Dessiner les machines de Léonard ?

Du compas à la Conception Assistée par Ordinateur (CAO)

Drawing Leonardo da Vinci's Machines? From Compass to Computer Aided Design (CAD)

Anne-Sophie Rozay

Édition électronique

URL : <https://journals.openedition.org/ephaistos/9029>

DOI : 10.4000/ephaistos.9029

ISSN : 2552-0741

Éditeur

IHMC - Institut d'histoire moderne et contemporaine (UMR 8066)

Référence électronique

Anne-Sophie Rozay, « Dessiner les machines de Léonard ? », *e-Phaïstos* [En ligne], IX-1 | 2021, mis en ligne le 27 avril 2021, consulté le 16 septembre 2021. URL : <http://journals.openedition.org/ephaistos/9029> ; DOI : <https://doi.org/10.4000/ephaistos.9029>

Ce document a été généré automatiquement le 16 septembre 2021.

Tous droits réservés

Dessiner les machines de Léonard ?

Du compas à la Conception Assistée par Ordinateur (CAO)

Drawing Leonardo da Vinci's Machines? From Compass to Computer Aided Design (CAD)

Anne-Sophie Rozay

- 1 Cinq cents ans après sa mort, Léonard de Vinci (1452-1519), peintre, savant, inventeur et ingénieur fascine par une œuvre large qui ne cesse d'être redécouverte. Les travaux de Léonard du « génie inventeur » sont très largement mis en valeur ces dernières décennies à travers de nombreuses publications et des expositions. Ainsi l'exposition présentée en septembre 2018 sur le site de la Sucrerie, à Lyon : *Da Vinci, les inventions d'un génie, la première grande exposition itinérante au monde, 200 objets et inventions*¹. Pourtant aucun artefact, machines ou objets techniques, n'a traversé les siècles. Les productions de l'œuvre de Léonard sont accessibles uniquement à travers ses écrits, notamment un vaste corpus riche de plus de 6000 feuillets de textes et de dessins descriptifs réunis en plusieurs *Codices*², conservés en Europe et aux États-Unis. Tout repose donc sur l'écrit. Et le développement des outils numériques a joué un rôle déterminant pour la diffusion de ces ressources, permettant la reproduction de fac-similés et la fabrication de maquettes réelles ou virtuelles. Certaines reproductions plus « vraies que nature » invitent cependant à la prudence : il est nécessaire de mettre l'usage des outils numériques en perspective afin d'éviter les interprétations anachroniques.
- 2 Cet article propose de s'intéresser aux modes de production et de représentation des dessins techniques de Léonard. Que révèlent les instruments utilisés par Léonard de Vinci de sa méthodologie du dessin technique ? En quoi sa pratique peut-elle être considérée comme innovante ? Qu'exprime l'appropriation contemporaine de ses dessins ? Existe-il des filiations entre les outils numériques, notamment de CAO (Conception Assistée par Ordinateur) et ceux utilisés par Léonard ? Analyser historiquement ces deux pratiques permet-il de saisir les contours d'une pensée technique ? Il est difficile de déterminer si les dessins de machines de Léonard relèvent de « l'artistique » ou du « technique » ; les pistes de réflexions proposées puisent à la fois dans des travaux d'historiens des techniques et d'historiens de l'art. Nous nous

intéresserons tout d'abord au parcours de Léonard, et à sa pratique du dessin technique. Puis, nous poursuivrons en analysant l'usage des outils numériques, leur fonctionnement et leurs usages.

Léonard à l'œuvre : l'œil, la main et le compas

Une formation atypique

- 3 Sans revenir en détail sur la biographie de Léonard de Vinci, relevons quelques éléments éclairants de son parcours. Non universitaire, Léonard de Vinci ne pratique ni le latin ni le grec et travaille à partir d'écrits vulgarisés, tout en développant un goût certain pour des activités manuelles et expérimentales. Curieux de tout, il acquiert un sens aigu de l'observation doublé d'une capacité certaine à s'approprier de nouvelles connaissances. Adolescent, Léonard débute sa formation par des activités artisanales au sein d'un des plus importants ateliers de Florence, celui du peintre et sculpteur Andrea Del Verrochio (1435-1488). C'est une opportunité pour lui de se former à de nouveaux savoir-faire techniques en peinture, en sculpture mais aussi de côtoyer dans une ville en pleine expansion un univers foisonnant de métiers multiples, riche d'artisans et d'ingénieurs.
- 4 À vingt ans, il entre au service de la prestigieuse famille des Médicis. Léonard ne cultive pas uniquement un intérêt pour la peinture ou la sculpture, mais développe aussi un goût pour la conception de machines de guerre et civiles. Rappelons que les conflits, nombreux à l'époque, ont favorisé le développement de l'ingénierie militaire (Brioist 2013). Cette ingénierie puise dans des racines antiques, conjuguées à de nouvelles innovations techniques issues de l'ingénierie civile.
- 5 Léonard connaît les travaux des grands architectes et ingénieurs de l'époque, que ce soit Filippo Brunelleschi (1377-1443), célèbre pour avoir réalisé le dôme de la Cathédrale de Florence, Francesco di Giovanni dit « le Francion » (1428-1495)³ également florentin, Francesco d'Angelo dit « le Cecca », Mariano di Jacopo (1382-1453) dit « Taccola », réputé pour ses traités techniques⁴. Il s'inscrit dans la continuité de ces figures majeures d'ingénieurs-constructeurs. Lorsqu'il se présente à Milan pour entrer au service du duc Ludovic Sforza, c'est en tant qu'ingénieur, et non comme artiste, peintre ou sculpteur (Brioist 2013).

