

Les sciences et l'expérimentation à la Renaissance

« – J'ay (respondit Gargantua) par longue et curieuse expérience inventé un moyen de me torcher le cul le plus seigneurial, le plus excellent, le plus expédient que jamais feut veu.

– Quel? dict Grandgousier.

– Comme vous le raconteray (dist Gargantua) présentement. Je me torchay une fois d'un cachelet de velours de une damoiselle, et le trouway bon, car la mollice de sa soye me causoit au fondement une volupté bien grande; puis une aultre fois d'un chaperon d'ycelles, et fut de mesmes; une aultre fois d'un cache col; une autre fois des aureillettes de satin cramoysey [...] Puis me torchay d'une poule, d'un coq, d'un poulet, de la peau d'un veau, d'un lièvre, d'un pigeon, d'un cormoran, d'un sac d'avocat, d'une barbote, d'une coiffé, d'un leurre. Mais, concluant, je dis et maintiens qu'il n'y a tel torchecul qu'un oyzon bien duveté, pourvu qu'on lui tienne la tête entre les jambes. »

Ce texte nous invite, dans les termes joyeux de la « gaie science » rabelaisienne, à questionner le statut de l'expérimentation à la Renaissance. Comprendre ce que Gargantua entend ici par « longue et curieuse expérience » ne va pas de soi. Dans la scolastique traditionnelle, l'expérience désigne un fait universel, considéré par tous comme vrai de par son évidence. Depuis Aristote, en effet, le vocable d'expérience désignait la reconnaissance d'une qualité des choses immédiatement accessible à chacun : je fais l'expérience que les corps pesant tombent vers le sol, je sais d'expérience que l'eau mouille, etc. Le terme latin correspondant à ce concept de « ce qui se passe dans le monde sans discussion possible » est celui d'*experientia*. Or la langue de Plin connaît un autre mot proche : *experimentum*, qui se traduit en français lui aussi par expérience (l'anglais, lui, distingue bien *experience* et *experiment*) mais qui ne revêt pas tout à fait le même sens. *Experimentum* renvoie en effet à une expérience singulière, réalisée par un ou plusieurs individus, avec ou sans

appareillage, dont la vérité mesurée doit pouvoir être répliquable. Ainsi, si je tire avec une couleuvrine un boulet de 20 livres avec toujours la même charge de poudre pour une élévation de la pièce qui sera toujours de trois points, dans des conditions météorologiques toujours identiques, l'expérience me dit que je devrais toujours obtenir une portée de 3074 pas (Alessandro Capobianco). L'*experimentum* détient la vertu de construire la vérité en s'appuyant sur un principe d'induction : les mêmes causes, déterminées à l'avance par l'observateur, doivent toujours produire les mêmes effets. Par des essais successifs, on peut donc déterminer par élimination le protocole menant à l'effet voulu (fût-il l'invention du meilleur des torche-culs !). Ce processus, selon Bacon, est légitime car, écrit-il, « les choses artificielles ne diffèrent pas des naturelles, ni leur forme, ni par leur essence » (*The Advancement of Learning*, I.496).

Pourtant, à la Renaissance, les deux notions d'*experientia* et d'*experimentum* commencent à entrer en conflit. Les ^{xv}^e et ^{xvi}^e siècles correspondent en effet à un moment historique où les expériences artificielles, appareillées par divers instruments de mesure, et destinées à augmenter le stock de connaissances techniques ou naturelles, se multiplient et où tout le monde n'est pas d'accord sur leur validité épistémologique.

La difficulté vient ici de ce que la philosophie aristotélicienne christianisée, celle qui était enseignée dans les universités, prétendait reposer d'abord sur l'*experientia* et rejetait globalement l'*experimentum* comme inapte à révéler la vraie nature du réel. L'art du mécanicien expérimentateur, pensent en effet de nombreux universitaires, ne parvient qu'à contrefaire la nature. Nombre d'entre eux, par exemple, considèrent que les observations faites par Galilée dans un instrument réalisé de main d'homme, ne revêtent aucune valeur scientifique. Léonard de Vinci lui-même, qui au début de sa carrière multiplie les modèles mécaniques pour éclaircir le fonctionnement du corps humain, comparant les os ainsi que leurs articulations à des leviers et des poulies et les muscles et les tendons à des courroies, finit vers 1500 par désespérer de la possibilité de connaître vraiment l'Homme¹. Thomas Hobbes formulera plus tard la même conviction pessimiste en expliquant que l'homme ne peut saisir que l'artificiel et que les voies de Dieu lui restent impénétrables. L'hypothèse selon laquelle les produits de l'art et ceux de la nature ne diffèrent pas fondamentalement n'était donc pas facilement acceptée.

C'est pourtant vers ce moment théorique que se dirigent peu à peu les savants de la Renaissance, et au tout début du ^{xvii}^e siècle, Galilée finit par démontrer sa loi de la chute des corps et même sa théorie sur l'origine des marées en construisant des appareillages, des machines, destinées à administrer la preuve de ce qu'il avance.

1. Cf. Domenico LAURENZA, « Léonard de Vinci, artiste et scientifique », *Pour la Science*, numéro spécial, mai-août 2000, n° 3.

Le présent article se propose d'offrir un éclairage sur l'acceptation progressive de l'expérience comme fondement des sciences au cours des xv^e et xvi^e siècles.

Expérience et observations: la puissance d'un savoir empirique cumulatif

Observe la branche inférieure du sureau qui pousse ses feuilles superposées, deux par deux, l'un croisant l'autre; si la tige monte vers le ciel, d'un jet droit, cet ordre est infaillible. Les grandes feuilles sont à la partie épaisse du tronc, les petites vers la partie mince, le faîte. Mais revenons à la branche inférieure: je dis que les feuilles qui se croisent par rapport à celles du rameau supérieur étant soumises à la loi qui commande aux feuilles de se présenter au ciel une partie de leur surface afin de recueillir la rosée nocturne²...

