

Partie I

De la science



1. Qu'est-ce que la science ?

Qu'est-ce donc que la science et en quoi consiste-t-elle au quotidien ? Il est nécessaire de la définir avant d'en discuter. Or il n'y a pas de réponse simple. Toute réponse ne peut qu'exclure des aspects essentiels. Il est cependant nécessaire d'en trouver une suffisamment satisfaisante car, d'une part, beaucoup de choses sont revendiquées au nom de la science, et d'autre part elle est de plus en plus attaquée.

Nos ancêtres lointains se sont rapidement rendu compte qu'il était vital d'étudier notre monde sensible – raison pour laquelle nous avons survécu. Bien avant l'ère chrétienne, certaines écoles de pensée avaient cerné de manière satisfaisante la nature que devaient avoir de telles études pour être quelque peu fiables, et avaient développé des méthodologies sophistiquées. Les subdivisions ont varié en fonction de la perspective et de la compréhension du moment, mais l'histoire de ce qu'on appelle aujourd'hui les sciences au pluriel est ancienne.

On considérait autrefois les sciences comme partie intégrante de la connaissance dans son ensemble. Jusqu'au 19e siècle, le mot « science » était défini dans un sens large comme la « connaissance qu'on a de quelque chose », incluant la morale, « la science du bien et du mal »[5]. C'est ce que continue de faire le *Littré* entre 1863 et 1873. C'est en 1833 que William Whewell[6] a suggéré le terme générique « scientifique » pour unifier les sciences. Selon lui, « les habitudes et sensibilités de ceux qui [étudiaient] les livres et de ceux qui [étudiaient] les choses [s'étaient] éloignées », et il était devenu nécessaire de souligner l'« unité » sous-jacente à la « connaissance du monde matériel », car ses différentes disciplines devenaient de plus en plus isolées en raison d'une spécialisation à outrance. Outre-Manche, le terme *science* était devenu communément utilisé dans les années 1860 pour désigner les « sciences physiques et expérimentales »[7]. Depuis, les définitions données mettent

[5] Le *Littré*, dictionnaire de la langue française, par É. Littré : https://www.littre.org/definition/science

[6] Whewell 1834, p. 54.

[7] Ward 1867, p. 254.

l'accent soit sur l'unité sous-jacente, soit au contraire sur la différence entre les diverses sciences.

Si on crée des catégories trop rigides, on est constamment forcé d'en créer de nouvelles. En incluant des propriétés secondaires dans la définition, on entrave la détection de propriétés essentielles. On peut en venir à les considérer immuables, ce qui dans le cas de la science est particulièrement problématique. Ainsi que l'a souligné John Stuart Mill, « en science, la définition d'un terme », étant dans un processus constant de modification, « on pourrait facilement [plus tard] trouver un ensemble différent de caractéristiques mieux adaptées »[8]. Donc, tout en gardant à l'esprit qu'aucune catégorisation n'est pleinement satisfaisante, la définition doit rester suffisamment flexible.

Le mieux est donc de la fonder sur les attributs partagés par les méthodologies fiables dans les études du monde sensible : l'observation – dont la nécessité est évidente – et le raisonnement – défini par Gordon Childe comme « la capacité à résoudre des problèmes sans passer par un procédé physique d'essais et d'erreurs »[9]. Même des résultats satisfaisants devinés intuitivement à partir d'observations pourraient n'être que pure coïncidence. Pour être fiables, et donc scientifiques, ils doivent reposer sur des arguments raisonnés. Inversement, des raisonnements qui ne reposent pas sur des observations (c'est-à-dire des bases empiriques solides) ne sont pas scientifiques. Ils pourraient aboutir à des résultats peu réalistes. Notons que le mot *raisonnés* est plus neutre que le mot *rationnels*.

