la mesure que, par l'entremise du dispositif utilisé pour la réaliser, l'observateur, à son insu, viendrait peser sur le mesuré, interagir avec ce qu'il prétendait saisir, et donc le modifier. L'argument est certes recevable, mais il ne rend pas justice à "l'art de la mesure", qui consiste précisément à rendre cette modification sinon nulle, du moins minimale. L'exemple du thermomètre – ordinaire, à mercure pour fixer les idées – destiné à mesurer la

température de l'eau contenue dans un récipient est à cet égard éclairant : pour fonctionner comme un thermomètre (et donc mesurer la température sans la modifier), il faut que la masse de mercure qui échange de la chaleur avec l'eau ait une capacité calorifique nettement inférieure à celle de la masse d'eau ; dans ces conditions, une même quantité de chaleur en passant de l'eau au thermomètre (ou l'inverse) ne modifie que très faiblement la température initiale de l'eau, alors qu'elle fait varier celle du thermomètre. La température mesurée peut alors être considérée comme la température de l'eau, à très peu près, l'instrument de mesure n'ayant pratiquement pas perturbé le système (l'eau) sur lequel on effectue la mesure.

À l'instar de ce modèle qu'est le thermomètre, toute mesure digne de ce nom vise une sorte de neutralité parfaite vis-à-vis de ce qu'elle veut saisir : elle repose sur l'hypothèse implicite que l'instrument de mesure qu'elle va utiliser est beaucoup plus sensible que l'objet qu'elle va mesurer. D'où l'idée communément admise qu'une mesure, quelle qu'elle soit, enregistre objectivement quelque chose qui est "déjà là", sans modifier ses propriétés ; et qu'en conséquence, elle n'a qu'un rapport passif avec le réel. Idéalement, elle se contenterait même d'opérer sur lui un simple décalque, et serait capable en somme d'annuler toute distance entre ce qui mesure et ce qui est mesuré, offrant ainsi l'occasion d'un véritable "contact" avec le réel, d'une véritable appréhension du monde physique tel qu'il est en lui-même⁽¹⁾.

Entre théorie et expérience

Il n'est pas de mesure qui soit interprétable sans modèle ou théorie du phénomène qu'on mesure. C'est pourquoi le concept de mesure se situe entre théorie et expérience. Il vient marquer un trait d'union entre elles, en même temps qu'il alimente la dialectique qui les relie.

Toute mesure vient s'inscrire dans une description générale du phénomène qu'elle permet de quantifier et qui seule permet de la "faire parler". Comme l'a écrit Franck Jedrzejewski, "si la détermination d'un fait passe par sa mesure, il faut aussi constater que le phénomène de mesure ne se réduit pas à la détermination d'un nombre mais implique toujours une loi ou un postulat préalable qui le sous-tend. La mesure d'une force par un dynamomètre suppose que la force est proportionnelle à l'allongement du ressort. La détermination d'une température suppose que la hauteur de mercure est proportionnelle aux variations de température"⁽²⁾.

En conséquence, ce que révèle une mesure peut dépendre de la théorie à laquelle on se réfère pour l'interpréter. Par

exemple, une mesure de la position (donnée par deux angles) d'une galaxie lointaine peut être interprétée en supposant l'espace euclidien (c'est-à-dire plat, non courbé), ou bien en tenant compte des courbures locales de l'espace-temps, telles que celles envisagées par la théorie de la relativité générale : la position qui lui sera attribuée ne sera pas la même dans les deux cas.

Des nombres peuvent-ils dire le monde et le détenir ?

La mesure, de quelque nature qu'elle soit et à quelque objet qu'elle s'applique, aboutit toujours à des nombres. Ce faisant, ne renonce-t-elle pas à l'essence même de ce qu'elle prétend traduire ? Ne nous prive-t-elle pas de la chose qu'elle prétend circonscrire en chassant sa spatialité et sa forme au profit de quelques chiffres ? Comment espérer qu'un équivalent aussi dépouillé qu'un nombre puisse emporter avec soi, comme dans un filet, quelque chose de la substance dont il est issu ? Curieusement, nombreux sont les philosophes des Lumières qui, de Montesquieu à Constant en passant par Rousseau ou Chateaubriand, ont protesté contre la "folie du nombre" qu'induirait l'extension ou la généralisation de la mesure. Ces divers penseurs ont laissé entendre que toute mesure nous trompe en nous cachant le véritable contenu des choses, ou en soumettant celui-ci à une sorte d'évaporation irréversible : en rendant identiques, par quelques côtés, des réalités qui sont en vérité incomparables, la mesure aurait pour effet de volatiliser le réel pour ne plus laisser entre nos mains que la cendre des chiffres.