L'observation, comme le souligne Léonard dans de nombreux conseils prodigués à ses disciples, constitue un élément fondamental de l'*experientia*. Ceci n'est d'ailleurs pas absolument en contradiction avec l'enseignement d'Aristote, dont l'école avait procédé dès la période hellénistique à l'enregistrement systématique des éléments de la nature tels qu'elle les percevait (chez Dioscoride par exemple). À la Renaissance, cette absence de contradiction motive même certaines universités qui se dotent par exemple de jardins botaniques (Padoue, 1542), ou encore d'amphithéâtres de dissection (Padoue, Bologne, etc.). Toutefois, alors qu'au Moyen Âge, le savoir livresque avait eu tendance à se figer, la Renaissance mettait à la mode la lecture du grand livre de la nature. Les humanistes défendaient en effet l'idée que l'observation directe pourrait permettre de reconstruire le savoir perdu ou corrompu des Anciens, ou mieux encore, du savoir d'avant la Chute. Ce souhait se trouvait exprimé non seulement dès le xv^e siècle, mais se vit encore constamment réitéré jusqu'au xvii^e siècle. On le retrouve par exemple sous la plume de William Gilbert (1544-1603), auteur en 1600 d'un ouvrage sur le magnétisme qui se rebellait contre la tyrannie d'une tradition fautive³:

Des erreurs ont été colportées à l'étranger et acceptées (l'idée par exemple que l'aimant frotté d'ail ne fonctionne plus!) jusqu'à nos jours, diffusées dans les écrits de plusieurs auteurs qui, afin que leurs volumes prennent une épaisseur suffisante, écrivent et copient des choses qu'ils ne connaissent pas par expérience certaine.

L'injonction à accumuler l'expérience des choses mêmes toucha les domaines les plus variés. Dans celui de la zoologie et de la botanique,

2. LÉONARD DE VINCI Ms.G, 29r in *Les Carnets de Léonard de Vinci*, Gallimard, « Tel », 1987.

3. WILLIAM GILBERT, *De Magnete*, I, 1 translated by P. Fleury Mottelay, New York, Dover Publications Inc., 1958.

les déficiences de la tradition étaient d'autant plus manifestes que le monde fréquenté par les humanistes s'étendait bien au-delà de la Méditerranée de Dioscoride et de Pline⁴. Au départ, les savants ne désirent que restituer le savoir aristotélécien perdu, persuadés que l'homme moderne ne peut connaître plus que ce que les Anciens connaissaient. Une brèche est néanmoins ouverte dans cette certitude lorsque l'humaniste Ermalao Barbaro (1453-1493) recense 5 000 erreurs dans les textes latins classiques sur la botanique. L'Allemand Léonard Fuchs abonde dans son sens lorsqu'il enregistre, dans son *Histoire des Plantes* (1542), des plantes bien différentes des espèces méditerranéennes des maîtres du passé. Bientôt une multitude de plantes vernaculaires se trouvent enregistrées dans les herbiers du Belge Dodoens, du Français Jean Ruel ou de l'Anglais John Gerard, pour le plus grand intérêt de ceux qui cherchent des simples, c'est-à-dire des remèdes végétaux aux maladies. La flore et la faune des Amériques posent de plus nombreux problèmes encore. L'*Histoire des Indes* (1526) d'Oviedo y Valdes (1478-1577) décrit des plantes qui ne se trouvent pas chez les auteurs de l'Antiquité : l'arbre à caoutchouc, la pomme de terre du Pérou, le tabac, etc. Le jésuite Jose d'Acosta, dans son *Histoire naturelle et morale des Indes* (1590) qui décrit notamment la cochenille utilisée en teinture a le courage d'écrire que le témoignage des sens contredit ce que disent les Écritures, par exemple sur le climat à l'équateur ou l'existence des antipodes. Reste à établir une méthode pour observer correctement et à établir un langage scientifique adéquat et là, les avis divergent, même si l'inspiration est toujours antique⁵. Fuchs, par exemple, nomme et décrit toutes les parties de la plante, la forme de sa racine, la couleur et la forme de la fleur, évoque sa croissance et décrit son habitat, d'autres vont insister beaucoup plus sur les effets pharmaceutiques ou les qualités alimentaires du végétal, d'autres encore comme Andreas Cesalpino (1519-1603), vont mettre en avant des théories originales de classification reposant sur sa compréhension des principes de croissance. On peut tout à fait établir un parallèle entre ce qui se passe en botanique et ce qui se passe dans le domaine de la zoologie⁶. Là encore, en effet, l'observation fait exploser les cadres posés par les anciens. Dans l'*Histoire des Animaux* (1558), l'entreprise encyclopédique de Gessner se posant pour but de saisir la diversité des animaux et de les classer dans un ordre à la fois alphabétique et logique reprend les divisions et la méthode d'Aristote mais va plus loin : sous chaque nom d'animal, les divers noms

4. Sur ces questions de botaniques et de zoologie, voir Marie BOAS, *The Scientific Renaissance*, London, Fontana Books, 1962.

5. Marie Elisabeth BOUTROU, « Ne dites plus qu'elle est amarante : les problèmes de l'identification des plantes et de leurs noms dans la botanique de la Renaissance », *La Nouvelle Revue du xvr^e siècle*, 2002, n° 10/1, p. 47-64.

