



HAL
open science

Instruments de mathématiques et fabricants d'instruments au XVIIIe siècle

Dominique Tournès

► **To cite this version:**

Dominique Tournès. Instruments de mathématiques et fabricants d'instruments au XVIIIe siècle. Pierre-Édouard Bour, Manuel Rebuschi, Laurent Rollet. Sciences, Circulations, Révolutions. Festschrift pour Philippe Nabonnand, Collee Publications, pp.681-695, 2023, 978-1-84890-425-5. hal-04533825

HAL Id: hal-04533825

<https://hal.science/hal-04533825v1>

Submitted on 9 Dec 2024

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Distributed under a Creative Commons Attribution - NonCommercial - NoDerivatives 4.0
International License

Instruments de mathématiques et fabricants d'instruments au XVIII^e siècle

DOMINIQUE TOURNÈS

C'est tout au long des xv^e et xvi^e siècles que s'est développée l'industrie des instruments de mathématiques, fabriqués généralement en cuivre, bronze, laiton ou argent (Daumas 1953). Ces instruments, souvent ancrés dans une longue tradition, ont alors évolué rapidement, tant sur le plan technique qu'esthétique, pour répondre aux besoins des dessinateurs (géomètres, architectes, ingénieurs et graphistes). Il a notamment fallu s'adapter à la généralisation en Europe de l'usage du papier et du tire-ligne. Le dessin technique, au sens où nous l'entendons aujourd'hui, est d'ailleurs né au xvi^e siècle, lorsque des figures rigoureuses réalisées à partir de mesures précises ont remplacé les esquisses à main levée dans des disciplines comme l'astronomie, la navigation, le génie militaire et la topographie (Hambly 1988).

En me situant deux siècles plus tard, je me propose d'examiner brièvement les questions suivantes : qu'entend-on par instrument de mathématiques au xviii^e siècle ? Quels sont les apports spécifiques du siècle des Lumières dans ce domaine ? Quel était le contexte scientifique, technologique, économique et culturel de la fabrication et de l'utilisation de ces artefacts ? Enfin, quelles étaient à cette époque les interactions entre les instruments matériels et le développement théorique des mathématiques ?

1 Un siècle propice aux instruments de mathématiques

1.1 Qu'est-ce qu'un instrument de mathématiques au xviii^e siècle ?

Commençons par consulter l'un des plus fameux ouvrages de référence du xviii^e siècle, le *Traité de la construction et des principaux usages des instruments de mathématique*, publié en 1709 par Nicolas Bion, qui portait le titre d'ingénieur du Roi pour les instruments de mathématiques. Bion tenait un atelier situé Quai de l'Horloge du Palais, à Paris, où l'on pouvait trouver tous les instruments décrits dans son traité.

P.-E. Bour, M. Rebuschi & L. Rollet (eds.), *Sciences, Circulations, Révolutions*, 681–695.
© 2023, the author.

La quatrième et dernière édition de l'ouvrage, datée de 1752, est organisée en neuf livres. Les deux premiers présentent ce qui est appelé « étui de mathématique » : cet étui est composé des instruments les plus simples et les plus ordinaires, ceux qui font partie de la panoplie de tout géomètre, quel que soit le domaine dans lequel il travaille. Il s'agit du compas, de la règle, du tire-ligne, du porte-crayon, de l'équerre, du rapporteur et du compas de proportion (voir figure 1). Le troisième livre traite d'instruments divers qui servent au cabinet (compas spécialisés, compas de réduction, pantographe, instruments à règles parallèles, aimants, balances, microscopes, etc.), le quatrième livre d'instruments employés sur le terrain pour les opérations d'arpentage, de levé de plans, de fortification, de mesure des distances et des hauteurs (toise, chaîne, piquets, équerre d'arpenteur, récipientes, différentes planchettes, quart-de-cercle, demi-cercle ou graphomètre, boussole). Le cinquième livre présente les niveaux utilisés pour la conduite des eaux et les instruments servant à l'artillerie. Les livres 6 à 8 rassemblent tout ce qui se rapporte à l'astronomie et à la navigation (quart-de-cercle astronomique, octant, micromètre, horloge, boussole marine, astrolabe, quartier de réduction, cartes marines, cadrans solaires, cadrans lunaires, etc.). Enfin, le neuvième livre, ajouté ultérieurement et enrichi au fil des éditions, présente divers instruments complémentaires, ainsi que les outils et techniques servant à la fabrication des instruments de mathématiques.

Dans ce traité, nous sommes confrontés à une définition large des mathématiques, qui fait écho à celle rencontrée dans l'*Encyclopédie* de Diderot et d'Alembert. Outre les mathématiques pures, toutes les parties des mathématiques dites « mixtes » sont représentées : mécanique, optique, astronomie, géographie, chronométrie, architecture militaire, hydrostatique, hydraulique, hydrographie et navigation, etc.