Pour mieux délimiter la science, il faut se faire une idée plus précise de son domaine d'étude. L'expression « monde matériel » employé par Whewell suggère qu'il s'agit là de toute la réalité ou qu'il existe des démarcations claires entre les sphères matérielles et non matérielles, ce qui pourrait influencer le type de résultats obtenus ainsi que les méthodes appliquées. Quant au terme *nature,* sa signification varie selon les hypothèses métaphysiques, tandis que *monde extérieur* est ambigu étant donné que la conscience (ou du moins l'esprit) est quelque peu du ressort de la science. C'est pourquoi j'ai utilisé l'expression *monde sensible,* qui est à mon avis plus appropriée, mais avec une réserve. Son objectif étant de trouver des descriptions et des explications unifiées de phénomènes disparates, la science est forcée d'aller au-delà de la perception sensorielle et de se baser sur des concepts tels que celui d'atome ou de gène. On n'a aucun moyen de déterminer si ce sont là de simples constructions de l'esprit humain pour interpréter notre expérience, ou s'ils reflètent une réalité inobservable en raison des limites de nos sens. Ils sont également indéfinissables scientifiquement, sauf à utiliser d'autres concepts, une interprétation mathématique s'apparentant à une traduction dans une autre langue et non à une explication. Cependant – et c'est fondamental – le bien-fondé des concepts doit être confirmé par des effets perceptibles et

[8] Mill 1843, p. 193.

[9] Childe [1942] 1971, p. 19.

descriptibles, et on doit les remplacer par des concepts plus appropriés si l'observation raisonnée l'exige.

Par ailleurs, tous les aspects du monde sensible ne se prêtent pas à une étude fiable. Qui dit fiable dit communication de conclusions en vue de leur vérification. Et donc le domaine d'études scientifiques est limité aux caractéristiques qu'on peut décrire par comparaison. Les concepts absolus tels que la chaleur ou la hauteur, bien qu'ils fassent partie de notre expérience, n'ont pas leur place en science car il n'y a aucun moyen pour s'assurer comment deux individus distincts les perçoivent. Ce sur quoi on peut se mettre d'accord, c'est si un objet est plus chaud ou plus froid, plus grand ou plus petit qu'un autre, etc. En d'autres termes, seuls les attributs qui peuvent être comparés à une référence externe peuvent faire l'objet d'un examen scientifique.

Pour qu'une conclusion soit vérifiable, il faut qu'elle soit fondée non sur des observations quelconques mais sur des observations reproductibles à volonté[10]. Il s'agit là d'un point crucial. Des théories fondées sur trop peu d'observations difficiles à reproduire sont plus de l'ordre « d'interprétations uniques […] avec des exemples sous diverses formes »[11]. C'est notamment le cas en sociologie ou psychologie, où, même dans une expérience prolongée sur plusieurs jours, un sujet peut être dans des états très différents, par exemple énervé ou au contraire calme, en conséquence de son vécu dans les heures précédentes. Cette remarque ne remet pas en cause l'importance de ces disciplines. Simplement elles ne peuvent être qualifiées de scientifiques, combien même les études seraient faites de manière systématique. C'est la raison pour laquelle je préfère ne pas adopter la définition donnée par le Scientific Council, selon laquelle la science est « la poursuite et l'application de connaissances et compréhension du monde naturel et social employant une méthode systématique basée sur des preuves »[12]. D'après *Le Petit Robert*, une preuve est « [c]e qui sert à établir qu'une chose est vraie »[13]. Or, comme nous le verrons, vérité ne rime pas avec science.

Par ailleurs, la définition du Scientific Council inclut les applications. C'est souvent le cas, mais je choisis de ne pas le faire afin de maintenir une distinction claire entre science et technologie. Cela dit, comme l'explique Dmitri Mendeleïev, la science « est à la fois un moyen et une fin. C'est un moyen d'atteindre certaines aspirations réalisables »,[14] tout autant que de donner un sens aux phénomènes naturels.

[10] « Reproductibles » n'est pas le bon terme, car les mêmes conditions ne sont jamais les mêmes à des moments ou endroits différents.

[11] Postman 1993, p. 154.

[12] « Our definition of science », Science Council. https://sciencecouncil.org/aboutscience/our-definition-of-science/ (consulté le 31 décembre 2019).

[13] « Preuve », *Le Petit Robert* 1973, p. 1387.

[14] Mendeleïev 1891, viii.

Je désire également insister que pour comprendre un phénomène naturel, il faut comprendre non seulement ses propriétés intrinsèques mais aussi ses interactions avec l'environnement. On doit donc l'étudier à la fois isolément et dans son environnement naturel, et cela dans la durée. Certains effets et leur portée peuvent ne devenir perceptibles qu'avec le temps.