6. Laurent PINON, « L'impossible inventaire d'une nature inconnue », « Renaissance. Nouveaux mondes, nouvelles sciences », *Les Cahiers de Sciences et Vie*, n° 44, avril 1998, p. 90-94.

dans les diverses langues, la présentation de l'habitat, la description de l'illustration, les caractéristiques physiologiques, les maladies, les habitudes, les usages que l'on peut en faire, la diète de l'animal, les curiosités... Les collègues de Gessner, Rondelet qui écrit sur les animaux marins et Belon qui écrit sur les poissons et les oiseaux, font preuve de la même attention aux détails, même si dans certains cas, notamment lorsqu'ils n'ont pas vu les animaux eux-mêmes, ils se laissent aller à reprendre les descriptions des autres, quitte à dessiner des licornes ou des baleines cornues! Quand se pose, comme en botanique, le problème de l'inventaire d'une faune inconnue, toutefois, il devient de plus en plus difficile de garder le cadre aristotélicien : que faire des poissons volants, des jaguars, des bisons et des tatous? Que faire des animaux spécifiques à l'Amérique? Doit-on garder la méthode aristotélicienne de description? Pour Jean de Léry, auteur d'un *Voyage fait en terre de Brésil* (1578), Gonzalo Fernandez de Oviedo, auteur de la *Natural Historia de Las Indias* (1526) ou de Thomas Harriot auteur d'un *Discoveries of Guiana* (1596), l'expérience directe de l'autre monde débouche sur des interrogations que ne parvient pas à réduire la méthode consistant à projeter les nouveautés de la nature américaine sur les cadres de la connaissance européenne (appeler par exemple l'ananas pomme de pin comestible ou faire du jaguar une sorte de tigre arboricole n'est guère satisfaisant). La puissance subversive de l'observation est par ailleurs décuplée par l'existence des nouvelles technologies de communication. L'imprimerie contribua en effet à diffuser largement par le dessin, à l'identique, une expérience qui restait jusque-là souvent singulière. John Donne pouvait écrire à la fin du xvi^e siècle que « tout était en pièce, que toute cohérence [s'en était allée]⁷ ». Faute de place, on ne traitera pas ici de la question pourtant passionnante de l'observation en anatomie et en physiologie et l'on se contentera de souligner les incroyables progrès réalisés non seulement par Léonard de Vinci mais encore par les figures emblématiques de Fracastor, Eustachio, Servet, Vésale, Sylvius ou Harvey. Ajoutons que là encore, bien souvent, l'expérience finit par dynamiter certaines certitudes hippocratico-galléniques (en matière de circulation du sang notamment). En chirurgie, Ambroise Paré (1509-1590) rejeta certains remèdes de la médecine gallénique au nom de l'observation : le cautère par le feu ne fonctionnait pas et occasionnait trop souvent la mort du patient, l'amputation simple était acceptable dès lors qu'on limitait l'hémorragie par la ligature des vaisseaux. Ambroise Paré, il est vrai, se trouvait bien souvent face à des situations totalement inédites, ainsi les plaies d'arquebuses qui déchiraient ou écrasaient les chairs et les os nécessitaient des traitements innovants car on n'avait que rarement vu leurs semblables jusque-là.

7. « Tis all in pieces, all coherence gone » : John DONNE, *The Complete English Poems*, London, Penguin Classics, 1996.

Il faut par ailleurs insister sur un point très important : dans certains domaines, notamment en astronomie, en physique et en chimie, le potentiel subversif de l'expérience vient moins de la découverte de créatures ou d'éléments naturels nouveaux que de la précision nouvelle avec laquelle on est capable d'observer le monde et d'enregistrer les faits. Prenons pour commencer l'exemple de ce qui se passe en astronomie. La théorie aristotélico-ptolémaïque voulait que les « météores », étoiles filantes et autres comètes, les étoiles nouvelles (*novae*), appartiennent au monde sublunaire changeant. En effet, il était hors de question que ces phénomènes accidentels puissent altérer la perfection des sphères célestes supérieures réputées inaltérables et parfaites, animées d'un mouvement circulaire perpétuel. Or il se trouva que des astronomes qui travaillaient à l'établissement d'Éphémérides se mirent à opérer des calculs de parallaxe pour mesurer la distance de ces phénomènes par rapport à la terre. L'Italien Paolo dal Pozzo Toscanelli, puis l'allemand Regiomontanus (1436-1476), observèrent les comètes. Regiomontanus, dans son *Épitomé* de 1496, déclara que celle qui avait traversé le ciel en 1482 était certainement très proche des orbites des planètes... et donc (mais il ne l'écrivit pas) qu'Aristote avait tort ! Les instruments de plus en plus précis dont disposaient les observateurs (on pense par exemple au quadrant mural géant de Tycho Brahé à Uraniborg mais aussi aux magnifiques instruments de laiton que fabriquaient les artisans) permettaient que l'on soit de plus en plus affirmatif. L'apparition d'une nova dans Cassiopée en 1572 agita plus encore le milieu de ceux qui scrutaient le ciel. John Dee et son élève Thomas Digges utilisèrent la méthode de Regiomontanus pour identifier la position de la jeune étoile et conclurent dans leur *Paralliticae Praxis* qu'elle se trouvait « à une distance extrêmement lointaine ». La mesure était souvent affaire de praticiens, si chez les astronomes, elle répondait au départ à la demande de plus en plus pressante de tables d'Éphémérides ou de tables servant à la navigation, dans le domaine militaire, elle était par exemple au cœur des expériences d'artillerie. Ainsi le mathématicien Tartaglia procédait-il à Vérone à des essais mettant en œuvre des couleuvrines de Francesco Maria Della Rovere et notait-il qu'un boulet pesant 20 livres volait sur 200 pas pour une pièce tirant à l'horizontale, et sur 800 pas quand on élevait le canon à 45°. De semblables expériences étaient menées un peu partout, citons par exemple encore un essai de tir réalisé à Ibiza en 1564 sous le commandement du Gouverneur Antonio di Vich pour connaître la vitesse d'un boulet de canon. Cet essai se trouve rapporté dans un traité de Giusto Aquilone, un admirateur de Tartaglia qui, en 41 folios et de nombreux croquis, explique comment déterminer la trajectoire d'un projectile avec des demi-cercles, des lignes droites et le concours du savoir euclidien⁸.

8. Le texte de GIUSTO AQUILONE est conservé à la Bibliothèque nationale de Florence sous la cote *Ms Magliabecchiano XIX Codice VI*.

