



La démarche scientifique ou les langages de la raison

Par Catherine BRÉCHIGNAC, Secrétaire perpétuel de l'Académie des sciences

Au fil du temps, les hommes ont accumulé des savoirs pour comprendre, se protéger, se soigner, ou tenter d'agir sur leur environnement. C'est ainsi que la science est définie dans le Trésor de la langue française comme : « *la somme de connaissances qu'un individu possède ou peut acquérir par l'étude, la réflexion ou l'expérience.* » Il est clair que de nos jours, un seul individu ne peut posséder à lui seul l'ensemble des connaissances déchiffrées par l'Humanité, et qu'il en reste encore beaucoup à acquérir, ce qui engendre dans nos sociétés des questionnements, voire des peurs quant à l'utilisation des connaissances sans en connaître l'étendue des effets, et des critiques envers la science qui laisse certaines questions sans réponse.

L'observation du ciel et les mathématiques constituent le berceau de la connaissance scientifique. Les origines de l'astronomie remontent au-delà de l'Antiquité. La pierre gravée, trouvée le 15 août 2006 au nord-ouest de la Chine, montre, une représentation de la grande Ourse qui date d'environ 10 000 ans ; elle témoigne que l'homme scrutait le ciel il y a fort longtemps. Avec l'apparition de l'écriture, les observations astronomiques sont consignées avec soin et ceci dans les quatre foyers de civilisations qu'étaient la Mésopotamie, l'Égypte, la Chine, et ce que nous appelons aujourd'hui les civilisations précolombiennes. Mais à cette époque qui nous a transmis des calendriers d'une grande précision, aucune civilisation ne cherchait à comprendre le « pourquoi » des phénomènes célestes observés.

La grande nouveauté vint de la Grèce antique lorsque les mathématiques sortent de l'utilitaire pour devenir conceptuelles, et qu'émerge la philosophie. Avec Thalès, le principe d'explication des phénomènes observés n'est plus transcendantal, mais réel. Les lois sont dictées par la nature et des théories rationnelles où les mathématiques sont dominantes, procurent des explications chiffrées ou géométriques. L'attraction de Pythagore pour les rapports numériques dans les harmonies en musique lui a permis de définir la gamme qui fut en usage jusqu'à la fin du moyen âge. Si une corde dont la longueur donne un do, une corde d'une longueur vibrante



deux fois plus courte donne un do à l'octave supérieure. Il définit aussi la quinte par son rapport $3/2$ sur le monocorde. Ce fut la première mathématisation de la musique. Cependant, en ces temps, des discussions philosophiques menaient à des paradoxes dont Zénon d'Elée fut le porte-parole. Celui bien connu d'Achille et la tortue a rapport au temps. Achille court plus vite que la tortue, mais si celle-ci part avec quelques mètres d'avance sur lui, un raisonnement construit par itérations successives montre qu'il ne la rattrapera jamais car lorsqu'il arrivera au point de départ de la tortue, elle sera déjà plus loin. L'expérience montre qu'il n'en est rien d'où le paradoxe. Ce raisonnement, basé sur la dichotomie du temps, n'est pas approprié pour décrire des mouvements continus. C'étaient les prémices de la démarche scientifique.

Il fallut attendre encore près de 2000 ans pour voir poindre la « démarche scientifique » au sens où nous l'entendons aujourd'hui. Elle est née en Europe au début du XVII^e siècle. C'est Galilée qui en donna le coup d'envoi. Il construisit des expériences simples relatives à la chute des corps et définit les formules qui les régissent. Il affirme dans l'Essayeur, paru en 1623, que le livre de la Nature est écrit « *en langage mathématique* ».

La démarche scientifique au sens de la confrontation entre la théorie et l'expérience devint l'une des méthodes puissantes qui fit progresser la connaissance. Elle s'étendit au monde entier, et fit de l'Europe le geyser de la science.

