

Article

« Galileo Galilei : de la précision à l'exactitude »

Heinz Weinmann

Études françaises, vol. 19, n° 2, 1983, p. 9-26.

Pour citer cet article, utiliser l'information suivante :

URI: <http://id.erudit.org/iderudit/036790ar>

DOI: 10.7202/036790ar

Note : les règles d'écriture des références bibliographiques peuvent varier selon les différents domaines du savoir.

Ce document est protégé par la loi sur le droit d'auteur. L'utilisation des services d'Érudit (y compris la reproduction) est assujettie à sa politique d'utilisation que vous pouvez consulter à l'URI <https://apropos.erudit.org/fr/usagers/politique-dutilisation/>

Érudit est un consortium interuniversitaire sans but lucratif composé de l'Université de Montréal, l'Université Laval et l'Université du Québec à Montréal. Il a pour mission la promotion et la valorisation de la recherche. Érudit offre des services d'édition numérique de documents scientifiques depuis 1998.

Pour communiquer avec les responsables d'Érudit : info@erudit.org

Galileo Galilei : de la précision à l'exactitude

HEINZ WEINMANN

E tanto è più esquisita una balancia da
Saggiatori, di una stadera filosofica¹

GALILÉE, *Il Saggiatore*

1. *Précisions sur la précision et l'exactitude*

Ce n'est pas un des moindres paradoxes des sciences dites exactes qu'elles ont «oublié» de définir les termes mêmes appelés à décrire la rigueur de leurs méthodes nouvelles : précision et exactitude. Certes, des historiens de la science comme Alexandre Koyré ont repéré les conditions dans lesquelles s'est opérée, à l'orée des temps modernes, cette mutation radicale qui fait passer les sciences de l'Antiquité et du Moyen Âge du règne de l'à-peu-près à l'univers de la précision des sciences exactes¹. «C'est à travers l'instrument de mesure que l'idée d'*exactitude* prend possession de ce monde, et que le monde de la *précision* en arrive à se substituer au monde de l'à-peu-près².»

L'homme de science, en arrachant l'instrument de mesure (lunettes d'approche, balances, horloges, etc.) à son ustensilité

1 A Koyré, *Études galiléennes*, Paris, 1966², *la Révolution astronomique*, Paris, 1961, et notamment «Du monde de l'à-peu-près à l'univers de précision», *Critique*, n° 28, repris dans *Études d'histoire de la pensée philosophique*, Gallimard, 1980, p 341-362, nous citons d'après la dernière source, dorénavant sous l'abréviation *Études*

2 A Koyré, *Études*, p 343, Je souligne Pour une analyse de la *précision* et de l'*exactitude* dans l'œuvre de Musil, voir notre «R Musil les aventures d'un vivisecteur entre la *précision* et l'*exactitude*», *Critique* 1, juin-juillet 1983

quotidienne pour lui assigner comme tâche la vérification des théories scientifiques, ouvre l'ère de la précision des sciences modernes. C'est donc leur nouvel usage scientifique qui transforme des outils, de facture artisanale, en instruments de précision et qui, du coup, modifie profondément leur structure. Un monde sépare, en effet, les lunettes d'approche inventées (au sens premier d'*inventre*) par un lunetier hollandais de celles de Galilée; la première montre à ressorts conçue par l'Allemand Peter Henlein de l'horloge à pendule d'un Huyghens ou d'un Robert Hooke. Les vrais inventeurs (au sens moderne du terme) du télescope et du chronomètre furent sans aucun doute des hommes de sciences. D'ailleurs, Galilée le savait assez, lui qui n'a que du mépris pour le «premier inventeur» du télescope, qui l'a trouvé par hasard (*inventre*), tandis que lui, l'a *cherché* par voie de raisonnement (*per via di discorso*)³. «Nous sommes certains que le Hollandais, premier inventeur du télescope, était un simple lunetier qui, en mariant des verres de plusieurs sortes, se trouva par hasard à regarder à travers deux verres à la fois, l'un convexe et l'autre concave, placés à distances différentes de l'œil⁴.»

Or, cette précision, cette exactitude, devenues l'apanage des sciences modernes, contraste avec le flou conceptuel, l'imprécision des termes dont l'historien des sciences se sert pour décrire ce nouvel univers d'exactitude. On ne sait par quel accord tacite précision et exactitude sont devenus des synonymes. Aussi, A. Koyré, pour ne parler que de lui, utilise-t-il indifféremment les deux termes⁵ sans que l'on sache précisément par quel cheminement, venus de domaines tout à fait hétérogènes, ils se sont rencontrés, pour finalement se confondre sémantiquement. C'est l'objet que nous nous sommes fixé dans ce travail : tenter de retracer la filiation et la dialectique qui s'opèrent dans l'œuvre galiléenne entre *précision* et *exactitude*. Nous verrons comment dès l'origine des «sciences exactes», cette filiation est déjà puissamment occultée.

Précis, *précision*, dérivés du latin *praecidere* : trancher, couper, abrégé, nous renvoient, comme tous les mots de cette famille tels *décisions*, et *concision*, aux objets effilés, couteaux, épées qui section-

3 *Il Saggiatore Le opere di Galileo Galilei*, Edizione Nazionale, Firenze, 1896, t. VI, p. 259

4 *L'Essayeur de Galilée*, traduction et introduction de Christiane Chauviré, Annales littéraires de l'Université de Besançon, 1979. Nos références au Saggiatore renvoient à cette traduction, dorénavant désignée par *L'Essayeur*

5 Voir note 2, le passage cité plus haut

ment, tranchent. *Praecisum*, le nom, résultat d'une telle coupe, désigne le morceau de viande coupé net, une «côtelette»⁶.

Précis, *précision* impliquent donc à l'origine un acte de violence, une boucherie très grossière qui sectionne des membres du corps, avec l'intention bien ferme de les endommager, de les démolir⁷. Or, c'est en passant par l'anatomie moderne, renaissante d'abord que la *précision* se «précise», c'est-à-dire en affinant sa coupe grâce au premier instrument de précision, le scalpel. Les grands anatomistes de la Renaissance, Léonard de Vinci, Giacomo Berengario da Carpi et notamment André Vésale, qui dissèquent de plus en plus finement avec des scalpels effilés les tissus subtils des artères et des nerfs, dépouillent progressivement la *précision* de sa première acception de coupe brutale, de mutilation. L'anatomie renaissante, bien avant la physique de Galilée, réhabilite la *précision* en faisant d'elle le moyen, le *seul* moyen de connaissance scientifique.