Ces travaux finissent par déboucher sur un questionnement de la physique aristotélécienne : peut-on sérieusement croire, au vu de ce que notent les artilleurs, que la trajectoire d'un boulet suit deux segments de droite correspondant au mouvement violent et au mouvement naturel de la chute ? Tartaglia et ses disciples en doutent et parfois l'écrivent explicitement. L'artillerie inspire également d'autres types d'expériences, par exemple sur l'ignition de la poudre. Ainsi peut-on découvrir dans les manuscrits mathématiques de Thomas Harriot une page sur la capacité d'un tas de poudre de quelques grains à allumer un autre tas de poudre distant de quelques dixièmes de pouce⁹.

Le caractère extrêmement performatif de l'expérience mesurée, dans les domaines pratiques allant de la pharmacopée à la balistique en passant par les techniques minières ou la chirurgie donne à la fin de la Renaissance toute sa force au projet baconien. Celui-ci consiste à rassembler de façon encyclopédique tous les savoirs du monde dans un endroit où leur conservation, leur augmentation et leur diffusion seront garanties par l'État :

L'excellente liqueur de la connaissance, qu'elle vienne d'en haut par l'inspiration ou qu'elle jaillisse de la capacité de sentir de l'homme, périrait bientôt en s'évanouissant dans l'oubli si elle n'était conservée dans des livres, des traditions orales, des entretiens, et dans des lieux tels que les universités, les collèges ou les écoles prévus pour la recueillir et la renforcer¹⁰.

Pour le chancelier de Jacques I^{er}, le savoir empirique présente l'avantage majeur d'être cumulatif et constitue la base du progrès de l'humanité. Il n'est cependant pas aisé de déterminer s'il valorise plus l'*experientia* dont il souhaite dans la *Nouvelle Atlantide* qu'elle soit collectée par des « marchands de Lumière » ou l'*experimentum* réalisé par les philosophes. En vérité, ce ne semble pas être le problème de Bacon, pourtant, à l'époque où il écrit, l'expérience construite avec appareillage et mesures fines a de plus en plus droit de cité au royaume de la démonstration. Le phénomène résulte de la collaboration de plus en plus fréquente des savants et des artisans, de la nouvelle collusion entre les arts majeurs et les arts mécaniques.

L'expérience dans l'atelier des artisans et des alchimistes

Rabelais conseillait, quand l'air était pluvieux, de s'en aller regarder comment on tirait les métaux, ou comment on fondait l'artillerie, ou voir les lapidaires, orfèvres et tailleurs de pierrerie, ou les alchimistes et monoyeurs,

9. Thomas HARRIOT, British Library, Ms 6789 Folio 86 verso :

*A grayne of powder 1/30,
It fyreth an other grayne lying 1/10 ynch of center from center,
The diameter of the sphere of fore: 1/30 + 1/10 - 1/60,
The semidiameter of the sphere is five : 1/10-1/60.*

10. Francis BACON, *Du progrès et de la promotion des savoirs*, Livre second, Londres, 1605, trad. de *The Advancement of Learning* par Michèle Le Doeuff, Gallimard, « Tel », 1991.

ou les hautelisseurs, les tissotiers, les velotiers, les horologiers, miralliers, imprimeurs, organistes, tinturiers et autres telles sortes d'ouvriers¹¹.

Ateliers et boutiques semblaient à ses yeux aussi utiles à la connaissance du monde, voire plus utiles encore, que les cours des maîtres de philosophie. Il est à peine paradoxal, en effet, d'affirmer qu'il se faisait finalement plus de science au sens où nous l'entendons aujourd'hui dans les ateliers des artisans de la Renaissance que dans certaines universités. Les contraintes de l'utilité forçaient en effet les praticiens des arts mécaniques à réitérer des « épreuves » afin de parvenir à des effets reproductibles.

Probablement, le goût du bel objet à fonction ostentatoire des sociétés aristocratiques et bourgeoises des xv^e et xvi^e siècles a-t-il encouragé l'innovation dans les domaines mécaniques, innovation qui passait par des essais plus ou moins fructueux. La lecture des *Discours admirables* du maître céramiste Bernard Palissy donne à voir les peines infinies auxquelles les maîtres-ès-arts du feu devaient se soumettre avant d'inventer un produit nouveau :

Mais encore en ce faisant je commettais une faute plus lourde que la susdite : car en mettant les pièces de mes épreuves dans le fourneau, je les arrangeais sans considération, de sorte que les matières eussent été les meilleures du monde & le feu le mieux à propos, il était impossible de rien faire de bon. Or m'étant ainsi abusé plusieurs fois, avec grand frais et labeurs, j'étais tous les jours à piler et broyer nouvelles matières et construire nouveaux fourneaux...

Palissy oppose le savoir établi à l'observation répétée du réel. L'idée que la percée dépend de l'acharnement à tenter tout ce qui est tentable à condition de faire preuve de méthode appartient bel et bien au monde de l'artisanat. Lui appartient aussi la conviction qu'il est possible d'éliminer les causes fortuites d'un phénomène en cernant peu à peu ses causes efficaces premières :

Et parce que je n'avais connaissance de la cause pourquoi mes épreuves ne s'étaient trouvées, je mettais (comme j'ai dit ci-dessus) le blâme sur les matières : derechef je faisais nombre de compositions nouvelles & les envoyai aux mêmes potiers, pour en user comme dessus : ainsi fis-je par plusieurs fois, toujours avec grands frais, perte de temps, confusion et tristesse¹².

Ainsi voit-on dans les *Discours Admirables* Palissy s'escrimer pour trouver la céramique de ses rêves en jouant sur les matières puis, comprenant que le four change tout, essayer de refabriquer chez lui le four des verriers auxquels il porte ses compositions. Les pages des *Discours Admirables*

11. François RABELAIS, *Gargantua*, chapitre XXIV, « Comment Gargantua employait le temps quand l'air était pluvieux », Gallimard, « Folio », p. 219.