Lorsque Edmund Stone traduit le traité de Bion en anglais en 1723, il y ajoute plusieurs instruments propres à la tradition anglaise, notamment la règle à calcul qui, à cette époque, n'a pas encore gagné les faveurs du Continent (ce ne sera le cas qu'à partir du milieu du XIX^e siècle). Par ailleurs, dans sa préface, Stone explique les raisons de son intérêt pour les instruments :

Mathematicks are now become a popular Study, and make a part of the Education of almost every Gentleman [...]. Mathematical Instruments are the means by which those Sciences are rendered useful in the Affairs of Life. By their assistance it is that subtle and abstract Speculation is reduced into Act. They connect as it were, the Theory to the Practice, and turn what was bare Contemplation, to the most substantial Uses. (Bion 1752, p. v-vi)

Les instruments mathématiques sont ainsi, selon la conception de l'époque, le trait d'union entre les mathématiques pures et les mathématiques mixtes, le médium permettant une réification des concepts abstraits des mathématiques dans la pratique des sciences de la nature (Gessner *et al.* 2017).

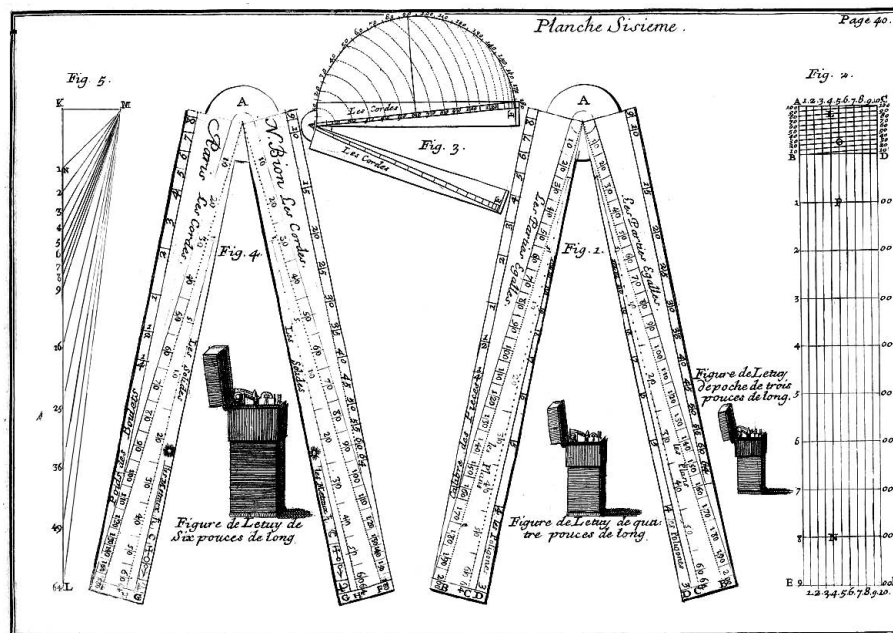


FIGURE 1 : Une planche du traité de Bion (1752, pl. 6) sur le compas de proportion

1.2 Et les instruments pour l'arithmétique ?

On aura observé que les instruments catalogués dans le traité de Bion sont tous des instruments géométriques ou directement dérivés de la géométrie. À l'époque, c'est également le cas dans la majorité des livres sur les instruments, comme, par exemple, celui de John Robertson (1775). En Allemagne, le *Theatrum arithmetico-geometricum* de Jacob Leupold, publié d'abord en 1727 et réédité en 1774 (Leupold 1774), se distingue par une vision plus large de la notion d'instrument mathématique en y incluant les dispositifs destinés à faciliter l'arithmétique, notamment les tables numériques. De plus, Leupold, professeur à Iéna, semble être le premier en Allemagne à enseigner l'utilisation pratique des instruments en complément de ses cours d'arithmétique et de géométrie.

Ainsi, sauf exception, on ne trouve pas trace, dans les traités, d'instruments destinés à l'art du calcul digital, à ce calcul arithmétique qui est pourtant nécessaire à un grand nombre de gens dans le commerce et la vie quotidienne, bien au-delà du cercle étroit des mathématiciens, astronomes et ingénieurs. Il faut probablement y voir la marque d'une époque où la pensée géométrique est encore prédominante dans les mathématiques mixtes. Le cas de la règle à calcul, un peu à part, est, quant à lui, l'un des signes du divorce culturel entre

les mathématiques anglaises et continentales, divorce qui s'est traduit sur un autre plan par la querelle entre Newton et Leibniz au sujet de l'invention du calcul infinitésimal.

Cependant, des instruments facilitant ou automatisant le calcul arithmétique existent bel et bien au siècle des Lumières. Quels sont-ils ? En fait, ce sont les mêmes que ceux des siècles précédents, fertiles en la matière avec l'apparition des bâtons et réglottes de Neper, des divers instruments logarithmiques inventés par les Britanniques Neper, Briggs, Oughtred et Gunter (tables logarithmiques, règles et cercles à calcul), des additionneuses mécaniques de Schickard et Pascal, et de la multiplicatrice mécanique de Leibniz. Tout au long du XVIII^e siècle, ces instruments bénéficient de quelques améliorations technologiques, mais aucune idée vraiment nouvelle n'apparaît. Si, dans le cas spécifique des règles à calcul, une production en série se met en place dans les Îles Britanniques, il n'en va pas de même pour les machines à calculer automatiques, qui restent le plus souvent à l'état de projet. À titre d'exemple, mentionnons la machine que Leupold imagine et décrit dans son traité (voir figure 2). Pourtant, nous sommes à une époque où la mécanique de précision triomphe : on s'enthousiasme pour des machines ludiques aux mécanismes subtils et compliqués, comme des automates imitant le comportement humain (joueur d'échecs, claveciniste, etc.) ou des horloges astronomiques s'animant de manière complexe à certaines heures. Bien que toutes les conditions technologiques nécessaires soient réunies, il n'y a pas de demande pour le calcul automatique. Quelques machines à calculer mécaniques commencent malgré tout à être produites en Allemagne dans les dernières décennies du siècle. Entre 1773 et 1790, le pasteur et horloger Philipp Matthäus Hahn réalise quatre ou cinq exemplaires d'une calculatrice mécanique cylindrique, qui est la première machine à quatre opérations entièrement fonctionnelle (Vollrath 2013). Par la suite, Johann Helfrich von Müller, un ingénieur militaire, fabrique en 1784 une version améliorée de la machine de Hahn et prévoit de construire une machine à différences près de quarante ans avant Babbage. Cependant, ces dispositifs mécaniques ingénieux sont restés des curiosités de cabinet.

