

# Galilée et l'expérimentation

**Pierre Thuillier.** La recherche n° 143 - Avril 1983. [Extraits]

Galileo Galilei (1564-1642) est l'une des principales figures du panthéon scientifique de l'Occident. Non seulement il a apporté des contributions importantes à l'astronomie et à la physique, mais (si l'on en croit le Petit Larousse illustré) il doit être considéré comme « l'un des fondateurs de la méthode expérimentale ».

Cette idée est très répandue et ne manque pas de vraisemblance. Galilée, en effet, a lui-même décrit des expérimentations qu'il aurait réalisées. Mais certains historiens des sciences ont émis de très graves réserves. Selon eux, les expériences de Galilée n'ont joué qu'un rôle secondaire dans ses recherches. Ils vont même jusqu'à suggérer qu'il était impossible, avec les ressources techniques de l'époque d'expérimenter utilement.

D'autres historiens au contraire, estiment que la réputation de Galilée en ce domaine est méritée. Pour le prouver, ils ont répété ses expériences et étudié ses manuscrits inédits. En examinant principalement les travaux de Galilée sur le mouvement, on peut esquisser un bilan provisoire de cette controverse.

Quelle idée Galilée se faisait-il de la « méthode scientifique » ? Comment a-t-il construit ses propres théories ? Et plus spécialement, dans quelle mesure a-t-il recouru à l'expérimentation ?

## « Empiristes » et « rationalistes »

Ces questions, chez les historiens des sciences, font l'objet de multiples et âpres débats. Selon les uns, Galilée était un expérimentateur habile ; mieux encore, il mérite d'être considéré comme le véritable fondateur de la « méthode expérimentale » chère aux physiciens modernes. Selon les autres, il s'agit là d'un mythe. Galilée, déclarent-ils, travaillait à une époque où l'on ne disposait pas d'une instrumentation scientifique suffisamment précise. D'une part, il est très douteux que le grand physicien ait conçu la recherche scientifique de la même manière que nous : bien qu'il fasse souvent allusion à des « expériences », il ne leur accordait pas le même rôle que lui accordent les chercheurs modernes. D'autre part, même s'il l'avait voulu, Galilée aurait été incapable de réaliser des mesures assez fines pour être réellement significatives. Aujourd'hui encore, ces deux camps s'affrontent. En ce qui concerne les travaux de Galilée sur la chute des corps, par exemple, les discussions vont bon train. Les partisans d'un Galilée expérimentateur affirment qu'il a trouvé ses idées en manipulant des boules et des plans inclinés, animé par le constant souci de « dialoguer avec les faits ». Mais la réplique des opposants ne se fait pas attendre : si Galilée a formulé une bonne théorie du mouvement, c'est justement parce qu'il était avant tout un *théoricien*, capable de spéculer hardiment sur les phénomènes. La référence à « l'expérience », tout compte fait, n'a qu'un intérêt secondaire.

Les non-spécialistes ont parfois du mal à voir l'enjeu de ces discussions. Et pourtant, du point de vue culturel et épistémologique, cet enjeu n'est pas négligeable : ce qui est en question, c'est une certaine « image de la science », une certaine manière d'interpréter le travail scientifique. De façon simplifiée, on peut dire que deux grandes traditions s'affrontent depuis plusieurs siècles dans la culture occidentale. Les « empiristes » d'un côté, valorisent au maximum l'expérience comme source de connaissance ; tandis que les « rationalistes », eux, insistent sur les pouvoirs de l'intellect, du raisonnement pur. Ces conflits sont d'ordre théorique, d'ordre philosophique. Mais ils ne sont pas neutres sur le plan de l'idéologie. En arrière-plan, il est aisément de repérer une opposition très ancienne qui remonte au moins jusqu'aux Grecs du IV<sup>e</sup> siècle av. J.-C. A savoir l'opposition entre le *travail manuel* et le *travail intellectuel*, entre la *pratique* et la *théorie*. Le problème de l'expérimentation, si l'on peut dire, a une évidente dimension symbolique. Ainsi s'explique la violence de certaines controverses au sujet de celui qui est généralement considéré comme le père fondateur de la physique moderne. Chaque historien ou chaque épistémologue tient à ce que le cas Galilée illustre et confirme sa propre conception de « la science », de « la raison » et de « l'expérience »...