Sans aucun doute, l'œuvre d'André Vésale, plus que tout autre, nous renseigne sur ce processus de précision dans lequel s'est engagé l'anatomie depuis Léonard de Vinci⁸. Vésale, dans son *De Humani corporis fabrica* (1543), s'élève justement contre les «boucheries» des «barbitonseurs» et des «démonstrateurs» qui lacèrent aveuglément les cadavres humains parce que leur scalpel ne respecte pas la *fabrica* du corps humain, à la fois sa structure et son tissu complexe de veines et de nerfs⁹. Parlant de son expérience anatomique parisienne, il dit : «j'ai tenté une deuxième dissection (confiée traditionnellement aux barbitonseurs (tonsoribus), mon

6 Lewis-Short, *A Latin Dictionary*, Oxford, 1962

7 Le latin *praecidere* implique soit l'ablation brutale d'un membre du corps, ablation motivée par un acte d'hostilité «*linguam alicui praecidi*» Plaute, *Aulularia*, 2-2, 12, «*collegae sui praecidi caput jussit*», Cicéron, *Tusculanae disputationes*, 5-19, 55, soit la destruction pure et simple des membres en question «*praecide os tu illi*», Plaute, *Casina*, 2-6, 3

8 Pour une filiation possible entre Léonard de Vinci et André Vésale, John P. Arcieri, *Leonardo da Vinci and Andreas Vesalius in Anatomical Studies*, Alcmæon Editions, New York, 1965 Les références à la coupe *précise* ne manquent pas chez Léonard de Vinci «Pour avoir une connaissance parfaite, j'ai disséqué plus de dix corps humains, détruisant tous les autres membres, enlevant les parties les plus petites (minutissime particule) de la chair qui entoure ces veines», *The Notebooks of Leonardo da Vinci*, Jean-Paul Richter, texte original, trad anglaise, Dover Publications, 1970, p 107-108, ma traduction On le voit, la destruction toujours présente, est maintenant au service de la précision

9 *Fabrica*, à l'origine, lieu de construction, «la forge» et la structure finie, d'un bâtiment, par exemple Encore une fois, on passe d'une structure grossière (celle d'un bâtiment) à une structure fine, tissu du corps humain, qu'il s'agit de mettre à jour

but étant d'exposer les muscles de la main, et une dissection plus précise (*accuratori viscerum dissectione*) des viscères. À part huit muscles de l'abdomen, lacérés de façon ignoble sans que soit respecté leur ordre naturel (*turpiter, perversoque ordine laceratos*) personne ne m'a jamais montré un seul muscle, un seul os, et encore moins le réseau *exact* de nerfs, de veines, d'artères (*nervorum, venarum, arteriarum exactam seriem*)¹⁰.

La main de Vésale¹¹ s'empare du scalpel laissé jusque-là à des hommes vulgaires (*plebeios*) sans aucune instruction¹², qui coupent au hasard, mutilent, pour le muer en un instrument de précision. On le voit, le mépris de Vésale pour ces «barbitonseurs» n'a d'égale que celui de Galilée pour le lunetier hollandais qui a trouvé par hasard le télescope. Ce qui distingue Vésale et Galilée de ces artisans «vulgaires», cherchant au hasard, c'est la finalité qu'ils donnent à leur instrument, au service d'une «science», d'une rationalité. La coupe anatomique vésalienne est *précise* parce qu'elle suit *exactement*, quasi mathématiquement, comme l'affirme l'auteur de *de Humani corporis fabrica*, l'ordre (séries) des veines, des artères, inscrit dans le corps humain. Il s'agit donc de préciser à coups de scalpel, pour mettre à jour, cet ordre naturel sous-jacent, invisible à l'œil nu.

En faisant commencer *ex abrupto* la «phase instrumentale»¹³ et l'univers de précision des sciences exactes avec l'œuvre de Galilée, les historiens des sciences négligent l'apport décisif de l'anatomie moderne dans l'évolution du concept de *précision*. L'anatomie renaissante, cent ans avant Galilée, a déjà fait l'expérience inédite de la *précision* : en innovant l'idée de l'observation naïve, en dénonçant la brutalité aveugle des «démonstrateurs», elle exige l'intervention d'un instrument de précision¹⁴ qui donne à voir ce

10 Andreas Vesalius, *de Humani corporis fabrica*, Bâle, éd 1543, Praefacio, p 3, ma traduction

11 Vésale valorise beaucoup le travail de la main (*manus opera*) et reproche à la médecine du passé de l'avoir évité «comme la peste», op cit , p 2 La devise que Vésale donna dès 1540 aux étudiants de Bologne ne fut-elle pas «*Tangitis vos ipsi vestris manibus et his creditis*»?

12 *Ibid* , p 2

13 A Koyré, *Du monde clos à l'univers infini*, Paris, 1962 «On pourrait même dire que, avec l'invention de Galilée, non seulement l'astronomie, mais la science en tant que telle entra dans une nouvelle phase de son évolution, la phase que l'on pourrait qualifier d'instrumentale» p 93 Voir aussi M Dumas, *les Instruments scientifiques aux XVII^e et XVIII^e siècles*, Paris, 1953

14 Voir sur la façon dont Vésale introduit dans un traité d'anatomie la description des instruments de dissection et des techniques de dissection Georges Canguilhem, «L'Homme de Vésale dans le monde de Copernic 1543», in *Études d'histoire et de philosophie des sciences*, Vrin, 1970, p 32

qui autrement resterait caché, qui coupe une nouvelle visibilité dans les tissus du corps humain, comme le télescope se frayera un chemin dans les orbes de la voûte étoilée. Nouvelle observation instrumentale artificielle qui redistribue radicalement les rapports traditionnels de l'homme au monde, à la «réalité»¹⁵.

À première vue, rien ne rapproche les étymologies de *précis* et d'*exact*. En effet, le sens premier d'*exigere* est de chasser quelqu'un, d'expulser quelqu'un par la force d'une place occupée, d'une fonction¹⁶. Il s'agit donc d'une action physique violente qui n'hésite pas à utiliser des armes pour arriver à ses fins. Nous avons de la difficulté à imaginer l'origine de l'*exactitude* dans un coup de force. Pourtant, nous avons vu que la *précision*, elle aussi, se ressourçait dans la violence. Les sciences exactes ont bien su occulter la violence qui pourtant les fonde.