Plus récemment, Henri Bergson, dans son ouvrage *Essai sur les données immédiates de la conscience*, a repris une part de leurs arguments pour venir à son tour critiquer l'emprise croissante de la quantification : si la mesure est bien une forme de la connaissance, concédait-il, elle ne permet pas de "coïncider" avec l'objet mesuré, ni même de "mordre" sur lui ; la mesure nous en éloigne même au moment où elle tente de servir à sa visibilité ou à son intelligibilité. Pour Bergson, il n'est en effet qu'un seul chemin pour entrer dans la chose, c'est de coïncider avec elle, de "sympathiser" avec son propre devenir et de la délivrer ainsi des prétendues "emprises" numériques : la chose est la chose, rien ne l'égalise ou n'en dispense, et nous la perdons dès que nous la saisissons à travers ce qui n'est pas elle-même.

Cette critique bergsonienne de la mesure avait ceci de sympathique qu'elle proposait un "retour conscient et réfléchi aux données de l'intuition", mais elle oubliait un point essentiel : la mesure, bien qu'elle appauvrisse apparemment ce qu'elle traduit, en renouvelle aussi l'intelligence ; elle ne prélève qu'un fragment du monde et agrandit cependant ce sur quoi elle a opéré.

C'est l'aspect paradoxal de la mesure : elle permet d'obtenir beaucoup alors qu'avec elle on a, semble-t-il, diminué ou amoindri la saisie. Paul Valéry a fort bien su dire la fécondité de cette contradiction et la fascination qu'elle lui

(1) Il y a trois quarts de siècle, la physique quantique est venue bouleverser cette conception classique de la mesure : l'instrument de mesure y interagit inéluctablement avec l'objet sur lequel on veut faire une mesure. Cette remise en cause a obligé les physiciens à affronter "le problème de la mesure en physique quantique", qui ne sera pas discuté ici.

(2) Franck Jedrzejewski, *Histoire universelle de la mesure*, Ellipses, 2004, p. 10.



Laurent Guiraud/CERN

La préparation de l'expérience ATRAP d'étude de l'anti-hydrogène au Cern en 2000, qui met en œuvre des mesures très sophistiquées, a recours pour sa mise en place à des instruments de mesure des plus traditionnels, tel ce dynamomètre.

inspirait: "J'avoue que je ne conçois pas comment des relations quantitatives, obtenues par des mesures extérieurement effectuées sur des choses, peuvent dans un si grand nombre de cas et avec de si remarquables approximations, obtenir des prévisions et permettre des applications vérifiables. Ceci fait involontairement songer à une métaphysique de la quantité. Il est extraordinaire, paradoxal, que la science, fondée sur mètres et nombres, soit arrivée à de tels résultats que l'abstraction, c'est-à-dire la privation de la plupart des caractères des choses, combinée à elle-même, ait donné tant de choses et tant de pouvoir sur les choses."⁽³⁾

Les faits, en effet, sont là: la mesure ne réduit pas le réel, elle l'augmente. Loin de l'écraser, elle favorise sa révélation en ouvrant le chemin de la connaissance.

(3) Paul Valéry, *Cahiers*, N.R.F., 1974, T. II, p. 920.

En route vers de nouvelles phénoménalités

Au cours de l'histoire des sciences, la mesure s'est développée selon deux directions. D'une part, elle s'est progressivement adressée à des quantités de moins en moins perceptibles aux sens: la vitesse, qui ne nous est familière que grâce aux compteurs de vitesse des automobiles, est une grandeur plus abstraite que la longueur; l'accélération est encore plus abstraite que la vitesse; le champ magnétique, la charge électrique, sont encore moins immédiatement accessibles; et que dire du spin d'une particule? D'autre part, la mesure s'est peu à peu éloignée des phénomènes ordinaires, macroscopiques (à notre échelle) pour aller vers toutes sortes d'"extrêmes": l'ultramicroscopique, le très vaste, l'extrêmement bref, le très lointain, l'incroyablement rare, le très chaud, l'ultradiscret... Dans chacun de ces nouveaux secteurs du monde, elle a permis d'investir des zones de "phénoménalité" qui étaient jusqu'alors cachées ou inaccessibles.

On devine que de telles mesures extrêmes ne sont possibles que par le déploiement de multiples médiations entre le phénomène lui-même et sa capture numérique, médiations qui peuvent être très indirectes ou très subtiles: pour mesurer la distance entre la Terre et une galaxie, on ne peut plus tabler sur le geste d'une unité mise bout à bout; pour comptabiliser une longueur qui se mesure en fractions de microns, le bon vieux pied à coulisse n'a plus guère d'utilité; quant aux montres, même à trotteuse, elles ne sont capables de se faire l'écho ni de la très courte durée de vie des particules instables, ni de l'âge des étoiles ou de l'Univers.

Dans chaque cas, comme nous l'allons voir, il faut faire appel à d'autres techniques, inventer de nouveaux stratagèmes opératoires, capables de saisir des pans inconnus de la réalité.

> Étienne Klein

Direction des sciences de la matière
CEA centre de Saclay