12. Bernard PALISSY, « De l'art de Terre », *Discours Admirables : 1580*, Clermont-Ferrand, Éditions Paleo, p. 233.

sont ici fascinantes car elles montrent comment Palissy cherche à réduire les incertitudes mais se doit de collaborer avec les potiers-verriers qui en savent beaucoup plus que lui sur les tours de mains. Les problématiques de l'histoire sociale des sciences sur l'importance des savoirs tacites sont chez cet auteur exprimées de façon très explicite et démontrent que la notion d'expérience s'avère d'une infinie complexité dès lors que l'on entre dans le détail. Que vaut, en effet, une démonstration, si seules quelques mains habiles sont capables de la répliquer? Rien, à moins de présenter de façon rationnelle le tour de main lui-même!

Les artisans sont malgré tout capables d'un savoir cumulatif et parviennent à améliorer leurs produits. Ainsi, de 1480 à 1530, les verriers et émailleurs français observent-ils la dégradation des verres riches en potassium utilisés pour les émaux bleus, lie-de-vin et violet, et décident de n'utiliser que les verres stables sans salpêtre de leurs premiers émaux verts, bruns et jaunes. Ils obtiennent alors des œuvres éclatantes, fruits incontestables de l'expérience.

Cette technique de recherche des causes efficientes par élimination successive des causes accidentelles se retrouve chez les artilleurs. Ainsi les Anglais Thomas Digges et Thomas Harriot développent-ils dans leurs traités de balistique des réflexions sur les différents paramètres qui déterminent la portée d'un canon : les différentes sortes de poudre (granulométrie, humidité, etc.), la quantité de la charge, les différentes sortes de projectiles (jusque dans les inégalités de densité à l'intérieur d'un boulet), de pièces, d'alésage du fût, de hausse, la force du vent, l'assise de la pièce sur sa plate-forme de tir, l'inégalité des roues, le recul, etc.¹³. De telles réflexions témoignent de la naissance d'un esprit nouveau qui considère, à l'instar de Léonard de Vinci que :

Les Sciences qui commencent et finissent dans l'esprit n'ont pas de vérité, car, dans les discours purement abstraits, l'expérience n'intervient pas et sans expérience, rien ne donne par soi-même de certitude¹⁴.

À côté des pratiques des mécaniciens (verriers, artilleurs, etc.), il semble évident que la pratique ancienne de l'alchimie a également servi à calibrer des protocoles d'expérience, ainsi, la pensée magique n'a-t-elle pas toujours été contraire à l'épanouissement de la science. L'alchimie, telle qu'elle était colportée depuis l'antiquité dans les livres de secrets et transmise de maître à maître, reposait sur la recherche dans les corps terrestres et célestes de « signatures » démontrant les échos divins entre le macrocosme et le microcosme tout au long de la chaîne des êtres. En d'autres termes, on pensait que Dieu, afin d'aider les hommes, avait

13. Cf. Thomas HARRIOT, Ms 6780, fol3 v. et Thomas DIGGES, *Stratiticos* London, , Bynneman ed., 1579.

14. LÉONARD DE VINCI, cité par Paolo ROSSI, *La Naissance de la science moderne en Europe*, Le Seuil, 1999, p. 63.

laissé des correspondances entre les êtres : la forme, la couleur, ou même le nom d'une créature pouvait suggérer les relations qu'elle entretenait avec une autre (le plomb avec Saturne, le tournesol avec le soleil, etc.). L'alchimie était par ailleurs sous-tendue par une théorie de la création reposant sur l'existence d'éléments (terre, eau, air, feu) et de principes (sulfure, mercure, sel). On sait qu'avec le médecin allemand Paracelse et ses disciples, elle fut la clé de l'élaboration de médicaments chimiques réalisés à partir de métaux et de minéraux, elle servait aussi à déterminer des méthodes pour purifier les minerais. C'est la raison pour laquelle, par exemple, l'expédition de Frobisher à Terre Neuve dans les années 1580 embarqua plusieurs alchimistes capables de réaliser les opérations nécessaires pour extraire l'or ou l'argent du sol américain. Les méthodes alchimiques présentaient l'intérêt d'imposer une grande rigueur à ceux qui suivaient leurs préceptes. On le comprend par exemple dans le récit d'une expérience réalisée par le savant anglais Thomas Harriot en 1599. Ce dernier pratique l'exposition à la terre, à l'air, au feu et à l'eau d'un mélange de mercure, de sulfures et d'autres ingrédients. Il fait particulièrement attention aux quantités et aux mesures, utilisant des unités très précises : onces, drachmes, scrupules et grains. Il note ensuite dans des tableaux le nombre de fois où l'expérience a été répétée (jusqu'à quarante fois), la description de chaque étape, l'apparence espérée des diverses couleurs, leurs transformations, les opérations effectuées et enfin, leur chronométrage¹⁵. On pourrait presque reconnaître ici un laboratoire de physique moderne.

Dans ce cas précis, nous trouvons-nous dans l'*experientia* ou dans l'*experimentum*? Ce n'est peut-être pas très clair mais on voit bien qu'il y a glissement de l'un à l'autre puisque les alchimistes comme les artisans font l'hypothèse qu'un phénomène que l'on peut identifier et que l'on peut répéter produira toujours les mêmes effets, il ne s'agit plus d'une simple observation.

La construction de l'experimentum et ses problèmes

L'*experimentum* conquiert peu à peu ses lettres de noblesse grâce à sa puissance performative. Les savants du second xvi^e siècle lui font de plus en plus confiance pour asseoir leurs théories. Dans le *De Subtilitate* de Jérôme Cardan, par exemple, la formule « par plusieurs fois je l'ai expérimenté » fait figure de mantra mais aussi de critère de validation jugé imparable¹⁶. La fiabilité de l'*experimentum* repose aux yeux des

15. Cf. Stephen CLUCAS, « Thomas Harriot and the Field of Knowledge in the English Renaissance », *The 1994 Thomas Harriot Lecture*, Oxford, Oriel College, 1995.