En effet, l'*exactitude* ne manquera pas de sublimer la force brutale des armes en passant par la sévérité calculatrice de l'*exactor*, du percepteur d'impôts. Ce dernier calcule *exactement* et *exige* implacablement (exaction) son compte jusqu'au dernier «sou». Ce qui caractérise spécifiquement l'*exactor* de l'époque romaine et le distingue des autres fonctions reliées à la perception d'impôts, notamment du *susceptor*¹⁷, c'est qu'il encaisse la dette d'impôt exclusivement en numéraire. La nature même du prélèvement de cet impôt en argent demandait des modes de calcul et surtout des modes de pesée plus sophistiqués que l'impôt en nature du *susceptor*. D'autant qu'il entrait dans les attributions de l'*exactor* de vérifier les titres d'or et d'argent. Il devait donc peser minutieusement, exactement, le numéraire en se référant à un étalon fixé à l'avance. Mais, malgré cette euphémisation de la force primitive d'*exigere* dans l'*exactio* et l'*exactor*, le sens premier d'*exigere* «expulser» reste omniprésent dans l'acte de perception puisque l'*exactor* est investi d'un pouvoir qui lui permet d'«expulser» l'argent du débiteur, par la force si nécessaire.

Même si la pesée minutieuse entre dans les attributions de l'*exactor*, c'est surtout l'idée du recouvrement forcé des impôts et la rigueur associée à l'acte de perception d'impôt, l'*exaction*, qui

15 Le cadre étroit de cette étude ne nous permet pas, comme nous l'avions prévu, d'analyser de plus près le «discours anatomique» de Léonard de Vinci jusqu'à Vésale, pour démontrer comment, progressivement, l'idée de *précision* s'y est imposée

16 «Tarquino exacto, Cicéron, De republica, 1-40, *ibid*, tum exacti in exsilium innocente», puis les innocents chassés, envoyés en exil

17 Le *susceptor* prélève uniquement des impôts en nature Voir là-dessus Paulys-Wyssowa, Real *encyklopadie art exactor*

donne son sens fort à l'*exactor*¹⁸ Sens qui s'avère être d'une telle force de rayonnement sémantique qu'il se communique aussitôt aux langues vernaculaires En effet, bien qu'«exact», «exactitude»¹⁹ n'apparaissent en français qu'au XVII^e siècle, ils connotent cette sévérité, cette rigueur extrême avec laquelle un créditeur fait respecter le recouvrement d'une dette Le Dom Juan de Molière, débiteur par excellence puisqu'il a emprunté à fonds perdus et au Ciel et à Monsieur Dimanche, a beau minimiser l'engagement à l'égard de son créditeur «Va, va le Ciel n'est pas si *exact* que tu penses» (Dom Juan, V, 4, je souligne), le Ciel, en la personne du Commandeur, implacablement, exigera son dû Sans aucun doute, le sens préscientifique d'*exact* prévaut encore dans ce passage de *Dom Juan* il s'agit moins d'une rigueur mathématique que d'une exigence découlant d'un rapport de force, de dépendance entre deux personnes *Exact* est ici synonyme de «strict», de «rigoureux» C'est seulement dans l'œuvre de Galilée, nous le verrons, que la proposition «le Ciel n'est pas si *exact*» aura sa résonance moderne

C'est donc Galilée qui, dès son *Sidereus Nuncius* (1610) avait donné son sens moderne, scientifique à *exact* L'*exactitude* devenue scientifique emploie les instruments de *precision* qui sont aussi *exacts* puisque obtenus par un calcul mathématique (*per via di discorso*) très rigoureux La *precision* passe nécessairement par l'*exactitude* L'interrelation des deux concepts est telle que déjà Galilée glisse facilement de l'un à l'autre La révolution galiléenne marque une réorientation de la *rigueur*, de l'*exigence* (*exactio*) au lieu de régir des rapports entre personnes (créditeur — débiteur, etc), la *rigueur* s'applique d'une part au mode de fabrication d'instruments de précision, d'autre part, à leur maniement

On pourrait être tenté de croire que Galilée ne fait que sortir de l'ombre, pour le mettre au service de la science, l'autre sens de l'*exactor*, resté latent la pesée minutieuse des titres d'or et d'argent Un de ses ouvrages ne s'intitule-t-il pas *Il Saggiatore* (1623) ? (L'essayeur) *Saggiatore*, *essayeur*, *essai*, dérivent du latin *exagium* qui signifie généralement un «acte de pesée»²⁰ Mais, dès l'époque constantine, son sens à la fois se rétrécit et se «précise», en désignant le poids standard 1/72 d'une livre (*sextula*, *solidus*) Pesée

18 *Exacteur*, «celui qui exige ce qui est dû» depuis le xv^e siècle Chez Furetière, «fonctionnaire qui fait payer plus que de droit»

19 Voir Walther v Wartburg, *Franzosisches etymologisches Wörterbuch*, Tübingen, 1949

20 Walde Hofmann, *Lateinisches etymologisches Wörterbuch*, Heidelberg, 1938

fine, infinitésimale, en effet. Pendant l'Antiquité et le Moyen Âge, deux professions détiennent le monopole de ces pesées fines qui nécessitent des balances très sensibles, le trébuchet : orfèvres et vérificateurs des titres d'or et d'argent. Justement, en italien, *saggiatore* est le préposé à l'essai des matières d'or et d'argent, fonction qui se maintient à Florence jusqu'au milieu du XVI^e siècle²¹.

Galilée est lui-même ce *Saggiatore* qui pèse *exactement* avec une balance de précision les arguments de son adversaire, le Père Grassi, à qui il reproche de s'être servi d'une balance très grossière (*stadera*). Ce concours de pesée dans lequel Galilée et Grassi sont engagés est, en fait, le premier concours d'exactitude d'une science devenue exacte. Certes, Galilée, à ce moment (1623), transfère la pesée (*exagium*) du domaine des *saggiatori* à celui de la science. Mais gardons-nous de conclure que les sciences exactes se sont constituées à cause de l'utilisation d'instruments de précision, mais plutôt à l'inverse, l'instrument de précision a trouvé sa raison d'être dans une science qui s'est voulue exacte. Car comme le suggère le *Saggiatore*, les balances de Galilée n'ont guère un degré de précision supérieur à celui des vérificateurs des titres d'or. Ce qui différencie donc essentiellement l'homme de science, Galilée, des artisans (*saggiatori*, orfèvres...), c'est qu'il a mis son art (*ars*, *techné*) au service non d'une science, mais de la science (*épistémè*)²². D'essayeur de titres d'or, il est devenu un essayeur scientifique, expérimentateur qui mesure les «titres» de la vérité du monde physique²³.