[...]

## Galilée expérimentateur : boule et plan incliné

Considérons, par exemple, les recherches de Galilée sur « le mouvement naturellement accéléré » telles qu'elles sont décrites dans ses *Discours concernant deux sciences nouvelles* (1638). Cet ouvrage, comme on sait, se présente sous la forme d'un dialogue entre trois personnages : Simplicio (qui incarne la philosophie traditionnelle héritée en particulier d'Aristote), Sagredo (qui joue le rôle d'un « honnête homme » curieux et ouvert) et enfin Salviati (qui sert de porte-parole à Galilée lui-même). Dans la « troisième journée », il est question de la chute libre. Salviati explique que, pour l'instant, il serait assez stérile de « rechercher la cause de l'accélération du mouvement naturel ». Le but de notre auteur (c'est-à-dire de Galilée) est « seulement de nous faire comprendre qu'il a voulu découvrir et démontrer quelques propriétés d'un mouvement accéléré (quelle que soit la cause de son accélération), ou la

grandeur de la vitesse croît le plus simplement possible en proportion même du temps et ou (car cela revient au même) en des temps égaux ont lieu des additions égales de la vitesse ». Ce qui est fondamental, dans cette définition, c'est l'idée que la vitesse est proportionnelle au temps écoulé depuis le début du mouvement.

Galilée lui-même, en effet, a longtemps cru que la vitesse du mouvement uniformément accéléré était proportionnelle à l'espace parcouru. Aussi ce point est-il fortement souligné : il est faux que la vitesse croisse comme l'espace ». A partir de là, il est possible de démontrer quelques « propositions » fondamentales (ou « théorèmes »). La seconde de ces propositions s'énonce ainsi : « Si un mobile, partant du repos, tombe avec un mouvement uniformément accéléré, les espaces parcourus en des temps quelconques par ce même mobile sont entre eux en raison double des temps, c'est-à-dire comme les carrés de ces mêmes temps. Dans la physique d'aujourd'hui, cette loi est en général exprimée sous la forme d'une fonction :  $s = \frac{1}{2} gt^2$  (où  $g$  représente l'accélération). Mais Galilée n'utilise pas ce langage, il se contente de comparer des rapports : les espaces parcourus sont entre eux comme les carrés des temps (nous écririons aujourd'hui :  $s_1/s_2 = t_1^2/t_2^2$ ). A la suite de quoi il démontre un corollaire remarquable : les espaces successifs parcourus en des temps égaux sont entre eux « comme la série des nombres impairs ». Si le mobile parcourt une unité de longueur pendant la première unité de temps, il parcourra trois unités de longueur pendant la deuxième unité de temps, cinq unités pendant la troisième unité de temps, etc.

### Des mesures précises étaient-elles possibles ?

Cette expérimentation, à première vue, est très convaincante. Et très ingénieuse, puisque Galilée, pour commencer, a eu l'habileté de transposer le problème de la chute libre proprement dite en un problème plus facile à traiter expérimentalement : celui d'une boule roulant sur un plan incliné. Le dispositif est décrit assez minutieusement : Galilée en particulier, indique qu'il a revêtu le « canal » d'une feuille de parchemin. Pour mesurer le temps, il utilisait « un grand seau rempli d'eau ». Celle-ci s'écoulait par un orifice percé dans le fond et était ensuite pesée « à l'aide d'une balance très sensible ». En comparant les quantités d'eau recueillies, il était possible de déterminer « les différences et proportions entre les temps ». De façon tout à fait méthodique, en faisant varier les distances parcourues et les inclinaisons du plan, des données multiples étaient accumulées. Galilée, si on l'en croit, a répété sa manipulation au moins cent fois. N'a-t-on pas là l'archétype d'une expérimentation « moderne » ? Pendant longtemps, les historiens des sciences ont admis que le récit des *Discours sur deux sciences nouvelles* était vérifique et exact. Galilée en véritable symbole culturel, apparaissait donc comme le père fondateur de « la méthode expérimentale ». Ernst Mach et bien d'autres auteurs, avec plus ou moins d'insistance, soulignaient l'importance décisive du recours à l'expérience dans la genèse de la mécanique.