La démarche scientifique est une démarche de pensée. La pensée est indissociable du langage, et l'écrit aide à fixer la pensée. On peut se poser la question pourquoi, avant notre ère, les civilisations Olmèque et Maya qui peuplaient un côté de la planète, ainsi que la civilisation chinoise qui peuplait l'autre côté et dont la pensée est riche et originale n'ont pas engendré, avec les mêmes observations que celles que firent des siècles plus tard les Européens, la démarche scientifique. Si cette question est sans réponse, il est à remarquer que les formes linguistiques des langues chinoise ou maya basées sur des idéogrammes sont très différentes des langues alphabétiques, plus abstraites et linéaires, transcrivant les mots par la combinatoire de lettres, et les idées par un ensemble de mots. La langue chinoise par exemple n'est pas vraiment lexicalisée, et la pensée chinoise est plus une pensée globale qu'une pensée analytique. Or la démarche scientifique, quant à elle, est une démarche d'investigation qui passe en premier lieu par l'analyse.



Observer, analyser, accumuler des données, établir des lois pour expliquer les faits expérimentaux, tout en cherchant s'il n'existe pas un contre-exemple qui mette la loi en défaut, faire des synthèses est, depuis la fin du XVI^e siècle, la méthode qui a permis d'accroître la somme de nos connaissances. C'est ainsi que ne sont conservées que les théories qui ne se contredisent pas entre elles, qui s'emboîtent, les unes étant des approximations locales des autres au périmètre plus étendu. Elles nous permettent d'appréhender le monde qui nous entoure d'une manière conceptuelle et synthétique, et présente, outre un raisonnement rationnel, l'avantage de minimiser la place qu'occuperait la mémorisation d'un grand nombre d'observations dans notre cerveau.

La démarche scientifique fut tout d'abord déterministe. Construite pour la physique, elle permit à la chimie de devenir ce que nous appelons une science exacte. C'est Lavoisier dans « *Méthode de nomenclature chimique* », publié en 1787 qui, devant le nombre de substances connues en constante augmentation, a rationalisé leur appellation et utilisé un mode d'écriture constitué de symboles instituant ainsi la charte fondatrice de la chimie. C'est Dimitri Ivanovitch Mendeleïev, un maniaque de l'ordre, qui écrivit l'alphabet de la chimie avec la classification périodique, explicitant ainsi les affinités chimiques. Le 6 mars 1869, il présente devant la société russe de chimie un projet de classification périodique à lignes et colonnes ; les symboles des éléments chimiques s'inscrivent sur une ligne en fonction de leur masse, allant à la ligne afin que les éléments ayant des propriétés chimiques similaires se retrouvent en colonnes. Il laissait des cases vides pour les éléments non encore connus à l'époque, qui furent remplies par la suite. La réactivité chimique n'était plus empirique mais entrainait dans la logique déterministe.

Suivant cette même idée, Claude Bernard, considéré comme le fondateur de la physiologie moderne, dit dans son célèbre ouvrage de 1865 « Introduction à l'étude de la médecine expérimentale » :

Le raisonnement est toujours le même, aussi bien dans les sciences qui étudient les êtres vivants que dans celles qui s'occupent des corps bruts. Mais, dans chaque genre de science, les phénomènes varient et présentent une complexité et des difficultés d'investigation qui leur sont propres. C'est ce qui fait que les principes de l'expérimentation sont incomparablement plus difficiles à appliquer à la médecine et aux phénomènes des corps vivants qu'à la physique et aux phénomènes des corps bruts ...



A la fin du XIXe siècle, la démarche scientifique déterministe était un outil qui fascinait, il permettait de prévoir, et comme l'exprimait Bergson dans son ouvrage *l'évolution créative* publié en 1907 « savoir c'est prévoir pour agir ».

Mais, au début du XXe siècle, afin de répondre à des questions où la physique classique échouait, émergea le champ extraordinaire et jusqu'alors inexploré de la mécanique quantique. Son aspect probabiliste et le principe d'incertitude d'Heisenberg, exprimant que l'on ne peut pas connaître exactement et simultanément la vitesse et la position d'une particule quantique, sema le doute dans la démarche scientifique déterministe utilisée jusqu'alors.