En effet, l'*exactitude* chez Galilée est un idéal mathématique qui, pour la première fois, trouve sa possibilité d'application, mieux, sa raison d'être, dans le monde sublunaire. Ce n'est donc pas chez les *saggiatori* que Galilée découvre cet idéal d'exactitude mathématique, mais dans les Cieux où il est inscrit depuis l'Antiquité grecque. Galilée a ramené cet idéal des cieux vers la terre. Assez paradoxalement, et de façon inattendue, le sort de

21 Carlo Battisti et Giovanni Alessio, *Dizionario etimologico Italiano*, Firenze, 1957

22 Pour certains historiens de la science, c'est cette rencontre d'une *techné* et d'une *épistémè* dans la personne des ingénieurs italiens qui a donné naissance à la science moderne. Voir Bertrand Gille, *les Ingénieurs de la Renaissance*, Seuil, «Points-Sciences», 1978, et notamment Edgar Zilsel, *Die sozialen Ursprünge der neuzeitlichen Wissenschaft*, Francfort, 1976

23 Sur Galilée et l'expérimentation scientifique, voir M. Clavelin, *la Philosophie naturelle de Galilée*, Paris, 1968

l'exactitude sur terre se joue dans le ciel en cet été de 1609²⁴ où Galilée braqua son télescope vers le ciel. Moment décisif qui nous fait assister, *in vivo*, à cette dialectique qui existe encore entre l'*exactitude* et la *précision*. Par une sorte de chassé-croisé, Galilée porte l'imprécision dans les cieux pour en descendre l'exactitude sur la terre. La précision des instruments et l'exactitude des sciences se jouent entre le télescope du *Sidereus Nuncius* et le trébuchet du *Saggiatore*. Suivons donc ces deux étapes galiléennes, où se décide le sort de la *précision* et de l'*exactitude* des sciences modernes.

2. De la précision des cieux à l'exactitude sur terre

Instrument de précision au sens premier du mot, le *perspicillum*, comme Galilée appelle le télescope dé-coupe, et redistribue autrement le savoir (*épistémè*) traditionnel sur le cosmos, l'idée même de science léguée par les Grecs et pétrifiée dans un aristotélisme qui a encore largement cours à l'époque galiléenne. Mais avant tout, ce regard instrumental hardi dans les cieux, affecte le lieu même qui garantissait l'exactitude mathématique.

Que l'on affirme comme Aristote que les mathématiques ont un «être abstrait» ou que l'on fasse des mathématiques comme Platon la science par excellence, dans les deux cas, les mathématiques, et partant l'exactitude, objet de la pensée, ne sauraient trouver leur application dans la réalité terrestre. En effet, cette dernière est le signe du mouvant, de l'imprécision, du «plus ou moins, de l'à-peu-près. [...] Il n'y a pas dans la nature de cercles, d'ellipses ou de lignes droites»²⁵. Un gouffre épistémologique profond isole le monde sublunaire des Cieux. Gouffre qui sépare la mécanique céleste de l'à-peu-près des mouvements et des générations terrestres. Seuls les corps célestes sont à la fois *précis* et *exacts* : d'une forme parfaitement sphérique, lisses, définis, découpés selon un ordre inchangeable, mus par un mouvement «naturel» (Aristote, *De Coelo*, 269a — 269b), soustraits à la génération et à la corruption (*De Coelo*, 280a — 290), les phénomènes célestes, contrairement à ceux de la terre, sont calculables, mathématisables. Aussi, la Grèce antique et le Moyen Âge ont-ils su concevoir une astronomie mathématique, une cinématique céleste, mais pas de physique mathématique. Le fameux «blocage» de la technologie grecque s'explique essentiellement par ce fossé épistémologique qui sépare les cieux de

24. Le télescope fut présenté le 25 août 1609 en la république de Venise.

25. A. Koyré, *Études...*, p. 342.

la terre²⁶. À quoi bon, en effet, fabriquer des machines et des instruments précis, si, au départ, la réalité à laquelle ils sont soumis, par essence, n'est pas exacte, c'est-à-dire n'est pas mathématisable ?

Or, le premier instrument de précision galiléen, le télescope²⁷ est aussi un instrument *exact* parce que fabriqué «*per via di discorsio*», par voie de calcul mathématique²⁸. Les lunettes, dès lors, cessèrent d'être l'*ingannator della vista*²⁹, trompe-l'œil, imposteur de la vision qu'elles ont été depuis le Moyen Âge. On dirait que si Galilée, d'emblée, a dédaigné l'utilisation terrestre de cet instrument, c'est que seul son usage céleste, l'observation des corps célestes, précis et exacts, pouvait sanctionner aussi son exactitude. «Il serait vain d'énumérer les multiples et grands avantages que cet instrument offre à la fois sur terre et sur mer, mais je me suis appliqué à l'observation des corps célestes»³⁰. Or, ce premier regard que Galilée jette dans le ciel avec le télescope lui fait voir que l'*exactitude* du Ciel n'est pas donnée *a priori*, une fois pour toutes. Elle se conquiert à partir de la terre, à l'aide d'instruments eux-mêmes exacts. Loin donc d'être garantie par les phénomènes célestes l'exactitude dépend aussi de l'exactitude de l'observation et des instruments d'observation. L'exactitude alors devient un *processus* qui met en interaction un faire, une *praxis* et une *science*, un calcul mathématique. Processus qui nécessite plusieurs «essais». Ces essais visent justement une plus grande exactitude du télescope : un instrument calculé et construit en fonction d'un coefficient d'agrandissement maximal.