En résumé,

La science est l'étude raisonnée fondée sur l'observation reproductible et suffisamment reproduite de propriétés du monde sensible qui peuvent être décrites par la comparaison, ainsi que des effets sensibles attribués aux concepts ainsi induits – une étude qui englobe les interactions avec l'environnement naturel.

Cette définition s'inscrit dans la lignée d'autres définitions courantes, mais elle est plus précise et ainsi réduit les malentendus concernant ce qui peut ou ne peut pas être inclus dans une théorie scientifique. En incluant les concepts, elle souligne la subjectivité de la science. En spécifiant la méthodologie et le type de concepts acceptables, elle implique clairement que la science est le contraire du dogme. En particulier, il en découle que les concepts absolus tels que dieu, la vie, la nature et l'essence des choses ne sont pas de l'ordre de la science car ils ne peuvent être décrits par comparaison. Elle souligne également les caractéristiques nécessaires pour minimiser le risque de théories fantaisistes.

Deux dernières remarques : Tout d'abord, pour qu'une étude soit vérifiable et donc reproductible, il faut qu'il y ait transparence. Il faut donc faire connaître le protocole suivi à toutes les parties intéressées. Deuxièmement, la différence entre une approche scientifique et une approche plus prosaïque est une différence de degré plutôt que de nature. Elle apporte précision et systématisation là où elles font défaut. Par exemple, nous avons tous une idée de ce que sont les fruits et les légumes, et c'est suffisant pour la plupart d'entre nous. L'usage ordinaire est fondé sur des comparaisons entre des produits que nous avons fini par considérer similaires pour de vagues raisons, parfois culturelles. Par exemple, en Europe, un fruit est plutôt consommé à la fin d'un repas. Cependant, la définition scientifique d'un fruit est celle d'un organe qui contient des graines, les protège pendant leur développement et aide à leur dispersion. Par conséquent, les tomates et les concombres sont des fruits, contrairement à l'idée reçue que ce seraient des légumes. En d'autres termes, la science précise les similitudes et les différences entre des objets comparables en poussant l'observation au-delà du superficiel, réduisant ainsi les ambiguïtés.

1.1 La science au quotidien

Pour mieux comprendre la science, voyons en quoi elle consiste dans la pratique. Parler de méthodologies pourrait faire penser que le travail au quotidien consiste en une succession d'étapes bien définies, alors qu'en fait on ne peut pas le subdiviser. Il forme un tout. Les scientifiques ne suivent pas consciemment des procédures clairement définies : motivés par un objectif

théorique ou pratique ou les deux, ils procèdent comme ils l'entendent, selon leur propre entendement, selon leurs idées préconçues, ainsi que selon la nature du sujet traité. Il faut parfois beaucoup de temps pour réaliser comment procéder. Plus le sujet est inédit, plus il est nécessaire de s'écarter des méthodes connues, tout en s'en inspirant. Les méthodes appliquées défient bien souvent toute raison et sont pourtant parfaitement adaptées ! Pour reprendre les propos de Niels Bohr : « Si on disait à un philosophe qu'avec de l'eau sale et un chiffon sale, on peut nettoyer des verres sales, il ne le croirait pas. »[15]

La science ne consiste pas à suivre telle ou telle méthodologie. Quiconque applique une méthodologie comme s'il s'agissait d'une recette peut devenir un *expert* aux yeux du monde, publier d'innombrables articles, collecter des données, appliquer des théories acceptées, produire résultat technique sur résultat technique par un processus mécanique consistant à modifier un détail par-ci, un détail par-là, à remplacer une substance par une autre. Il ne deviendra cependant jamais un homme ou une femme de science. Pour Thomas Chamberlin, une telle attitude ne mène qu'à « une étude secondaire, imitative ou possessive »[16]. La science au quotidien est une question de perspicacité et de dévotion. Jusqu'à ce que les choses commencent à se mettre en place, l'approche s'apparente davantage à un tâtonnement éclairé sans garantie de succès. Elle n'est ni logique ni illogique, ni rationnelle ni irrationnelle. Elle est un mélange de raisonnement et de créativité, d'heures passées à contempler des gribouillis, des dessins, des expériences, des pages et des pages de calculs ou de descriptions qui finissent à la poubelle. En un mot, elle échappe à toute qualification.