Mais, il y a une cinquantaine d'années, une réaction s'est dessinée. D'abord avec Paul Tannery puis avec Alexandre Koyré et ses Études galiléennes (1935-1939), l'idée se fit jour que Galilée, malgré les apparences, n'avait pas recouru à l'expérimentation autant qu'on l'avait cru. Bien sûr, on ne peut nier tout caractère expérimental à la science galiléenne : les références à « l'expérience » y sont assez fréquentes. Mais Alexandre Koyré, avec une vigueur toute particulière, émettait des doutes et des réserves sur l'intérêt et même sur la réalité des expérimentations de Galilée. Trop souvent, déclarait-il en substance, on a tendance à croire que ce grand physicien a découvert ses principaux schémas théoriques grâce à l'observation ou à l'expérience. Il aurait par exemple eu l'idée de l'isochronisme du pendule en contemplant le balancement d'un lustre ; ou encore il aurait confirmé que tous les « graves » tombaient en chute libre à la même vitesse en faisant tomber divers corps du haut de la tour de Pise. Légendes, affirmait Koyré. Concédons-le : « L'expérience seule peut nous fournir les données numériques sans lesquelles notre connaissance de la nature reste incomplète et imparfaite. » Et c'est aussi grâce à l'expérience que nous pouvons savoir « lesquels des moyens multiples, tous aptes à produire un certain effet, sont effectivement choisis par (la nature) dans un cas donné ». Mais historiquement, déclarait Koyré, il est clair que Galilée a fait des découvertes par une voie qui n'a rien d'empirique. Les fameuses expérimentations elles-mêmes ont été marginales, voire complètement inutiles. Si tant est qu'elles aient été effectivement réalisées...

Ainsi « l'assertion galiléenne de la chute de graves (...) ne repose, on s'en est bien rendu compte, que sur des raisonnements a priori et des expériences imaginaires. Jamais jusqu'ici, nous n'avons été mis en présence d'expérience réelle ». Mieux encore, le même historien tenait à revendiquer pour Galilée « la gloire et le mérite d'avoir su se passer d'expériences (nullement indispensables ainsi que le démontre le fait même d'avoir pu s'en passer), et pratiquement irréalisables avec les moyens expérimentaux à sa disposition. Examinant les expériences

concernant le plan incliné. Koyré constate que « l'exécution n'est pas à la hauteur de l'idée. Il est « rigoureusement impossible » que les résultats obtenus aient pu aussi exactement concorder avec les prévisions théoriques. Dans un article de 1953, la même idée est reprise : le dispositif destiné à l'étude du mouvement d'une boule de bronze était très rudimentaire. Et comment mesurer correctement le temps à l'aide d'un récipient laissant couler un filet d'eau ? « *Quelle accumulation de sources d'erreur et d'incertitude ! Il est évident que les expériences de Galilée sont complètement dénuées de valeur.* »

D'ailleurs, ajoute Koyré, les « savants » de l'époque ne s'y sont pas tous laissé prendre. Il cite le père Mersenne qui, dans son *Harmonie universelle*, écrivait ceci : « Je doute que le sieur Galilée ait fait les expériences des chutes sur le plan. » Descartes, de son côté, niait en bloc les expérimentations galiléennes. Bref, « toutes les expériences de Galilée, du moins toutes les expériences réelles et aboutissant à une mesure, et à un chiffre, ont été trouvées fausses par les contemporains. »

[...]

### **Un paradoxe : les résultats sont peut-être trop précis !**

Paradoxalement, c'est la qualité même de ces expérimentations qui pourrait paraître suspecte... Si on compare les distances calculées par Galilée et les distances qu'il a effectivement mesurées (expérience du feuillet 116), on constate que les écarts sont minimes [...]. Cela signifie que Galilée est (ou serait...) parvenu à une maîtrise expérimentale tout à fait remarquable. Est-ce vraisemblable ? Surtout si on admet, avec Alexandre Koyré, que l'instrumentation de l'époque était rudimentaire, un certain scepticisme devient légitime. Mais Galilée était un spécialiste des instruments de mesure (pensons à son « compas militaire »), qui était un peu, en ce temps, l'équivalent de la règle à calcul ou de la calculette...) ; et il travaillait en collaboration avec des artisans expérimentés. Peut-être ne faut-il pas se hâter de déclarer « rigoureusement impossibles » les expériences dont les feuillets 116 et 114 suggèrent la réalité.

[...]