En effet, le premier télescope laisse Galilée insatisfait parce qu'il ne montre pas les «objets assez grands et proches»³¹ (*objecta satis magna et propinqua intuitus sum*), les agrandissant trois fois seulement. «Après, je me suis construit un télescope *plus exact* (*alium postmodum exactionem mihi elaboravi*) qui agrandit les objets plus de

26 Pour une discussion récente de la question, voir Bertrand Gille, *les Mécaniciens grecs*, Seuil, 1980, chap 8 «Le blocage», M Finley, *l'Économie antique*, Paris, 1975

27 S Drake, «Galileo's first Telescope at Padua and Venice, *Isis*», septembre 1950, p 245-254 Drake, *Discoveries and Opinions of Galileo*, New York, 1957, Vasco Ronchi, *Galileo e il cannocchiale*, Udine, 1942

28 Les critiques qui pensent que les essais galiléens sont encore ceux d'un «vulgaire opticien» plutôt que d'un homme de science ne manquent pas Voir Ludovico Geymonat, *Galilée*, Paris, 1968 p 61-67

29 *Il Saggiatore*, op cit , p 257

30 *Sidereus Nuncius*, Edizione Nazionale, Firenze, 1892, t III, p 61 Ma traduction, comme pour toutes les références au *Sidereus Nuncius* qui suivent

31 *Sidereus Nuncius*, op cit , p 61

soixante fois»³². L'exactitude, on le voit, est le résultat d'un calcul mathématique dont dépend la précision de l'instrument qui fait voir nettement, en les découpant «précisément» les phénomènes célestes plongés jusque-là dans un flou imprécis³³ ou carrément invisibles. «D'abord, il est nécessaire qu'ils (ceux qui veulent observer les mêmes phénomènes) se construisent un télescope *très exact (ut sibi perspicillum patent exactissimum)* qui rend les objets clairement (*perlucida*), distinctement (*distincto*) et sans aucun obscurcissement, et qui les agrandit au moins quatre cents fois [...] : sans un tel instrument on tentera vainement de voir ce que j'ai perçu dans les cieux et ce que je raconterai plus loin»³⁴. Galilée ne cesse d'insister sur la très grande exactitude du *perspicillum*, prérequis indispensable qui seul permet aux autres «chercheurs» d'observer les mêmes objets célestes dans les mêmes conditions. Seul le même degré d'exactitude dans la fabrication et le calcul de l'instrument assure le succès, et donc, la répétabilité de l'essai galiléen. «Pour qu'ils (les astronomes qui voudraient reprendre les expériences galiléennes) n'entreprennent pas pour rien une telle recherche, je leur répète ma mise en garde qu'il faut un télescope *très exact (perspicillo exactissimo opus esse)* tel que je l'ai décrit au début de ce traité»³⁵.

Galilée emploie le terme *exact* là où nous préférierions parler de *précis*, de *précision*. En effet, il qualifie le télescope d'*exact*. L'exactitude pour le Galilée du *Sidereus Nuncius* est l'œuvre d'un *seul* instrument, le *perspicillum* qui rapproche, agrandit et, par là, précise les objets célestes. C'est là le mérite principal du *Sidereus Nuncius*, d'avoir suppléé à l'observation naturelle, à l'œil nu, par les observations instrumentales³⁶, et d'avoir fait d'elles la pierre de touche de la vérité du nouveau système copernicien dont Galilée se fait le défenseur zélé. Le témoignage des sens aiguisés par le *perspicillum* tranche (*praecidere*) irrévocablement des débats philosophiques livresques qui ont duré des siècles. «Ma troisième

32 *Sidereus Nuncius*, *op. cit.*, p. 61 Je souligne

33 On pense notamment à la découverte, par Galilée, de la vraie nature de la «voie lactée», composée d'une multitude d'étoiles *Sidereus Nuncius*, p. 78

34 *Ibid.*, p. 61 Je souligne

35 *Ibid.*, p. 80 Je souligne

36 *L'Essayeur*, p. 192 Dans ce passage de l'*Essayeur*, Galilée se moque de ses adversaires en les mettant en contradiction, démontrant par là leur manque flagrant d'exactitude. «L'un dit en effet, qu'ils ont mesuré les distances entre les étoiles avec la plus grande exactitude (*con ogni somma esattezza*) et l'autre s'excuse ingénument de n'avoir pu faire ces observations avec la précision nécessaire («esquisitezza») faute d'instruments aussi grands et exacts (*strumenti grandi e esati*) que ceux de Tycho»

observation concerne l'essence de la voie lactée, ou sa matière, qui grâce au télescope tombe si bien sous les sens que toutes les disputes que pendant des siècles entretenaient les philosophes, deviennent sans objet pour l'évidence des yeux (*ab oculata certitudine dirimantur*) et me dispense de disputations verbeuses³⁷.

Certes, le «message des étoiles», à l'image de la scolastique, n'est pas cueilli (*legere*), lu dans les livres des *auctores*, mais capté directement dans le ciel avec le télescope. Malgré tout, ce message des astres se fait dans la langue de la scolastique, en latin. Les étoiles galiléennes ne «parlent» pas encore le langage des sciences exactes : les mathématiques. En effet, Galilée s'excuse de n'avoir pu calculer, faute de temps, les orbites des «planètes Médicéennes»³⁸, avant de procéder à ces calculs. Galilée doit d'abord créer les conditions de la possibilité d'exactitude sur terre, ordre mesurable, calculable, ordre d'idéalités mathématiques, projeté depuis l'Antiquité dans les cieux. Il fallait donc prouver que ciel et terre sont substantiellement identiques, que la Lune est une autre Terre³⁹ et la Terre, une autre étoile. Le fossé épistémologique entre Ciel et Terre qui interdisait l'exactitude sur terre est maintenant comblé. Un ordre rationnel homogène traverse, embrasse le cosmos tout entier.

Si le *Sidereus Nuncius* est animé par le pathos du nouveau, de la découverte de ce que des yeux d'hommes n'avaient pas vu du «début du Monde jusqu'à présent»⁴⁰, Galilée a vite fait de réduire l'inconnu, le nouveau, au connu, au déjà vu. En effet, ce dernier à l'aide de son instrument de précision, dissèque sans ménagement les corps célestes pour les apparenter à l'aspect terrestre. Avec une joie sacrilège, il mutile (sens premier de *praecidere*) la perfection polie, la précision des astres. Les corps célestes, à commencer par la Lune sont enlaidis par des taches, troués, découpés de façon irrégulière par des anfractuosités. Le télescope d'un coup, démolit la précision des étoiles, le poli lisse de leur surface, leur exacte sphéricité, et y ensemence l'imprécision terrestre. «Ces taches n'ont été observées par personne avant moi. Par une observation fréquente de ces taches, j'en suis venu à la conclusion que la superficie de la Lune n'est pas polie (*perpolitam*), régulière (*aequabilem*), d'une sphéricité exacte (*exactissimae sphaericitas*) comme

37 *Sidereus Nuncius*, op cit , p 78.