Et pourtant, les questions de méthodologie sont fondamentales justement pour cette raison, car comme l'a écrit Karl Popper, « toute découverte contient un 'élément irrationnel' »[17], mais aussi parce qu'il faut remédier aux nombreuses lacunes d'une approche scientifique. Mais aucune méthodologie n'est infaillible. La description qui suit tente de distinguer les étapes essentielles d'une étude scientifique moderne, bien qu'elle ne soit qu'une simplification idéalisée d'un processus complexe et difficile à démêler.

Hypothèse scientifique

Pour commencer, qu'est-ce qu'une hypothèse scientifique ? Son but est d'expliquer, de décrire et de prédire. Ces trois aspects sont interdépendants. Les explications sont essentiellement de deux sortes : l'analyse causale et l'évaluation de la relation entre genre et espèce, par exemple des caractéristiques spécifiques d'une famille d'arbres, disons des hêtres, et des caractéristiques qui en font des arbres. La partie descriptive tend à répondre à la question *comment* et peut prendre la forme d'une formulation mathématique, mais pas nécessairement,

[15] Cité dans von Weizacker 1985, p. 185.

[16] Chamberlin 1980, p. 754.

[17] Popper [1935] 2002, p. 8.

et la partie explicative tente de répondre modestement à la question bien plus difficile *pourquoi* ; les deux sont parfois identiques ou étroitement liées. La valeur d'une description réside dans son potentiel explicatif et prédictif, bien que ce potentiel soit limité. Dans le cas d'une analyse causale, il s'agit, selon les termes de Mill, d'identifier « parmi les circonstances qui précèdent ou suivent un phénomène, celles avec lesquelles celui-ci est réellement connecté »[18]. Comme l'a expliqué l'ancienne école de logique indienne nyaya, la simple invariance, l'antécédence ou la concomitance n'implique pas la pertinence : le jour précède toujours la nuit, mais n'explique en rien le phénomène de la nuit ; ou par exemple, en ce qui concerne le mouvement d'un projectile, sa couleur n'est pas pertinente. Il est donc essentiel de vérifier l'inconditionalité afin d'éliminer les antécédents ou les co-effets[19] invariables mais sans impact sur le phénomène en question[20]. Déterminer les causes est des plus difficile en raison de la complexité, surtout s'il faut remonter dans le temps.

Une description purement prédictive fondée uniquement sur des bases empiriques (par exemple l'affirmation qu'un objet lancé finira par tomber) sans comprendre pourquoi n'est pas scientifique. La qualité des prédictions dépend de la qualité des explications, et inversement la force des explications découle de leur portée prédictive. Sinon, elles risquent de devenir fantaisistes. Cependant, même si une explication conduit à quelques prédictions correctes, cela ne signifie pas pour autant qu'elle soit correcte. C'est le cas de la théorie corpusculaire de la lumière d'Isaac Newton. Malgré la validité de certaines de ses prédictions, elle s'est par la suite avérée être fondée sur des hypothèses incorrectes.

La formulation du problème

Comment parvient-on à une hypothèse ? Tout d'abord, il faut évidemment choisir un sujet. C'est un véritable don que de savoir discerner parmi la multitude de sujets celui qui vaut la peine de s'y consacrer. L'intérêt peut être suscité par de multiples facteurs : l'observation, des lectures et discussions, la maîtrise de théories existantes qui ne semblent pas expliquer toutes les données expérimentales, des expériences de pensée[21], etc. À ce stade, toute observation est rudimentaire et superficielle, davantage passive qu'active. Elle peut être faite par inadvertance, comme ce fut le cas avec Alfred Wegener lorsqu'il remarqua pour la première fois une concordance entre certaines parties des côtes atlantiques de part et d'autre de l'océan. Mais cette première observation n'aurait pas débouché sur un travail scientifique si par chance il n'était pas tombé sur un article faisant allusion à la question. En effet, même les meilleures recherches dépendent de ce qui nous paraît être un hasard.

[18] Mill 1843, p. 450.

[19] Les circonstances conditionnées par les mêmes causes que le phénomène étudié.

[20] Voir Seal 1915, pp. 262-266.

[21] Hypothèses dont on induit des conclusions par des expériences imaginées.