En définitive, le XVIII^e siècle apparaît comme une parenthèse dans l'histoire de l'automatisation du calcul arithmétique. C'est pourquoi nous n'en parlerons pas davantage et reviendrons dans la suite au point de vue adopté par la plupart des auteurs de l'époque, pour lesquels les instruments de mathématiques s'identifient aux instruments de géométrie.

1.3 L'émergence de nouveaux besoins

Qu'est-ce qui stimule l'industrie des instruments au siècle des Lumières ? Entre autres facteurs, la rivalité anglo-française sur les océans entraîne l'amélioration des techniques de navigation, et la nécessité de cartographier de nouveaux territoires pour mieux les délimiter et les gérer (c'est notamment le cas en Nouvelle-France et en Nouvelle-Angleterre). Il s'ensuit des avancées technologiques dans la fabrication des instruments d'astronomie, de navigation et

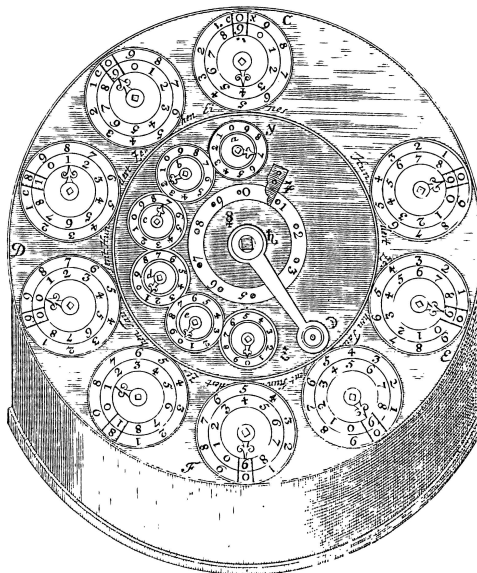


FIGURE 2 : Le projet de machine à calculer de Leupold (1774, pl. VIII)

d'arpentage, et une augmentation sensible de la production. Les inventions nouvelles sont cependant peu nombreuses dans ce domaine : en 1731, John Hadley invente le quartier de réflexion, dont le sextant dérivera en 1757 pour devenir d'usage courant à la fin du siècle ; en 1736, George Adams crée l'horizon artificiel pour déterminer la latitude lorsque l'horizon réel n'est pas visible.

En fait, l'astronomie est aussi, sur le plan théorique, la principale activité scientifique : des problèmes tels que l'étude de la forme de la Terre, la détermination des longitudes en mer ou la recherche d'une unité de mesure universelle engendrent des avancées dans la conception des instruments. La création de nombreux observatoires – on en dénombre par exemple une douzaine à Paris, sans compter les observatoires privés – contribue également à accroître la demande. Par ailleurs, des écoles spécialisées sont ouvertes ou réformées afin de dispenser une formation plus rigoureuse aux astronomes, navigateurs et arpenteurs, ce qui permet en retour une meilleure connaissance et une meilleure utilisation des instruments disponibles.

En Angleterre, dès le milieu du XVII^e siècle, les jeunes nobles devaient posséder de solides connaissances en géométrie, trigonométrie, astronomie et navigation, car tout gentilhomme souhaitant faire carrière à la cour pouvait être appelé à commander un vaisseau de guerre (Turner 1973). Il en était de même pour tous ceux, nobles ou non, qui voulaient se lancer dans le commerce maritime transatlantique. Outre la navigation, l'art de la guerre (artillerie, fortification) et la gestion des affaires de l'État (arpentage et relevé

des terrains pour les travaux publics et le calcul des impôts) devenaient de plus en plus complexes et requéraient également de nombreuses compétences en mathématiques pratiques.

1.4 Une époque d'amateurs et de collectionneurs

En dehors des besoins croissants des différentes professions appliquant les mathématiques, il existait une tradition de fabrication d'instruments de dessin pour les collections royales ou aristocratiques. Parmi les collections notables, citons celles du landgrave de Hesse et de l'électeur de Saxe en Allemagne, du duc d'Orléans et de Bonnier de la Mosson en France, et du prince de Galles, futur Georges III, en Angleterre. Des collections importantes étaient également constituées par les monastères ou les universités à des fins de recherche et d'enseignement. Enfin, de nombreux amateurs riches et cultivés créaient des cabinets scientifiques pour leur loisir. Par exemple, en Angleterre, le juriste et historien Sir Roger North acquit un nécessaire complet de 150 instruments mathématiques (Hambly 1988).