Léonard de Vinci et les dessins techniques de machine

- 6 La pratique du dessin technique est répandue dans la sphère des ingénieurs et architectes lorsque Léonard débute. Bruno Jacomy explique :

« Le dessin technique tient dans ce climat d'innovation [ndlr Le Moyen Âge et la Renaissance] une place fondamentale. (...) En ce qui concerne le dessin technique – et l'on peut déjà employer ce terme pour les architectes de cathédrales, les carnets d'ingénieurs et/ou les premiers traités techniques – une règle consiste à représenter chaque élément d'un ensemble technique sous l'angle le plus explicite, indépendamment d'un quelconque réalisme. (...) Cette tradition de graphisme va profondément évoluer au cours de la Renaissance. Le

trait s'affine et se précise, la perspective tout d'abord cavalière va se formaliser elle aussi sous l'impulsion des Dürer, Luca Pacioli, Filarete ou Alberto. » (Jacomy 1990 : 194-196)

- 7 Le recours au dessin constitue d'ores et déjà une « réduction en art » de pratiques et de techniques où les auteurs vont « rassembler des savoirs épars, fragmentaires et souvent non-écrits, les mettre en ordre méthodique à l'aide de mathématiques, de la rhétorique, de la figuration » (Dubourg-Glatigny, Vérin 2008 : 1). Léonard s'intéresse à tous types de machines correspondant à différents métiers et applications : des machines militaires (chars, armes...), des machines destinées au travail des artisans (des scies, des machines textiles), des machines de chantier (machine de levage), machines de spectacle (char et automates), ainsi que des machines imaginaires (machines volantes). Pour l'historien de l'art Daniel Arasse (Arasse 1998 : 158-167), il est difficile de dresser une typologie de ces machines ; néanmoins, quatre « familles » de dessin émergent, chacune ayant des statuts différents :
- Des dessins de machines déjà connues parfois dès l'Antiquité, que Léonard reproduit, et parfois optimise ;
 - Des dessins répondant à des commandes particulières de la Cour relevant du génie civil et militaire (machines hydrauliques, ponts, chars, etc...) et, dans ce cas, ce sont des présentations de projet ;
 - Des dessins descriptifs de dispositifs mécaniques ;
 - Des dessins de machines imaginaires.
- 8 Pascal Brioist rejoint Daniel Arasse sur l'idée d'un statut différent des dessins, tout en l'analysant d'une autre manière :

« Certains dessins ont vocation documentaire, ce sont par exemple des croquis pris sur le vif de machines existantes ou encore des copies de carnets de contemporains (...). D'autres dessins ont vocation heuristique, c'est-à-dire qu'ils répondent au besoin de clarifier une idée en crayonnant un schéma (...). Certains correspondent également à des illustrations d'éléments (...), d'autres infiniment plus complexes, agencent de multiples vues dans des perspectives différentes, parfois avec éclatés ou des zooms sur des détails et visent probablement à aider l'artisan qui réalisera la machine ou à convaincre le commanditaire qui paiera pour eux. » (Brioist 2011 : 9)

- 9 De manière générale, ces dessins impressionnent par leur grande qualité d'exécution. Considéré comme un grand observateur, Léonard sait saisir avec perfection les détails (fig.1).

Fig.1. Étude de chariots avec des faux

Cette réalisation de Léonard impressionne dans la maîtrise de représentation des détails et des mouvements.

Léonard de Vinci, encre sur vélin, 1482-1485, Bibliothèque Royale, Turin, Italie

- 10 Parmi les nombreux exemples disponibles, arrêtons-nous sur « l'ascenseur à manivelle » (fig.2). Ce croquis présente un dispositif pour la transformation des mouvements alternatifs en mouvements continus. Ce travail de représentation de l'objet technique et plus spécifiquement de la mécanique associe plusieurs caractéristiques dont deux majeures : d'une part, la présentation en « vue éclatée » du système où chaque pièce constitutive est représentée, d'autre part, la maîtrise de la mise en volume qui permet des représentations de perspective axonométrique en trois dimensions.

Fig.2. L'ascenseur à manivelle

Ce dispositif mécanique présente des vues éclatées d'un mécanisme. Chaque élément est représenté en volume, ce qui permet une approche didactique du mécanisme.