Ce n'est qu'après qu'on a formulé quelque peu un problème que l'on peut débuter une étude scientifique. Au fur et à mesure que sa formulation évolue, on vient à mieux cerner sa portée et ses limites. Elle permet d'établir une hypothèse éclairée à partir des premières données recueillies, c'est-à-dire une hypothèse de travail et un plan d'ensemble sur la procédure à suivre. Selon Albert Einstein et Leopold Infeld, « la formulation d'un problème est souvent plus essentielle que sa solution, qui peut n'être qu'une question d'habileté mathématique ou expérimentale »[22].

Du particulier au général

L'étape suivante consiste pour ainsi dire à distinguer les caractéristiques essentielles du phénomène étudié de ses traits superflus. Il est évidemment utile de passer en revue les théories pertinentes et les données déjà connues, donc de beaucoup lire et discuter avec des collègues. Des observations systématiques minutieuses peuvent suffire ; sinon, des expériences (c'est-à-dire des manipulations de la matière) peuvent s'avérer nécessaires. De nos jours, en raison du niveau de connaissances techniques requis, les expériences sont souvent réalisées par des spécialistes, ce qui nécessite une compréhension théorique de leur part et une compréhension expérimentale de la part des théoriciens. Les expériences sont loin d'être de la simple technique.

Tout cela permet de recueillir des données plus pertinentes et de les rendre analysables, par exemple en les classant selon des critères établis en fonction du but escompté, ces critères étant eux-mêmes le résultat de l'observation et de l'expérimentation, ainsi que de la comparaison avec des questions connexes. La classification fait suite à une recherche d'analogies et de différences et met en évidence celles qui passent inaperçues. Elle contribue donc à attirer notre attention sur des propriétés jusqu'alors inobservées. C'est notre principal outil de raisonnement pour donner un sens à notre monde, et elle est intrinsèque à notre mode de penser. À nouveau, on voit que l'approche scientifique consiste à formaliser, affiner des méthodes prosaïques, les doter d'une précision qu'elles ne possèdent pas habituellement.

La classification, c'est-à-dire la comparaison, n'a en elle-même que peu d'intérêt si elle ne sert pas à améliorer notre compréhension, comme le fait remarquablement le tableau périodique. Il ne s'agit pas de décrire un nombre fini d'événements ou d'objets. En s'en tenant à des cas particuliers, on ne peut pas aborder une situation nouvelle, c'est-à-dire prédire. Une hypothèse valable doit aller au-delà de ce qui est observé. D'où la nécessité de collecter le plus de données possible en reproduisant les observations à volonté. La généralisation ne consiste cependant pas à augmenter leur nombre de manière aléatoire. Il s'agit de formuler un principe général décrivant des phénomènes disparates observés. On peut en induire les contours à partir de similitudes, mais pour l'affiner, comme l'a conseillé Henri Poincaré, il faut rechercher « les cas où

[22] Einstein et Infeld [1938] 1942, p. 95.

cette règle a le plus de chance d'échouer »[23]. Par exemple, les chercheurs ont induit les concepts de force, de quantité de mouvement, de gravité, etc. en étudiant les divers types de mouvements d'objets très différents, certains dont l'impulsion est donnée par l'homme, d'autres ne nécessitant pas d'intervention humaine. Ainsi, ceux qui initialement semblent être des phénomènes distincts sont progressivement interprétés comme étant fondamentalement de même nature. Lorsqu'un principe général commence à acquérir une expression plus précise, il reste encore à confirmer son caractère raisonnable. On l'applique alors à une classe de phénomènes plus large que celle envisagée au départ. À ce stade, il est encore plus important de considérer les cas où il a le moins de chances d'être correct.

En d'autres termes, une hypothèse générale est atteinte par *induction* du particulier au général et par *déduction* du général au particulier ; elle consiste à faire des allers-retours entre une réalité particulière et le monde abstrait des idées. Ce n'est qu'ainsi qu'on peut s'assurer quelque peu de la fiabilité d'affirmations générales fondées sur un nombre fini d'observations, en particulier lorsqu'elles incluent des concepts qui ne sont pas directement perceptibles. Chaque étape est un mélange d'observations et de suppositions théoriques basées à la fois sur la logique et la créativité.