L'idée des théories probabilistes était cependant ancienne. Elle vient des jeux de hasard. L'exemple considéré par le mathématicien italien, le moine franciscain Luca Pacioli en 1494 est le suivant : une brigade joue à la paume. La partie se joue en 60 points, et chaque coup vaut 10 points. L'enjeu est de 10 ducats. Un incident survient qui force les soldats à interrompre la partie commencée, alors que le premier camp a gagné 50 points et le second 20. Quelle part de l'enjeu revient à chaque camp ? Doit-elle être répartie proportionnellement aux gains ? Proportionnellement aux pertes ? Ou bien doit-elle s'appuyer sur un raisonnement mathématique ? C'est Pascal, qui un siècle et demi plus tard, donnera la solution. C'est Christiaan Huygens qui, en 1667, écrit le premier traité des probabilités.

De nos jours, les probabilités constituent un champ entier des mathématiques, basées autour d'un langage qui leur est propre. Elles sont l'outil indispensable dès lors qu'une des variables de l'expérience présente un caractère aléatoire. Mais si l'on peut prévoir avec certitude l'ensemble des résultats possibles avant l'expérience, comme dans le cas simple du joueur de dés par exemple, l'unicité de la solution n'est révélée que lorsque la mesure est faite.

La théorie des jeux initialement développée par les mathématiciens a été enrichie par les économistes en représentant les stratégies des différents acteurs en interdépendance. Les travaux de Jean Tirole, le très récent prix Nobel d'économie s'appuient sur ce concept.



Le raisonnement probabiliste n'est pas moins rigoureux, et tout aussi utile que le raisonnement déterministe, la difficulté vient du fait que l'on peut beaucoup plus facilement y faire entrer la subjectivité et que certains confondent alors doute et probabilité.

La compréhension des systèmes complexes présente une autre difficulté. Contrairement à ce que préconisait Descartes dans le *Discours de la méthode* : « **conduire par ordre mes pensées en commençant par les objets les plus simples, et les plus aisés à connaître, pour monter peu à peu comme par degrés jusques à la connaissance des plus composés** », dans un système complexe le tout n'est pas la somme des parties, et la connaissance des parties n'est souvent pas suffisante pour connaître les propriétés du tout, elle n'est même parfois pas nécessaire. Les systèmes complexes font souvent émerger de nouvelles propriétés comme les effets collectifs. Chez les systèmes inertes, comme les systèmes vivants, la complexité perce par étapes. Il faut, par exemple, moins d'une dizaine d'atomes métalliques pour que se construise la résonance collective des électrons qui domine toutes les excitations individuelles et conduit à la conductivité des métaux. Les cellules du muscle cardiaque mises en culture dans une boîte de Pétri se ne se contractent d'une manière synchrone que lorsqu'elles dépassent la centaine. Les milliards de neurones qui composent notre cerveau, et qui n'ont individuellement aucune intelligence, en élaborent une en se couplant. A ce stade, prévoir les propriétés émergentes d'un système complexe à partir des propriétés moléculaires n'est sans doute plus adapté. Peut-être que nos amis chinois qui ont, de par leur langue, une pensée plus globalisée que les Occidentaux, pourraient apporter un nouvel éclairage à cette question.

Aujourd'hui la technologie du numérique nous fournit la possibilité de jongler avec d'impressionnantes masses de données, les méga-données ou les données massives dont il nous faut repenser le transfert, le stockage et le traitement si nous voulons en tirer du sens. Dans le Grand collisionneur de hadrons (LHC), des particules entrent en collision environ 600 millions de fois par seconde. Chaque collision produit des particules qui se décomposent souvent de façon très complexe en formant des particules plus nombreuses. C'est cependant en exploitant ces données avec des algorithmes informatiques spécifiques que fut mis en évidence le boson de Higgs, la particule élémentaire manquante au modèle standard. Les recherches en méta-génomique, c'est-à-dire l'ensemble des génomes présents dans un



environnement complexe, comme le microbiote intestinal, ces milliards de bactéries qui peuplent notre tube digestif, ne peuvent se faire sans le concours des informaticiens. C'est ainsi qu'est née la bio-informatique.