Par ailleurs, les cabinets de curiosité sont à la mode, au point de devenir les principaux clients de certains fabricants. Cela s'accompagne d'un effort de vulgarisation scientifique, de la publication de nombreux ouvrages destinés aux amateurs et d'une industrie spécialisée dans les appareils de démonstration sous forme de modèles réduits richement ornés. Cette tendance est également renforcée par une tradition précoce d'enseignement expérimental. Certains professeurs reçoivent leurs étudiants dans leur cabinet privé pour des exercices pratiques, avant de créer des laboratoires dans leurs universités. C'est le cas, par exemple, de Giovanni Poleni, titulaire à partir de 1719 de la chaire de mathématiques de l'université de Padoue, qui réunit une collection de 392 machines, dont une machine arithmétique et plusieurs appareils pour tracer mécaniquement des courbes. Dans la seconde moitié du siècle, un autre exemple est celui de Carl Friedrich Hindenburg à l'université de Leipzig.

De cette floraison de collections privées et universitaires ouvertes à un milieu restreint, naît peu à peu l'idée que les instruments scientifiques devraient également être accessibles à un public plus large. À sa fondation en 1753, le British Museum hérite de la collection de 57 instruments mathématiques constituée par Sir Hans Sloane. De même, à la fin du siècle, Jean-Dominique Cassini, directeur de l'Observatoire royal de Paris, ouvre une salle d'exposition présentant au public une collection d'instruments astronomiques anciens. En Italie, un autre exemple est donné par la collection d'instruments de l'ancienne Academia del Cimento, fondée par le prince Léopold de Toscane en 1657 et dissoute en 1667, qui a abouti dans un musée créé en 1775, puis au Museo di Storia della Scienza de Florence (Ackermann *et al.* 2014).

1.5 L'industrie des instruments au XVIII^e siècle

Dans la ville de Londres, on trouve les premières traces de magasins vendant des instruments scientifiques au début du XVIII^e siècle, alors qu'auparavant

les instruments étaient fabriqués sur commande par des ateliers de mécanique de précision (Bryden 1992). La publicité encourage la croissance de ce nouveau marché, en incitant les consommateurs à acheter des instruments de mathématiques tant pour la pratique scientifique que pour une activité sociale et récréative. Cela confirme qu'une forte demande émanant de deux sources (professionnels et amateurs) apparaît vers la fin du XVII^e siècle et au début du XVIII^e.

Londres s'impose comme le principal centre de fabrication d'instruments vers le milieu du XVIII^e siècle. L'excellente réputation de ses fabricants (Thomas Heath, Georges Adams, Edward Nairne, etc.) entraîne une augmentation des exportations vers l'Europe et les colonies d'Amérique. Plusieurs fabricants londoniens combinent la direction d'un atelier avec la publication de traités, et commencent à distribuer prospectus publicitaires et catalogues de prix. En France, il y avait de nombreux fabricants installés dans le Quartier de l'Horloge à Paris. Outre Nicolas Bion, déjà rencontré plus haut, on peut mentionner Pierre Lemaire et Claude Langlois. L'atelier de Langlois était l'un des plus connus ; il fut ensuite repris par Jacques Canivet, puis par Louis Lennel. Tous ces fabricants étaient tenus d'adhérer à la corporation des fondeurs. Il est possible que les pratiques conservatrices et restrictives des corporations aient freiné les innovations en France. Entre autres entraves, il était interdit d'avoir plusieurs ateliers ; chaque maître n'avait droit qu'à un seul apprenti ; la fiscalité était très lourde ; il y avait de nombreux conflits avec d'autres corporations du fait que les instruments de mathématiques faisaient appel à des techniques et des outils variés, à cheval sur les prérogatives d'autres corporations que celle des fondeurs (par exemple celle des miroitiers-lunetiers). C'est sans doute pour cela que les grands ateliers anglais ont pu compter jusqu'à 50 ouvriers, alors que les ateliers français n'en ont jamais compté plus de cinq ou six. C'est aussi la raison pour laquelle les ateliers français se sont souvent cantonnés aux objets de salon, tandis que les Anglais parvenaient à acquérir le quasi-monopole des grands instruments astronomiques qui équipaient les observatoires. Par ailleurs, de nombreux ateliers anglais, comme ceux de W. et S. Jones, Bate, Nairne et Blunt, produisaient la fameuse « règle de Soho » (voir figure 3), qui était le modèle le plus courant de règle à calcul, issue des recherches menées par Matthew Boulton et James Watt pour faciliter les calculs liés à la fabrication des machines à vapeur, et d'autres règles spécialisées pour la construction navale, le jaugeage des tonneaux, le calcul des taxes douanières, etc. (Wess 1997).