16. Cf. Guillaume BERNARD, *La Physique mécanique dans le Traité de la Subtilité: Jérôme Cardan et l'art des machines*, mémoire de master II sous la direction de Pascal Briost, université de Tours,

« modernes » sur sa systématique et sur la possibilité de répliquabilité. Les expériences de Thomas Harriot en 1604 sur les poids volumiques des matériaux constituent une vérification autant qu'un approfondissement de ses lectures sur le sujet : le *Tractatu de Ponderibus et mensuris* du jésuite de Cordoue Joannes Baptista Villalpandus, le *De ponderibus metallorum* d'un certain Baptista et les expériences de François de Foix Candalle citées par Jean Bodin dans son *Théâtre de la nature universelle* de 1596 qu'Harriot admire tout particulièrement¹⁷.

Harriot n'est cependant pas le premier à avoir procédé ainsi, Léonard de Vinci, par exemple s'est livré à de nombreuses vérifications expérimentales des spéculations médiévales sur les poids, la nature de l'*impetus* ou de la percussion, en utilisant notamment, des balances, des plans inclinés et des arbalètes¹⁸. Si ses théories se présentent comme fondées en raison, il apparaît évident qu'elles sont en fait chez lui systématiquement vérifiées par des essais empiriques, par exemple sur la distance de tir d'un carreau ou encore sur l'enfoncement d'une pierre lâchée de diverses hauteurs dans le sol.

L'originalité de Léonard est toutefois d'avoir imaginé des systèmes expérimentaux de plus en plus complexes. Ainsi, voulant un jour prouver ses dires sur l'absence de compressibilité de l'eau, il propose la démarche suivante :

Ce qui ne saurait se produire pour les mouvements des objets dans l'eau (la compression du milieu devant l'objet qui se meut) laquelle n'est point compressible, comme on le prouve en la versant dans un verre à goulot étroit ; attendu que tout moyen d'action te faisant défaut, tu ne peux placer dans ce vase plus que ça contenance naturelle. Or c'est juste le contraire avec l'air ; si on l'introduit par force en des vaisseaux à orifice très étroit contenant une certaine quantité d'eau et que le vase soit incliné de façon que l'eau prisonnière se trouve entre le goulot et l'air comprimé... la puissance de l'air chassera l'eau du vase... (C.A. 108r).

Il va beaucoup plus loin encore lorsqu'il travaille à comprendre le fonctionnement du corps humain et tout particulièrement du cœur¹⁹. En effet, convaincu que le flux sanguin prend l'aspect de tourbillons complexes quand il passe dans la valve aortique, il se propose de construire un modèle en verre de l'organe cardiaque pour en observer le fonctionnement. Le point fort de cette anecdote est qu'elle prouve que Léonard

CESR, juin 2006. Voir aussi Kristian JENSEN, „Cardanus and his readers in the Sixteenth Century”, in *Girolamo Cardano Naturforscher*, Wiesbaden, Artz. Harassowitz Verlag, 1994.

17. British Library, ms. 6788 fol. 100 et 101 ; Sussex Iron 7775, Spanish Iron 7757 Collen Steele 7742, Spanish Steele 7785, Beaten Lead... 11 306...

18. On trouvera des notations sur les poids un peu partout dans l'œuvre de Léonard mais citons à titre d'exemple les pages 324 et 315 du Codex Atlantico sur la proportion de la force et du mouvement. Sur les balances, voir notamment le ms. E, fol. 57 à 80.

19. Ms RL 19083v et Codex de Windsor.

est persuadé que la machine peut imiter la nature corporelle, tout comme l'ornithoptère doit pouvoir imiter l'oiseau naturel. Cette croyance en un potentiel prométhéen de l'homme, en la puissance démiurgique de l'artifex artisan/ingénieur, n'aurait peut-être pas été du goût de tous les théologiens si Léonard l'avait publiée.

Sans entrer dans le débat théologique, il est possible d'apporter de l'eau au moulin des détracteurs de l'*experimentum* en faisant valoir que les constructions expérimentales mécaniques pouvaient poser parfois plus de problèmes qu'elles n'en résolvaient. Examinons pour cela le cas des maquettes auxquelles les ingénieurs se fient de plus en plus.

Les « modèles », au cours du xvi^e siècle, devenaient un instrument rhétorique des plus communs pour affirmer le pouvoir des sciences et des techniques. Les cabinets de curiosité s'emplissaient notamment de maquettes d'engins militaires destinés à convaincre les visiteurs de l'excellence de leur hôte en matière d'ingénierie. Les modèles de machines de Savorgnan, Comte de Belgrade, dans son château d'Osopo, revêtaient tout à fait cette fonction. Pigafetta, futur responsable d'un cabinet de machines pour les Médicis aux Offices les décrit en ces termes pittoresques :

On y trouve un cabinet de machines de guerre, d'engins pour soulever des poids, sur une douzaine de modèles différents, certaines pour tirer, d'autres pour soulever avec très peu de force des poids démesurés. Ainsi en est-il de cette machine avec une roue dentée et qui est capable de tirer cinq des canons de Votre Seigneurie, avec la seule puissance de Gradasso, votre nain. Et cette autre encore qui avec une simple once de force appliquée sur la manivelle, donne à qui la tourne la capacité de mettre en mouvement une masse de quatorze mille livres si bien que si l'on applique à la même manivelle la force qu'a communément un homme dans sa main, c'est-à-dire environ cinquante livres, elle peut développer la puissance, chose incroyable, de plus de huit millions de livres. Ces machines portables par une mule, et, pour certaines, par un homme seul, sont nécessaires pour diverses actions, essentiellement pour manipuler et mettre en place les poids extrêmes de l'artillerie²⁰.