38 «Quamvis illorum periodos numeris collique nondum detur», *ibid* , p 94

39 «Lunam scilicet esse quasi Tellurem alteram», *ibid* , p. 65

40. *Ibid.*, p 79

une grande armée de philosophes l'a cru de la lune et des autres corps célestes. Mais, ces derniers sont, au contraire, inégaux (*inaequalem*), plein d'aspérités (*asperam*), couverts de creux et d'excroissances, ressemblant en cela au visage de la Terre qui, par les hauteurs des montagnes et les profondeurs des vallées, est constituée de formes irrégulières»⁴¹.

On le voit, la précision (découpe nette) et l'exactitude (perfection idéale, mathématique de ses formes) des astres ne vont pas nécessairement de pair. S'il y a une régularité, une exactitude sur les astres, elle doit être débusquée derrière l'irrégularité des apparences. Or, les astres ont la même apparence que la Terre. Le calcul des régularités mathématiques doit donc être aussi possible sur Terre, puisque Ciel et Terre sont de même conformation. Le tabou millénaire qui voulait que seuls les cieus soient exacts est donc levé. Galilée, Dom Juan scientifique, vérifie d'avance les propos de ce dernier. Le ciel n'est pas si exact...

Mais, ne nous laissons pas tromper par ce regard galiléen levé vers les astres. Galilée n'est pas un astronome par vocation comme Kepler⁴². Car, en braquant son télescope vers les corps étoilés, il découvre certes des astres nouveaux, les satellites de Saturne, mais il aperçoit surtout une nouvelle terre, une terre qui a cessé d'être un «cloaque de saleté, la lie du monde»⁴³. C'est là le sens profond de la «révolution galiléenne». Si Copernic a mis en révolution la Terre, Galilée l'a «stellarisée». En même temps que le télescope galiléen couvre les astres d'excroissances, qu'il les abaisse, les tellurise, il embellit, sublime, élève la Terre pour l'insérer dans le «cercle des astres»⁴⁴, lui donner un éclat qui dépasse celui de la Lune⁴⁵.

Par un retour inattendu des choses, Galilée ne fait que projeter la Terre là où les Grecs placèrent le règne de la Beauté et des idéalités mathématiques⁴⁶. La charge galiléenne violente contre la beauté parfaite des astres n'est finalement que l'envers de son désir de faire accéder la Terre à leur statut : celui de leurs exactitudes mathématisables. On sait que Galilée a formulé, dès

41 «Lunam scilicet esse quasi Tellurem alteram», *ibid*, p. 62 Je souligne

42 Voir à ce propos la réponse de Kepler au *Sidereus Nuncius*, *Joannis Kepleri dissertatio cum Nuncio Sidereo*, Edizione Nazionale, *op. cit.*, t. III, p. 97-125

43 *Sidereus Nuncius*, *op. cit.*, p. 75

44 *Ibid*, p. 75

45 «Lunam splendori superantem», *ibid*, p. 75

46 Sur le rapport entre la Beauté et les sciences exactes, voir W. Heisenberg, *Gesammelte Reden und Aufsätze*, Piper, 1977⁴, p. 208-305. Pour le platonisme galiléen, voir A. Koyré, *Études*, *op. cit.*, p. 214

1604, la loi de la chute des corps, donc mathématisé, pour la première fois, le mouvement, et fondé par là la physique dynamique moderne. Mais c'est seulement ce regard *précis* du *perspicillum* dans le ciel dont nous parle le *Sidereus Nuncius* qui, après coup, a donné à cette physique son fondement épistémologique. Chez Galilée, l'astronomie céleste est au service de la physique terrestre. En projetant la Terre dans l'univers, en faisant d'elle une partie intégrante, homogène, de l'Univers, Galilée en même temps universalise l'exactitude, c'est-à-dire crée un univers mathématisable.

3. *La conquête de l'exactitude : les chiffres contre les lettres*

C'est cette étape épistémologique décisive que Galilée franchit dans son *Il Saggiatore*, en 1623. En témoigne le changement sémantique que subissent *esatto*, *esatezza*. D'abord, Galilée a abandonné le langage de la scolastique pour utiliser le langage vernaculaire. Il introduit le sens moderne d'*exact* et d'*exactitude* dans nos langues vulgaires. Galilée «vulgarisateur» du mot et de la chose «*exactitude*»; Galilée vulgarisateur des «sciences exactes».

Pourtant, à première vue, on dirait que l'italien *esato* du *Saggiatore* s'inscrit dans le même champ sémantique que le latin *exactum* du *Sidereus Nuncius*. Le télescope y est dit exact. *Exactum* dans le *Sidereus Nuncius* connote, nous l'avons vu, l'effet de rapprochement et d'agrandissement produit par l'instrument de précision. L'instrument *exact* arrache à la nature ce que naturellement, vue à l'œil nu, elle ne laisserait pas voir. Le premier sens d'*exigere* (expulser, déloger) ne s'est pas complètement estompé. Le télescope galiléen déloge les astres, en les rapprochant de l'observateur.

Le *Saggiatore*, après son échappée céleste, ramène l'*exactitude* à son origine numismatique : celle des pesées fines, «exigeantes» que l'essayeur fait subir aux titres d'or. Régression plutôt que progrès par rapport au *Sidereus Nuncius* ? Au cours de la guerre des balances que Galilée et Orazio Grassi, caché sous le pseudonyme de Lottario Sarsi⁴⁷ se livrent, Galilée reproche à son adversaire de s'être servi d'une balance trop grossière pour peser les arguments de M. Guiducci, c'est-à-dire ses propres arguments. «Comme il m'a paru

47 La *Libra astronomica ac philosophica*, 1619, est la réponse d'Orazio Grassi (qui adopte le pseudonyme de Sarsi), au *Discours des Comètes* prononcé par Mario Guiducci devant l'Académie florentine, discours largement rédigé par Galilée. L'*Essayeur*, à son tour, est la réplique galiléenne à la *Libra* d'Orazio Grassi. Galilée y examine, soupèse, un à un, les arguments avancés par Grassi.