Il y avait par ailleurs de nombreux fabricants en Hollande, spécialisés dans les instruments de navigation et dont la production était principalement exportée vers l'Angleterre, ainsi que quelques fabricants dans le sud de l'Allemagne et en Italie (Hambly 1988). L'un des plus célèbres fabricants allemands, Georg Friedrich Brander, produisait une large gamme d'instruments dans son grand atelier d'Augsbourg. Il a notamment collaboré avec le mathématicien Lambert pour concevoir de nouveaux appareils à échelle logarithmique. De nombreux

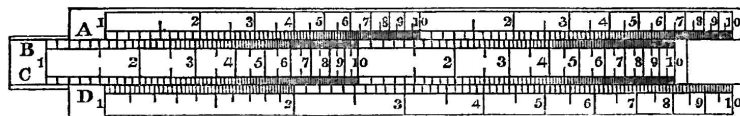


FIGURE 3 : La « règle de Soho » de Boulton et Watt, utilisée pour le calcul des machines à vapeur (Farey 1827, p. 541)

instruments de Brander ont survécu et se trouvent aujourd'hui dans des musées, notamment le Deutsches Museum de Munich (Turner 2008).

2 Les instruments de mathématiques au sens strict

Concentrons-nous à présent sur les instruments mathématiques au sens strict, à savoir les instruments de géométrie, en laissant de côté leurs variantes spécialisées conçues pour les applications et les domaines connexes. Tous les instruments présentés dans le traité de Bion servent à mettre en œuvre la géométrie euclidienne élémentaire, celle qui correspond aux besoins courants des praticiens et qui, en substance, n'a guère varié depuis l'Antiquité. Cependant, si l'on parcourt les planches de mathématiques de l'*Encyclopédie méthodique* (D'Alembert 1784-1785-1789, vol. 3, 1789), quelques nouveaux instruments attirent notre attention : des appareils pour tracer les sections coniques, un appareil pour le tracé de la conchoïde et un « constructeur universel d'équations ». Au-delà des opérations géométriques élémentaires que l'on peut effectuer avec des cercles et des droites, apparaît ici une géométrie plus savante qui fait appel à d'autres types de courbes. Depuis le XVII^e siècle, le tracé mécanique des courbes par un mouvement continu était devenu, en effet, un enjeu essentiel.

Dans sa *Géométrie* de 1637, Descartes a montré que toute équation jusqu'au quatrième degré pouvait être construite avec des droites, des cercles et une section conique donnée (par exemple, une parabole). De façon générale, il met la règle et le compas sur le même plan que des systèmes articulés plus complexes pouvant tracer d'un mouvement continu des courbes algébriques, tous ces instruments étant qualifiés de « machines ». Les courbes algébriques, que Descartes appelle « géométriques », sont selon lui d'un emploi légitime en géométrie. De là naît un courant important de l'algèbre, appelé « la construction des équations », qui consiste à résoudre une équation algébrique par la construction et l'intersection de courbes, et qui se poursuivra jusque vers 1750 (Bos 1984). Dans cette approche, les solutions d'une équation sont obtenues comme les abscisses des points d'intersection de deux courbes simples qui peuvent être tracées d'un mouvement continu. Aux XVII^e et XVIII^e siècles, cette méthode reste largement spéculative : l'algorithme de construction est davantage vu comme une preuve de l'existence des solutions que comme

un procédé effectif de calcul numérique. Cependant, la même méthode sera abondamment utilisée plus tard par les ingénieurs de la période 1850-1950 en tant que technique de calcul graphique (Tournès 2022, chap. 3).

Après la création du calcul infinitésimal par Newton et Leibniz à la fin du XVII^e siècle, le même problème va se poser pour les courbes transcendantes que les géomètres commencent à étudier et qui apparaissent souvent comme des courbes intégrales d'équations différentielles. Dans le même esprit que précédemment, on tentera d'imaginer de nouveaux instruments pour tracer d'un trait continu la courbe logarithmique, la tractrice, la chaînette, la cycloïde, etc.

2.1 Des instruments pour les courbes algébriques

De nombreuses recherches ont été menées dans la seconde moitié du XVII^e siècle pour décrire les sections coniques d'un mouvement continu afin de mettre en pratique la méthode de Descartes pour la résolution des équations de degré trois et quatre. On éprouve également le besoin de tracer des sections coniques pour la fabrication de lentilles optiques ou pour illustrer les livres de géométrie, notamment pour réaliser des dessins en perspective et développer la nouvelle géométrie projective issue des travaux de Pascal, Desargues et La Hire. On peut citer ici le marquis de L'Hospital qui rédigea en 1704 un traité sur les sections coniques publié à titre posthume en 1720 (L'Hospital 1720). Il y décrit des appareils composés de tiges et de fils pour tracer des paraboles, des ellipses et des hyperboles.

Cependant, malgré l'importance théorique et pratique des sections coniques, malgré l'existence dans la littérature de nombreuses descriptions d'appareils ingénieux pour les construire, les fabricants du XVIII^e siècle ne se sont guère impliqués dans la production d'instruments pour tracer ces courbes. Il n'existe rien en ce qui concerne les paraboles et les hyperboles. Du côté des ellipses, la situation est légèrement différente, peut-être en raison de l'importance de cette courbe dans la science des jardins (dessin des massifs elliptiques à l'aide d'une corde et de deux piquets), en génie civil (voûtes elliptiques), en architecture et en dessin technique (pour représenter correctement un cercle en perspective). On trouve donc des compas elliptiques dans les boîtes d'instruments. Bion reproduit le schéma du modèle le plus répandu, qui a l'inconvénient de ne pouvoir tracer que des ellipses ayant un grand axe supérieur à 12,5 cm. En dehors de ce modèle rudimentaire, le plus ancien ellipsographe conservé, capable de tracer de petites ellipses, est dû à Pierre Gourdin et daté de 1790. Ce n'est qu'à la fin du XIX^e siècle que la fabrication d'appareils pour tracer les sections coniques va commencer à se répandre et se diversifier.