Des cabinets de ce genre ne sont pas uniques : Contarini à Venise, les Médicis, Filippo Strozzi s'enorgueillissent de posséder des collections extraordinaires. La maquette permet d'emporter la conviction du public, éventuellement de stimuler son imagination par l'émerveillement et de démontrer la vérité des principes de la mécanique aristotélicienne, sans parler de la puissance symbolique qu'elle donne à des aristocrates militaires. Ainsi, Guidobaldo del Monte, dans son *Mechanicorum Liber* mentionne l'utilisation de petites machines en métal dont le but est de limiter les frottements, pour démontrer ce qu'il avance.

20. *Les mécaniques de l'illustrissime Sig. Guido Ubaldo de Marchesi del Monte dans lesquelles on trouvera la vraie doctrine de tous les instruments principaux pour mouvoir de grands poids avec de petites forces*, Venise, 1581, préface de Pigafetta.

Le modèle en petit, était utilisé sans doute au départ par les ingénieurs pour convaincre des commanditaires d'acheter leur invention, on le voit par exemple dans le cas des dépôts de patentes à Venise ou Florence au xv^e et au xvi^e siècle. Il s'agissait même d'une vieille habitude puisque déjà à Milan en 1400, on fabriquait une maquette de scie mécanique pour le marbre avant de signer le contrat de construction de la machine de chantier. Les inventeurs désireux d'obtenir un privilège présentaient souvent aux autorités une maquette fonctionnante de leur engin²¹. Peu à peu, dans le monde des ingénieurs, le modèle finit par devenir une sorte de paradigme : il constituait une sorte d'épure d'un principe physique et servait à rendre manifeste une « puissance » au sens aristotélicien du terme. La maquette a le même pouvoir performatif que l'expérience scientifique construite du xvi^e siècle.

C'est précisément ce rôle d'épure conceptuelle que lui fait jouer le médecin anglais William Gilbert lorsqu'il imagine des expérimentations sur le magnétisme pour mener à bien sa recherche théorique en proposant de réaliser avant toute chose une sphère aimantée :

Les nombreuses qualités démontrées par l'aimant, qualités jusqu'à aujourd'hui reconnues mais sur lesquelles on n'a pas suffisamment enquêté, doivent être tout d'abord désignées... Prend donc un aimant solide, de taille adéquate, uniforme, dur et sans défaut, sur un tour... donne à cet aimant la forme d'une boule. La pierre ainsi préparée est véritablement un pur produit de la terre et se trouve à présent de la même forme qu'elle, s'étant vu donner, par l'art, cette forme orbiculaire que la nature a donné à la terre-mère... pour trouver les pôles, alors, prend la pierre en main et place dessus une aiguille... (I, 3)

On se trouve là face à un raisonnement par analogie qui relève encore de la théorie des échos entre macrocosme et microcosme. La sphère d'aimant est à même de rendre compte du magnétisme terrestre car elle est issue de la terre, peu importe qu'elle ait été produite par l'art. Ce qui nous apparaît comme une absence de rigueur se justifie néanmoins très bien dans le cadre de la pensée Renaissance. Il se trouve que par ailleurs, malgré la faute logique, Gilbert va démontrer des principes tout à fait véridiques du magnétisme terrestre.

Le problème est celui de la capacité d'un modèle à rendre compte d'un phénomène en grand. Cette difficulté était déjà ressentie par certains qui doutaient que l'emploi de maquettes puisse prouver le fonctionnement d'une machine réelle. Déjà Philon d'Alexandrie et Vitruve avaient soulevé la difficulté : l'accroissement géométrique des dimensions d'une machine produisait des effets que les seules mathématiques ne permettaient pas de prévoir. Galilée dans son traité de mécanique reprend la

21. Marie DE MULLENHEIM, *Les Privilèges d'invention à Florence au xvi^e siècle*, mémoire de maîtrise sous la dir. de Pascal Brioist, université de Tours, CESR, juin 2003.

question et souligne le rôle des frottements et de la résistance des matériaux, des phénomènes déjà bien connus des mécaniciens et discutés notamment dans l'arsenal de Venise. C'est ce même Galilée, pourtant, qui va imaginer des dispositifs mécaniques afin de vérifier les lois physiques qu'il découvrit. En effet, pour lui, à partir du moment où l'on était capable d'envisager tous les phénomènes physiques à l'œuvre dans une expérience et d'éliminer tout ce qui était fortuit (les effets liés au frottement, mais aussi à la résistance de l'air ou encore à la capillarité), on pouvait modéliser le réel. Ceci présentait d'autant plus d'intérêt que le savant Florentin utilisait sa philosophie expérimentale pour divertir la cour des Médicis et qu'il organisait de véritables duels savants avec ses contradicteurs, par exemple sur la question de la flottabilité des objets²². Le musée d'histoire des sciences de Florence présente un bel instrument du ^{xvii}^e siècle destiné à rendre manifeste la fameuse théorie galiléenne de la chute des corps : un plan incliné sur lequel glisse une bille avec des clochettes que la bille peut faire sonner, installées tout au long de la pente selon des distances vérifiant la loi des carrés. L'accélération de la bille qui tombe produit des sons réguliers malgré l'accroissement des espaces parcourus. Ce dispositif décrit par Galilée, est d'autant plus intéressant qu'on ignore s'il fut construit du vivant du célèbre physicien. Il se peut qu'il ne se soit agi que d'une expérience de papier, question que l'on se pose aussi pour la machine décrite dans les *Mécaniques* destinée à modéliser le mouvement des marées²³. À la vérité, en l'absence de témoignages directs et en raison de la disparition de dispositifs très éphémères, il est bien difficile de déterminer si l'*experimentum* du ^{xvi}^e siècle était réel ou relevait plutôt de l'expérience de pensée. Les pages des codices de Léonard sur les frottements, sur les balances, sur les poulies ou sur les plans inclinés, revêtent des statuts très différents d'un dessin à l'autre et un regard attentif est nécessaire pour déterminer à quoi on a vraiment affaire. Si certains schémas de poulies ou d'engrenages ne représentent que des virtualités d'imagination, en revanche, certaines pages décrivent des essais qui eurent réellement lieu. Ainsi en va-t-il de l'expérience d'une aile battante dont Léonard voulut voir si elle était capable de soulever un poids de 200 livres : le test fut bel et bien réalisé dans la cour du château des Sforza à Milan²⁴ ! Le luxe de détails avec lequel est rapportée une expérience de Simon Stevin en 1586 dans un texte intitulé *Wheeghconst* (art de peser) ne permet pas non plus de douter de son exécution. On y

22. Cf. Mario BIAGIOLI, *Galileo Courtier, The Practice of Science in the Culture of Absolutism*, Chicago, Chicago University Press, 1993.