se servir d'une balance un peu trop grossière (*una stadera un poco troppo grossa*), j'ai voulu, pour ma part, user d'une de ces balances d'essayeurs (*balancia da saggiatori*) si exacte qu'elles sont sensibles à moins d'un soixantième de grain (*que sono cossi esatte che tirano a meno d'un sessantesimo di grano*)⁴⁸. *Esatto* n'a-t-il pas le sens de *précis*, puisqu'il renvoie à la finesse, à la sensibilité de l'instrument de mesure ? Mais force nous est de reconnaître que la précision de la balance galiléenne est telle qu'elle dépasse les possibilités de sa réalisation. En effet, la «balance d'essayeur» de Galilée est une balance fictive, imaginaire. Galilée dit avoir intitulé son livre *Il Saggiatore* pour sacrifier à la même métaphore (*metafora*) élue par Sarsi⁴⁹. Or, la balance astronomique et philosophique est née sous l'effet d'un «jeu de mots» (*scherzo*), d'un transfert, d'une métaphore poétique, gratuite, trouvée au hasard, comme le lunetier hollandais avait «inventé» son télescope : la comète qu'il se propose de décrire est apparue sous le signe de la balance. «Je remarque que Sarsi, à la première occasion, se met à accommoder les choses à sa guise avec la plus grande assurance [...] Il avait eu l'idée de ce jeu de mots (*scherzo*) sur la correspondance entre sa *Balance* et la balance céleste et, comme il lui semblait que sa métaphore serait astucieusement servie par l'apparition de la comète sous le signe de la Balance, il s'est permis de dire qu'elle était née en ce lieu, sans craindre d'aller à l'encontre de la *vérité* (*non curando di contraddire alla verità*)»⁵⁰. La balance de Sarsi est imprécise certes, mais ce qui est plus grave, elle est aussi inexacte, détraquée, fautive⁵¹ parce qu'elle «met en balance», métaphorise des phénomènes qui n'ont aucun rapport rationnel : la position de la comète et de la constellation astrologique dans laquelle elle apparaît. Pourtant l'incongruité de cette métaphorisation pour l'observateur moderne n'est que trop évidente. Outre que l'on ne saurait déterminer exactement la position d'une comète à l'aide d'une balance, la Balance (signe astrologique) est elle-même une métaphore qui n'a rien à voir avec l'acte de peser.

On reprochera à Galilée d'être tombé lui-même dans le piège métaphorique de son adversaire. *Il Saggiatore* est une métaphore, certes plus pertinente que celle de la «Balance astrologique». Galilée en est conscient, car tout en dénonçant la métaphorisation abusive de son adversaire, il met à nu son propre «jeu» métaphorique

48. *L'Essayeur*... p. 131. Je souligne. Un «grain» pèse 0,0648 d'un gramme.

49. *Ibid.*, p. 131.

50. *Ibid.*, p. 131. Je souligne.

51. Apparaît ici toute la différence entre une balance *précise* (qui touche son degré de sensibilité, de finesse) et une balance *exacte* (qui concerne sa justesse).

(*scherzo*) celui de trans-poser (meta-phorein) la *précision* vers l'*exactitude*, de mettre en balance la *précision* et l'*exactitude*, comme si leur rapprochement verbal garantissait d'office leur équivalence. Il s'agit, là aussi, d'un jeu de mots, poétique, fortuit, in-exact, qui n'engage pas la vérité scientifique. Pour Galilée, la *précision* et l'*exactitude* renvoient à deux référents différents qu'il s'interdit de trans-porter ensemble, de métaphoriser. En effet, la *précision* de la balance n'implique pas automatiquement son *exactitude*, sa justesse. C'est ce que Sarsı semble oublier. Galilée ne manque pas de rappeler à son adversaire que la Nature recèle des phénomènes d'une subtilité telle qu'ils ne sauraient être mesurés avec une «balance de *saggiatore*» «Une boule de musc ou d'ambre qui s'évente, du métal qu'on martèle aucune balance aussi précise fut-elle ne pourra enregistrer la déperdition de matière. Qu'on prenne une boule d'ambre ou de musc ou d'autres matières odorantes, je dis que si on la porte sur soi environ quinze jours, l'odeur remplira mille pièces et mille routes [] et cela n'ira point sans une certaine diminution de matières [] pourtant si à tel moment, on la pèse de nouveau, on ne trouvera pas de diminution sensible. Voici donc, à l'instar de Sarsı, des exemples d'imperceptible diminution de poids provoquée par l'usure de mois continuels [] Et pourtant, un trébuchet d'essayeur est plus sensible qu'une «balance philosophique»⁵² !

Dès lors, l'*exactitude* bascule dans un autre champ sémantique, celui de la justesse, de la vérité. Si la *précision* a des degrés, l'*exactitude*, elle, n'en connaît pas. «De même qu'il n'y a pas *ex parte rei*, de milieu entre le vrai et le faux, de même, dans les démonstrations nécessaires, ou bien on tire des conclusions indubitables, ou bien l'on commet des paralogismes sans excuse, sans pouvoir, grâce à des restrictives, des distinctions, des jeux de mots et autres pirouettes rester sur ses positions, mais il faut, en peu de mots et du premier coup, être César ou rien» (*ma e forza in brevi parole ed al primo assalto restare o Cesare o niente*)⁵³. L'*exactitude* se conquiert d'un coup de main, et investit celui qui la possède d'un pouvoir suprême, impérial. Conquête martiale de l'*exactitude* qui, au nom de vérité, expulse (sens premier d'*exigere*) les nombreux ennemis qui se défendent aux armes vétustes de la scolastique : syllogismes, paralogismes, restrictives, distinctives, «plaisanteries» du genre de celle de Sarsı qui parle de *Balance* sans se référer à l'acte de peser. Ce nouveau César de l'*exactitude* traque et chasse de son territoire (*exigere*) nouvellement conquis tout ce qui dans le discours

52 *Ibid* , p 226

53 *Ibid* , p 195

entretient l'ambiguïté, se tient au «milieu» entre vrai et faux, ce qui perpétue l'à-peu-près. Galilée mène donc une guerre sans merci contre la métaphore, contre le langage fleuri, symboles mêmes de cet entre-deux ambigu qu'il combat⁵⁴. L'exactitude de la science et le langage métaphorique de la poésie s'excluent comme lumière et ténèbres, comme vérité et mensonge. La nature a horreur de la poésie, parce qu'elle a horreur du mensonge. «Il (Signor Mario, c'est-à-dire Galilée lui-même) dit en toute vérité que la nature ne se complaît pas à la poésie; proposition tout à fait vraie, bien que Sarsi montre qu'il n'y croit pas, qu'il feigne de ne pas connaître ou la nature ou la poésie, et d'ignorer que si la poésie a besoin de fiction et de fables, sans lesquelles elle n'existerait pas, la nature a tellement horreur de ces mensonges qu'il ne serait pas moins impossible d'en trouver chez elle un seul que de trouver les ténèbres dans la lumière⁵⁵». Nous sommes évidemment loin du temps où le jeune Galilée croyait encore pouvoir concilier poésie et sciences, fiction et exactitude, en tentant de mesurer «exactement» l'Enfer de Dante⁵⁶.