La démarche scientifique est ainsi un outil de la raison que l'homme construit pour accroître les connaissances, comme il façonne ses outils pour résoudre les problèmes techniques. Elle n'est donc pas figée. Cependant elle ne doit en aucun cas laisser place à un langage approximatif, pauvre et sans construction. Elle doit au contraire construire des langues riches et précises, afin de rendre la pensée humaine plus intelligible.

Mais la limite ultime de la démarche scientifique réside dans l'impossibilité de démontrer qu'une hypothèse n'existe pas. Galilée nous rappelle que la nature est écrite en langage mathématique. Le zéro est cependant un nombre à part. Son apparition fut longue et délicate suivant les civilisations qui n'ont pas toutes ressenti le besoin d'inventer un symbole pour représenter l'absence d'objets. Le zéro n'est pas mesurable. Si nous émettons une hypothèse qui n'existe pas, on peut passer un temps infini à ne pas en trouver l'existence. L'hypothèse de la génération spontanée émise par les grecs résista jusqu'à Pasteur qui avec ses expériences à col de cygne et sa découverte de la « pasteurisation » la fit tomber en désuétude. L'hypothèse de l'éther, substance uniforme qui remplirait tout l'espace et transmettrait les effets entre les corps, fut reprise au cours des siècles jusqu'à l'expérience de Michelson et Morley qui, avec une grande précision, n'a pu déceler aucun mouvement de la Terre par rapport à l'éther. En 1889, Poincaré écrivit, dans le sens de sa philosophie du conventionnalisme : « Peu nous importe que l'éther existe réellement, ce n'est là qu'une hypothèse commode, un jour viendra sans doute où l'éther sera rejeté comme inutile. » De nos jours la médiatisation de la science qui incite à rendre mystérieux ce qui n'est pas visible et à donner du corps à ce qui n'existe pas nous entraîne encore loin du rationnel. C'est le cas de ce que nous entendons autour de la mémoire de l'eau. L'eau, élément indispensable à la vie conserverait une empreinte des propriétés de certaines molécules qui ne font que la traverser. La formulation est certes poétique, mais à ce jour, aucune expérience reproductible n'a permis de conclure à la validité d'une telle hypothèse. C'est le temps l'arbitre de ce qui n'existe pas.



Devant une question qui se pose et à laquelle nous aimerions savoir répondre, deux chemins s'offrent à nous. La voie empirique qui puise dans l'ensemble des connaissances stockées dans notre mémoire et cherche par analogie la solution qui apparaît la plus appropriée, la voie rationnelle qui suit une théorie chiffrée et peut parfois conduire à une réponse contre intuitive. Cette dernière qui, avec de l'entraînement peut s'avérer rapide, est cependant plus lente que le mode empirique, ce qui fait dire à Olivier Houdé dans son dernier ouvrage qu'il faut « apprendre à résister ». Prendre le temps de raisonner, c'est ce qu'a suggéré le programme pédagogique porté par la fondation la main à la pâte qui, à la trilogie de Jules Ferry lire, écrire, compter, a ajouté raisonner.

Pour conclure, j'aimerais citer Diderot qui dans les pensées philosophiques dit ceci: « On croirait faire injure à la raison, si l'on disait un mot en faveur de ses rivales que sont les passions. Cependant il n'y a que les passions, et les grandes passions, qui puissent élever l'âme aux grandes choses. Sans elles, plus de sublime, soit dans les mœurs, soit dans les ouvrages; les beaux-arts retournent en enfance, et la vertu devient minutieuse." Et j'ajouterai que de nos jours il faut redonner à nos sociétés la passion d'apprendre, de comprendre et le plaisir de l'effort.

Catherine Bréchnignac

Coupole 14 octobre 2014