23. La machine en question fonctionne pourtant car elle a été reproduite par Pierre Souffrin, astronome de l'observatoire de Nice, et présentée en 2000 dans un séminaire du Centre Koyré. Néanmoins, la maquette posait un certain nombre de problèmes, par exemple, quel liquide utiliser pour modéliser à cette échelle la viscosité des océans ? On voit qu'ici, rien n'est aussi simple qu'il y paraît de prime abord.

24. LÉONARD DE VINCI, Institut de France, ms. B, fol. 88 v^o.

découvre le savant flamand aidé de Cornets de Groot, un bourgeois de Delft, faisant tomber deux boules de plomb sur un plancher depuis une hauteur de trente pieds. Le résultat de l'essai est que le plus lourd des deux projectiles, dont le rapport de poids était d'un à dix, toucha le sol en même temps que le premier²⁵. L'expérience de la tour de Pise est peut-être apocryphe, celle de Delft semble avoir été réelle. Au-delà de la surprise de voir l'expérience de Galilée réalisée vingt ans avant celle de Pise par un autre que Galilée, cette anecdote démontre que les attendus et les savoirs partagés des savants de la fin du xvi^e siècle faisaient bien de l'*experimentum* un protocole acceptable pour écrire les nouvelles lois de la physique, quitte à contredire Aristote.

Néanmoins, la compilation de faits expérimentaux appelée de ses vœux par Francis Bacon n'était pas du goût de tous, particulièrement lorsque le « fait de nature » était produit artificiellement par le labeur de l'Homme. Quelle confiance accorder en effet à des phénomènes qui ne deviennent observables que par le biais d'un appareillage complexe? Le tiers qui a construit l'appareillage ne force-t-il pas la nature hors de son cours naturel? C'est exactement le problème que rencontre Galilée lorsqu'un de ses collègues de Padoue refuse de regarder dans la fameuse lunette pour voir « par lui-même » les lunes de Jupiter. Le Professeur padouan n'est stupide dans son entêtement à conserver ses convictions ptolémaïques que si l'on ne comprend pas qu'il met en doute l'ontologie même de l'observation instrumentée lorsqu'il s'agit de regarder le ciel, domaine réputé divin²⁶. Ce n'est que peu à peu, au cours du xvi^e siècle, que l'*experimentum* dont on voit croître la fréquence à la Renaissance sera reconnue comme un moyen de décrire le monde, encore les choses n'iront-elles pas sans heurts comme le prouve l'affrontement violent entre Hobbes et Boyle dans les années 1660 à propos des « faits vrais » produits par la pompe à air de la Société Royale de Londres²⁷.

Un second problème méthodologique ne va pas manquer bientôt de se poser: comment valider les résultats d'une expérimentation de manière à ce que chacun la considère comme vraie sans avoir sans cesse à la reproduire? William Gilbert écrivait qu'il ne fallait admettre que « ce qui est tiré d'une histoire sérieuse et crédible et de narrations en lesquelles on pouvait avoir confiance », mais comment construire la confiance? Comment éliminer les racontars de bonnes-femmes, les élucubrations des navigateurs et des admirateurs de monstres? Comment discipliner l'expérience? Suffit-il, comme le pensait Cardan, de mettre

25. E. J. DIJKSTERHUIS, *Simon Stevin. Science in the Netherlands around 1600*, The Hague, Martinus Nijhoff, 1970.

26. Cf. STEVEN SHAPIN, *The Scientific Revolution*, Chicago, The University of Chicago Press, 1996, p. 72.

27. STEVEN SHAPIN et SIMON SCHAEFFER, *Le Leviathan et la pompe à air*, La Découverte, 1993.

en jeu sa parole de gentilhomme en disant « je l'ai expérimenté », ou faut-il aller plus loin et construire une technologie sociale de la conviction en impliquant un public bien né? C'est déjà ce que font Léonard de Vinci à Milan (expériences sur le vol), Tartaglia à Vérone avec Della Rovere (balistique) ou encore Galilée à Florence avec la cour de Toscane (astronomie, mécanique...). Rien, cependant, n'est encore systématique à la fin du xvi^e siècle : la rhétorique de la relation d'expérience permettant de répliquer cette dernière n'a pas encore été codifiée, la méthode critique pour exclure certains témoignages peu fiables n'a pas encore vraiment fait ses preuves et enfin l'idée de rassembler systématiquement des témoins pour valider une avancée ne s'est pas totalement imposée. Le laboratoire n'est donc clairement pas né à la Renaissance et il faut se garder des anachronismes, en revanche ses conditions de possibilité apparaissent bien dans le contexte des xv^e et xvi^e siècles à un moment où le monde s'ouvrait, où les mécaniciens réalisaient des merveilles et où les alchimistes mesuraient, pesaient et chronométraient.

Pascal BRIOIST

Pascal Brioist est maître de conférences au Centre d'études supérieures de la Renaissance de Tours. Il est notamment l'auteur d'un manuel de synthèse sur la Renaissance, d'un dossier de la Documentation Française sur le même thème et d'un ouvrage écrit en collaboration avec Hervé Drévilhon et Pierre Serna sur l'histoire de l'escrime (Croiser le fer, Champ Vallon, 2003). Ses travaux portent actuellement très généralement sur les sciences et les techniques à la Renaissance. Il est également conseiller scientifique du parc du Clos-Lucé d'Amboise.