Dans sa conquête de l'exactitude, Galilée ne s'en tient pas seulement à ces escarmouches contre le langage fleuri; il déclare la guerre à tout langage «lettré». Le langage conventionnel par lettres est métaphorique parce que signifiant et signifié, par un «transport métaphorique», se rapprochent, sans toutefois jamais coïncider exactement, dans une congruence totale. La nature métaphorique du langage et l'exactitude de la Nature s'excluent radicalement. C'est pourquoi, chez Galilée, la Nature cesse d'être structurée à l'image d'un *logos* — verbe, parole. Elle est chiffrée, s'exprime en figures géométriques. Depuis Galilée, l'exactitude terrestre, et non seulement céleste, se conquiert *more mathematico, more geometrico*. «La philosophie est écrite dans cet immense livre qui se tient toujours

54 Évidemment, ce qui est en cause, ce n'est pas la poésie en elle-même, mais la poésie et son emploi métaphorique de la langue comme moyen de connaissance scientifique. L'ironie de Galilée se fait particulièrement mordante contre les «poésies» de Sarsi : «Nous avons lu, au contraire, avec grand plaisir ce qui a trait à la naissance, au berceau, aux demeures et funérailles de la comète et comment elle s'est allumée pour éclairer l'entrevue et le souper du Soleil et de Mercure, que ces lumières n'aient pas été éteintes de vingt jours après le souper ne nous a pas ennuyé, non plus que d'apprendre que là où se trouve le Soleil les chandelles sont superflues et que le Soleil ne soupe jamais, mais déjeune seulement, c'est-à-dire prend ses repas de jour et non de nuit, la nuit lui étant tout à fait inconnue», *ibid*, p. 142

55 *Ibid*, p. 143

56 «Due Lezioni sull' Inferno di Dante», in *Edizione Nazionale*, op. cit., vol. IX, p. 31-57

ouvert devant nos yeux, je veux dire l'Univers, mais on ne peut le comprendre si l'on ne s'applique d'abord à en comprendre la langue et à en connaître les caractères avec lesquels il est écrit. Il est écrit dans la langue mathématique et ses caractères sont des triangles, des cercles, et autres figures géométriques, sans le moyen desquels il est humainement impossible d'en comprendre un mot»⁵⁷. Ce qui distingue donc ce «langage» mathématique du langage des lettres, c'est que le dernier, plus que jamais, est en porte-à-faux, in-exact, puisqu'il ne saurait rendre la nature mathématique, chiffrée et géométrique de l'univers. L'exactitude des sciences passe nécessairement par les mathématiques. Seules les mathématiques échappent au piège de la métaphore, puisque les figures et les chiffres de cet «immense livre» de l'univers sont essentiellement les mêmes, coïncident exactement avec ceux inscrits dans les livres de mathématiques. Congruence totale qui assure l'exactitude totale. Ce qui change d'un livre à l'autre, ce sont les proportions des figures. «En astronomie, particulièrement, il serait impossible de conserver dans les figures les proportions réelles des mouvements, distances et grandeurs des orbites célestes; proportions que l'on altère, sans dommage pour la doctrine, au point que tel cercle, ou tel angle, qui devrait être mille fois plus grand que tel autre, ne l'est pas même deux ou trois fois»⁵⁸.

C'est ici que s'ouvre le grand schisme entre logos-discours (littérature) et logos-mathématiques (sciences) qui s'opère au nom de l'exactitude des sciences. Langue et mathématiques, littérature et sciences s'opposent de façon irréductible. Le grand livre du monde⁵⁹ est ouvert, certes, mais seulement pour les initiés du langage mathématique. Pour les autres, les non-scientifiques, nouveaux analphabètes des sciences, c'est un livre hermétiquement fermé. On s'en souvient, Léonard de Vinci déjà avait fièrement revendiqué le titre d'«homme sans lettres»⁶⁰ puisque ses livres, à l'image de celui de la Nature, étaient chiffrés. «Seuls les mathématiciens lisent les éléments de mon ouvrage»⁶¹.

Galilée, en mathématisant l'univers entier, universalise en même temps l'exactitude. Certes, le télescope galiléen a démolit

57 *Ibid*, p 141

58 *Ibid*, p 204

59 Galilée reprend, en le mathématisant, un des «topos» de la littérature antique et médiévale. Voir E R Curtius, *Europäische Literatur und lateinisches Mittelalter*, Francke, 1948. D'autres références à ce topos du «grand livre» chez Galilée, notamment dans la lettre à Fortunio Liceti, janvier 1641, Ed Naz, XVIII, p 295

60 *Trattato della Pittura*, in *The Notebooks of Leonardo da Vinci, op cit*, p 14

61 *Ibid*, p 11

rageusement les formes parfaites, lisses, figures géométriques du monde supralunaire. Où trouver ces nouvelles figures géométriques, garantes de l'exactitude non seulement d'une partie de l'univers, mais de l'*Univers* au sens plein du terme ? Figures qui démocratiseraient, en quelque sorte, l'exactitude. Ces corps réguliers, lisses, imputrescibles, que le perspicillum de Galilée a délogés (*exigere*) de la voûte étoilée, de l'infiniment grand, il les restitue au niveau de l'infiniment petit, des éléments de base, des *minimii quanti*, des «atomes réellement indivisibles»⁶². Universalisation de la structure atomique qui ouvre l'Univers tout entier au règne du nouveau César des sciences exactes. Il faut être César ou rien. Mais il faut être aussi César partout ou nulle part...

62. *Ibid.*, p. 242.