La situation des autres courbes algébriques classiques est similaire : au XVIII^e siècle, on rencontre dans quelques livres des descriptions d'instruments potentiels pour des courbes particulières, mais on n'a pas de trace de réalisations effectives ou, quand il y en a, il ne s'agit que de prototypes isolés.

On peut signaler enfin le « constructeur universel d'équations » dont nous avons parlé plus haut, dû au pasteur anglais John Rowning (1770) et décrit

plus tard dans l'*Encyclopédie méthodique* (1784-1785-1789, vol. 1, 1784). Cet appareil (voir figure 4), formé de tiges articulées à glissières, mécanise une construction graphique des valeurs numériques d'une fonction polynomiale et permet donc d'en tracer la courbe représentative d'un mouvement continu. Rowning en a fabriqué un prototype conçu pour les équations du second degré, mais un mécanisme similaire pourrait être envisagé pour n'importe quel degré. Ce type d'appareil, complexe à réaliser, n'aura pas de descendance immédiate avant la fin du XIX^e siècle.

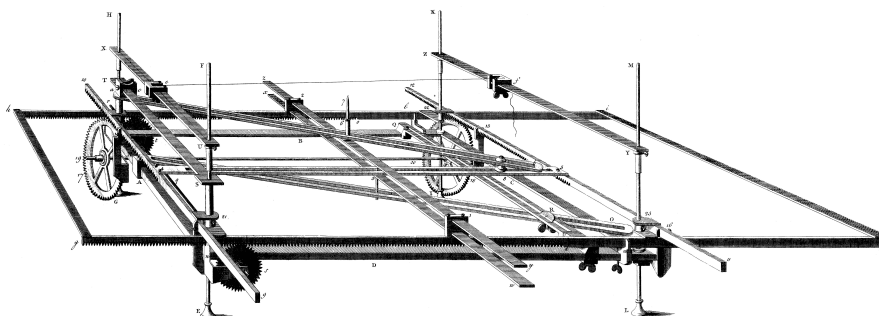


FIGURE 4 : Le constructeur universel d'équations de John Rowning (1770, p. 241), dans sa version pour les équations du second degré

2.2 Des instruments pour les courbes transcendentes

Les courbes transcendentes, que Descartes qualifiait de « mécaniques », sont, en particulier, celles qui font intervenir deux mouvements indépendants à coordonner. C'est tout d'abord le cas de la spirale, très employée en architecture pour dessiner les volutes des colonnes ioniques. Elle provient de la combinaison du mouvement circulaire uniforme d'une tige autour d'un point et du mouvement rectiligne uniforme d'un point sur la tige, les deux mouvements étant coordonnés grâce à un fil et une poulie. En 1760, David Lyle conçoit un compas à volute et, en 1791, George Adams décrit un héliographe, deux appareils dont le principe se trouvait déjà dans un manuscrit de Huygens en 1650. La situation est analogue pour la quadratrice, cette courbe antique qui met également en jeu un mouvement circulaire et un mouvement rectiligne. Un appareil pour la tracer est conçu par Giambattista Suardi (1752), mais il restera au stade de prototype. Suardi, un élève du marquis de Poleni à l'université de Padoue, s'est passionné pour la construction mécanique des courbes. Dans son traité de 1752, il décrit un grand nombre d'instruments ingénieux pour tracer de nombreuses courbes classiques, anciennes et modernes. L'un de ses appareils qui connaîtra un grand succès auprès des dessinateurs, des graphistes et des illustrateurs est la fameuse « plume géométrique » servant à tracer des épicycloïdes, courbes

décrites par un point d'un cercle qui roule sans glisser sur un autre cercle (voir figure 5).

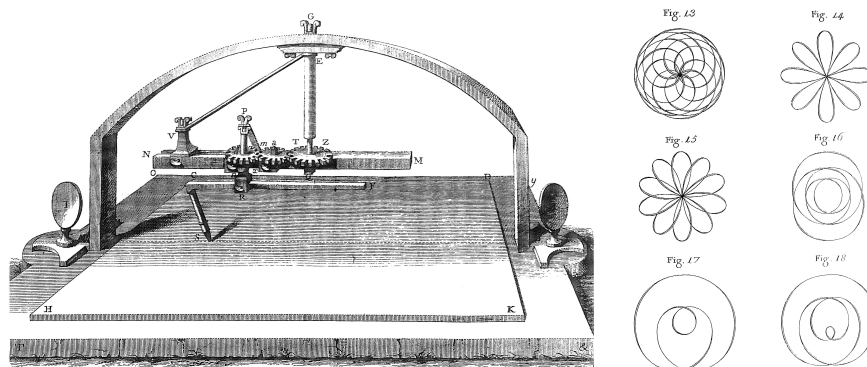


FIGURE 5 : La « plume géométrique » de Suardi (1752, pl. XIII) et quelques exemples d'épicycloïdes tracées à l'aide de cet instrument (Suardi 1752, pl. XVII)