Il faut alors vérifier la cohérence interne de l'hypothèse. Évidemment des contradictions l'invalideraient d'emblée. La cohérence avec les théories déjà existantes dans des domaines connexes est également essentielle, mais, contrairement à la cohérence interne, un échec à cet égard ne signifie pas nécessairement que l'hypothèse proposée est incorrecte. Il se pourrait que ces autres théories soient problématiques et doivent être modifiées. Elles peuvent être erronées, ou du moins leur portée peut être plus limitée qu'on ne le pensait. Avoir du discernement est essentiel. Un exemple célèbre est celui des incohérences paradoxales entre les théories de l'électromagnétisme et de la mécanique newtonienne qui ont suscité une nouvelle lecture radicale par Einstein. « Pas de progrès sans paradoxe »[24] comme dit la devise de l'institut fondé par Bohr.

Seules les données empiriques peuvent véritablement nous aider à déterminer si une hypothèse cohérente est satisfaisante, si elle est carrément fausse ou si elle a besoin d'être révisée. L'idéal est de pouvoir vérifier directement sa validité empirique, mais c'est rarement faisable, en raison de sa généralité. Par conséquent, on détermine sa validité en vérifiant certaines de ses conséquences, en d'autres termes ses prédictions. Si l'une d'elles soulève des questions, voire se révèle fausse, par exemple à la suite d'une observation améliorée, alors l'hypothèse pose certainement problème. Le contraire est faux : des implications correctes n'impliquent pas que l'hypothèse dont elles découlent est correcte. Par ailleurs, comme on ne peut effectuer qu'un nombre fini de

[23] Poincaré 1907, p. 7.

[24] Wheeler 1985, p. 224.

vérifications, il se peut qu'à une date ultérieure on découvre un phénomène pour lequel l'hypothèse ne tient pas, à savoir une conséquence fausse. Plus les données empiriques sont variées, plus elle est susceptible d'être fiable. Néanmoins, il peut s'écouler beaucoup de temps entre la formulation d'une hypothèse et une confirmation empirique suffisamment satisfaisante de ses conséquences connues. Les moyens technologiques peuvent manquer, ou même, comprendre comment la vérifier, comment réaliser une expérience appropriée peut prendre du temps. Il en a été ainsi pour nombre de nos théories fondamentales, notamment la théorie atomique.

Si, à un moment ou à un autre, l'hypothèse ne concorde pas avec les données, notamment avec des expériences, il faut alors identifier les raisons de la divergence entre l'hypothèse et ces données, et ensuite réviser l'hypothèse. Ce n'est pas une mince affaire car, dans l'ensemble, une hypothèse inclut de multiples affirmations interdépendantes. Évidemment, en cas de modification, on doit revérifier la nouvelle hypothèse. On continue ainsi jusqu'à ce que l'on parvienne à une hypothèse suffisamment satisfaisante. Au mieux, elle est fondée sur un support expérimental suffisant. Au pire, aucune preuve contraire sérieuse n'est connue. L'hypothèse est alors acceptée comme théorie.

Comme le résume Mendeleïev[25] :

> « Sous le contrôle tous azimuts de l'expérience, une nouvelle théorie, même sommaire, se consolide rapidement, pourvu qu'elle soit fondée sur une base suffisante ; les aspérités sont éliminées, elle se modifie par degrés, et perd bientôt la lumière fantôme d'une forme obscure ou d'une théorie fondée sur un simple préjugé ; elle est capable de mener à des conclusions logiques et d'admettre la preuve expérimentale. »

La prudence est de mise tout au long du processus. À n'importe quel stade, des erreurs peuvent se glisser sans qu'on s'en aperçoive. Même les esprits les plus brillants n'en sont pas exempts. Pour citer Einstein : « Moi aussi, j'ai fait une terrible bavure il y a quelque temps […]. Mais il faut se résigner (*sic* !). Seule la mort peut nous empêcher de faire des bavures. »[26] Les erreurs sincères ne sont jamais des obstacles, mais des étapes vers la compréhension.

1.2 Une harmonie des contraires

Observation et idées

La science, comme le laisse entendre la discussion précédente, repose sur l'observation. Si « elle est en désaccord avec l'expérience, elle est fausse ». Pour Richard Feynman[27], « cette affirmation est la clé de la science ». Elle

[25] Mendeleïev 1889, p. 634.

[26] Einstein, « Letter to Max Born », 18 janvier 1922. Cité dans Born 1965, p. 159.

[27] Feynman [1965] 1985, p. 156.