À côté de ces courbes classiques, d'autres courbes transcendantes naissent d'un nouveau problème qui apparaît en même temps que le calcul infinitésimal, à savoir le « problème inverse des tangentes » consistant à construire une courbe à partir de la connaissance de ses tangentes (de nos jours, on parlerait de construire les courbes intégrales d'une équation différentielle). Pour résoudre un tel problème, on peut matérialiser la tangente par un fil tendu ou, mieux, une tige rigide, et déplacer la tige de sorte que la propriété donnée des tangentes soit vérifiée à chaque instant. Un instrument tractionnel est ainsi un dispositif qui trace une courbe intégrale d'une équation différentielle à partir d'un mouvement de traction d'une tige. Plus précisément, sur un plan horizontal, on tire l'une des extrémités de la tige le long d'une courbe donnée, et l'autre extrémité de la tige, l'extrémité libre, décrit au cours du mouvement une nouvelle courbe qui reste constamment tangente à la tige. À cette extrémité libre, on place une pointe traçante surmontée d'un poids faisant pression, ou une roulette coupante mordant dans le papier, de sorte que tout mouvement latéral soit neutralisé. En choisissant convenablement la courbe de base le long de laquelle on tire la tige, et en faisant varier la longueur utile de la tige selon une loi donnée, on peut intégrer différents types d'équations différentielles (Tournès 2009).

Entre 1692 et 1752, soit durant soixante ans, de nombreux mathématiciens se sont intéressés à ce problème : Huygens, Leibniz, Johann et Jacob Bernoulli, Perks, Poleni, Euler, Vincenzo Riccati, Suardi, etc. Tous ces géomètres ont conçu des instruments tractionnels pour légitimer l'existence de courbes transcendantes (Bos 1988) et certains d'entre eux ont produit concrètement quelques exemplaires d'appareils fonctionnels (voir figure 6), notamment

pour la tractrice et la courbe logarithmique (Poleni 1729), (Suardi 1752). Cependant, ces instruments n'auront pas d'avenir immédiat. Après 1752, ils tomberont brusquement dans l'oubli. Comme pour d'autres types d'instruments évoqués précédemment, ce n'est qu'à la fin du XIX^e siècle que des intégraphes tractionnels seront réellement fabriqués et utilisés par les ingénieurs (Tournès 2009).

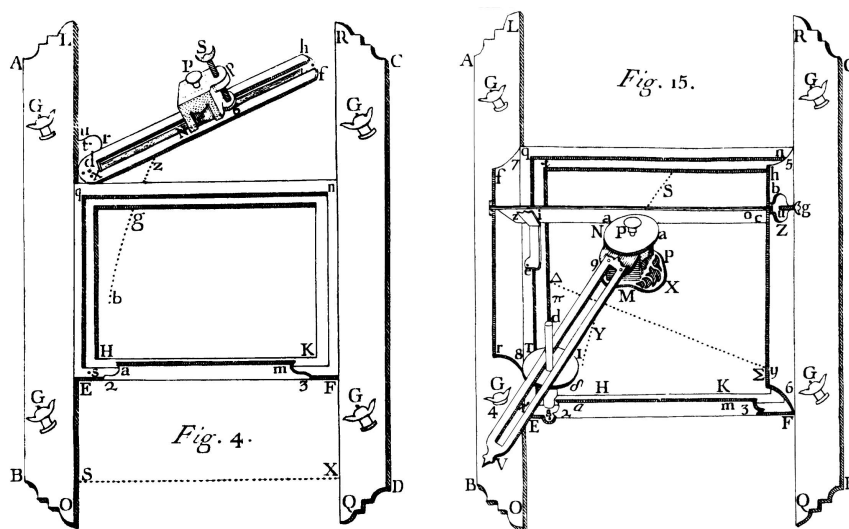


FIGURE 6 : Les instruments tractionnels de Poleni (1729, pl. CC et EE) pour tracer la tractrice, courbe de tangente constante (à gauche), et la logarithmique, courbe de sous-tangente constante (à droite).

2.3 Une rupture vers le milieu du XVIII^e siècle

L'*Encyclopédie méthodique*, publiée entre 1784 et 1797, comprend dans ses volumes de « Mathématiques » des planches montrant les principaux instruments de géométrie. De plus, dans la partie de la même *Encyclopédie* consacrée aux « Arts et métiers mécaniques », on trouve quelques informations sur la fabrication des instruments de mathématiques, avec les outils utilisés pour cela, et des descriptions précises des instruments eux-mêmes. En revanche, dans l'*Encyclopédie* de Diderot et D'Alembert, publiée précédemment entre 1751 et 1776, il n'y avait rien d'analogue : seulement quelques planches dans le volume sur le dessin, publié en 1763, pour présenter les instruments de dessin à main levée, les instruments de perspective et le pantographe. Faut-il y voir un autre signe d'un certain désintérêt pour les instruments de mathématiques dans les décennies qui suivent 1750 ? On peut le penser. En effet, au milieu du XVIII^e siècle, un changement fondamental se produit au sein des mathématiques : c'est le moment où la pensée géométrique ancienne cède le pas

à la pensée algébrique. On ne cherche plus à construire des courbes, on étudie les fonctions. On ne cherche plus à construire géométriquement les solutions des équations, on les représente algébriquement par des algorithmes finis ou infinis, comme des séries ou des fractions continues. Désormais, une expression algébrique acquiert par elle-même une légitimité sans qu'il soit nécessaire de retourner à la géométrie pour lui donner un sens.

La situation apparaît ainsi stabilisée vers 1750. D'un côté, l'instrumentation mathématique a atteint un niveau de qualité et de précision correspondant bien aux besoins les plus courants des utilisateurs. Les ateliers de mécanique de précision ont consacré l'essentiel de leurs efforts à perfectionner les outils anciens et à passer d'une production artisanale à une production de type industriel, plutôt que de se lancer dans la production de nouveaux instruments à la rentabilité aléatoire. Dans cette phase de plateau qui va durer plus d'un demi-siècle, les idées nouvelles des mathématiciens ne rencontrent pas de véritable écho chez les fabricants. Les mathématiciens eux-mêmes, dans leur mutation profonde de la géométrie vers l'algèbre, se désintéressent de la conception de nouveaux instruments. L'expansion des instruments de mathématiques ne reprendra qu'au début du XIX^e siècle, et surtout après 1850, reflétant alors les nouveaux besoins en calcul et en dessin technique engendrés par la révolution industrielle, caractérisée par le développement rapide des communications, du commerce et de la production.

Bibliographie

- Ackermann, S., Kremer, R. L. & Miniati, M. (éd.) (2014). *Scientific Instruments on Display*. Leiden ; Boston : Brill.
- Bion, N. (1752). *Traité de la construction et des principaux usages des instrumens de mathématique*. Paris : Jombert, 4^e éd. Engl. transl. by Edmund Stone, *The Construction and Principal Uses of Mathematical Instruments. To which are Added, The Construction and Uses of such Instruments as are omitted by M. Bion ; particularly of those invented or improved by the English*, 2nd ed., London : Richardson, 1758.
- Bos, H. J. M. (1984). Arguments on motivation in the rise and decline of a mathematical theory ; the "construction of equations", 1637-ca. 750. *Archive for History of Exact Sciences*, 30(3), 331–380, doi :10.1007/BF00328124.
- Bos, H. J. M. (1988). Tractional motion and the legitimation of transcendental curves. *Centaurus*, 31(1), 9–62, doi :10.1111/j.1600-0498.1988.tb00714.x.
- Bryden, D. J. (1992). Evidence from advertising for mathematical instrument making in London, 1556–1714. *Annals of Science*, 49(4), 301–336, doi :10.1080/00033799200200281.

- D'Alembert, J. L. R. (1784-1785-1789). *Encyclopédie méthodique. Mathématiques*. Paris : Panckoucke. 3 vol.
- Daumas, M. (1953). *Les Instruments scientifiques aux XVII^e et XVIII^e siècles*. Paris : Presses Universitaires de France.
- Farey, J. (1827). *A Treatise on the Steam Engines*. Londres : Longman, Rees, Orme, Brown, and Green.
- Gessner, S., Hashagen, U., Peiffer, J. & Tournès, D. (2017). Mathematical instruments between material artifacts and ideal machines : Their scientific and social role before 1950. *Oberwolfach Reports*, 14, 3471–3560, doi : 10.4171/OWR/2017/58.
- Hambly, M. (1988). *Drawing Instruments. 1580-1980*. Londres : Sotheby's. Trad. fr. par D. Bauthier, *Les Instruments de dessin. 1580-1980*, Gennevilliers : Ars Mundi, 1991.
- Leupold, J. (1774). *Theatrum arithmetico-geometricum*. Leipzig : Breitkopf und Sohn, 2^e éd.
- L'Hospital, G. F. A. M. d. (1720). *Traité analytique des sections coniques et de leur usage pour la résolution des équations dans les problèmes tant déterminez qu'indéterminez*. Paris : Montalant.
- Poleni, G. (1729). *Epistolarum mathematicarum fasciculus*. Patavii : Typis Seminarii.
- Robertson, J. (1775). *A Treatise of such Mathematical Instruments, as are usually put into a portable case*. Londres : Printed for J. Nourse, 3^e éd.
- Rowning, J. (1770). XXIV. Directions for making a machine for finding the roots of equations universally, with the manner of using it. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, 60, 240–256, doi :10.1098/rstl.1770.0024.
- Suardi, G. (1752). *Nuovi istromenti per la descrizione di diverse curve antiche e moderne e di molto altre, che servir possono alla speculazione de' geometri, ed all'uso de' pratici*. Brescia : Rizzardi.
- Tournès, D. (2009). *La Construction tractionnelle des équations différentielles*. Paris : Blanchard.
- Tournès, D. (éd.) (2022). *Histoire du calcul graphique*. Paris : Cassini.
- Turner, A. J. (1973). Mathematical instruments and the education of gentlemen. *Annals of Science*, 30(1), 51–88, doi :10.1080/00033797300200031.

Turner, G. L. (2008). *The Cambridge History of Science*, Cambridge : Cambridge University Press, t. 4 : The Eighteenth Century, chap. Eighteenth Century Instruments and Their Makers. 509–535, doi :10.1017/CHOL9780521572439.023.

Vollrath, H.-J. (2013). *Verborgene Ideen. Historische mathematische Instrumente*. Wiesbaden : Springer Spektrum.

Wess, J. (1997). The Soho Rule. *The Journal of the Oughtred Society*, 6(2), 23–26.

Dominique Tournès
Université de la Réunion
Laboratoire d'informatique et de mathématiques
`dominique.tournes@univ-reunion.fr`