Léonard de Vinci, Ms. Madrid. I, fol. 9r. Madrid, *Bibliotheca nacional*, Espagne

- 11 Pour accentuer ces effets de volume, Léonard joue avec les effets d'ombre et de transparence en utilisant une technique particulière de dessin, le *sfumato*⁵. Cette technique, propre à Léonard, est utilisée également dans ses travaux de peinture ; elle consiste à flouter les contours d'un objet afin de lui donner de la profondeur. D'autres techniques de dessin viennent accentuer les effets de volume, ainsi l'usage de hachures et d'ombres. Un autre aspect important de ses dessins de machines est la manière dont le mouvement et les séquences cinématiques sont représentés. Léonard s'applique à décomposer les éléments de manière systématique, chaque élément représentant une fonction, le tout ordonné dans une chronologie.
- 12 Si d'autres de ses prédécesseurs ont également produit des dessins de machines avec des vues éclatées et des transparences, Léonard se distingue par la qualité de son dessin et sa démarche « démonstrative » :

« (...) Il lui arrive de représenter sous plusieurs points de vue, et surtout, de présenter jusqu'au détail de ces mécanismes sous forme éclatée, « anatomique ». (...) Cette approche anatomique n'est pas sans surprendre. Elle correspond à une recherche intellectuelle précise : abandonnant dans sa pratique théorique l'habitude du cas par cas, Léonard vise à analyser et à recomposer les « éléments », c'est-à-dire les mécanismes, sur lesquels repose le fonctionnement de machines diverses. Il tente de reconduire ces machines à un nombre limité « d'organes » et une des caractéristiques de l'esprit dans lequel il aborde son activité d'ingénieur tient à ce qu'il porte autant

d'attention au détail de chaque élément qu'à l'ensemble de la machine. » (Arasse 1997 : 169)

- 13 Daniel Arasse n'hésite pas à qualifier de « technologique » le travail d'analyse graphique de Léonard : « (...) [Léonard] se différencie de ses collègues : en menant une réflexion systématique sur les 'éléments' fondamentaux de la mécanique appliquée, il dépasse le statut de 'technicien' pour devenir le premier 'technologue' de l'histoire européenne » (Arasse 1997 : 166-167). Dans la même idée, Pascal Brioist dans son article « Mécanique : la réduction en art » relève de nombreux exemples d'éléments individualisés sur une planche dédiée : vis, engrenages, cames, ressorts, poulies et chaînes... Cette manière de décomposer des systèmes, élément par élément, illustre un mode de pensée analytique de la mécanique. (Brioist 2011 : 52-53). Benjamin Ravier parle à ce propos de « topiques » de pensée (Ravier 2017).
- 14 Léonard projetait-il l'écriture d'un ouvrage dédié ? C'est ce qui est évoqué dans le Codex de Madrid quand il mentionne un livre des « éléments de machines » ; cet ouvrage ne semble pas avoir vu le jour, mais comme Pascal Brioist l'indique : « cette méthode léonardienne de décomposition est avant tout pratique, il s'agit pour le Toscan d'identifier le vocabulaire de base d'une langue de la mécanique encore à construire » (Brioist 2013b).

Instruments de mesures et mathématiques

- 15 Pour répondre à ses questionnements, parallèlement à ses écrits et ses croquis, Léonard de Vinci met au point un grand nombre d'instruments de précision pour la réalisation d'expériences ou pour la mise en œuvre de projets de construction. Parmi les nombreux outils conçus, citons entre autres, des hygromètres pour quantifier l'humidité ou encore des odomètres, des instruments de mesure de distance. La mesure tient donc une place de premier ordre dans les travaux techniques de Léonard.
- 16 En matière de dessin de machines, Léonard cherche à atteindre une grande précision. La maîtrise qu'il a de la géométrie tient un rôle fondamental pour le rendu des perspectives. Léonard adapte ou améliore des outils, notamment des compas (Daumas 1952 : 133-136 ; Raynaud 2009). Le *Codex Atlanticus* et le *Codex Forster* en présentent quelques-uns :
 - Compas parabolique (Codex Atl.396, fig.3) ;
 - Compas de proportion (Forst I 4 r, MS. H 108v, fig.4) ;
 - Compas à verge (MS. B 57 v) ;
 - Compas à plusieurs branches, sorte de système articulé destiné à résoudre le problème d'Alhazen.

Fig.3. Compas parabolique

Léonard de Vinci concevait les instruments dont il avait besoin. La mesure est au centre de ses préoccupations. En matière de dessin, il a mis au point et optimisé un certain nombre de compas pour reproduire des lignes de perspectives pertinentes.

Léonard de Vinci, *Codex Atlanticus* f 696 (codex-atlanticus.it)

- 17 Dans l'article *Mécaniser la perspective : les instruments entre pratique et spéculation*, Pascal Dubourg-Glatigny analyse le rôle des outils mécaniques dans la pratique du dessin. Ainsi, il définit l'instrument, *In/Strumento* comme « un procédé intellectuel répondant à certaines règles et se traduisant dans une opération matérielle », et ajoute « à la rigueur de la main se substitue la certitude des mathématiques » (Dubourg-Glatigny 2013 : 24). Ce regard peut être appliqué au rapport de Léonard avec les instruments de dessin, les compas tout particulièrement.
- 18 Camille Frémontier-Murphy évoque ses liens avec le mathématicien milanais Luca Pacioli, auprès de qui il prit des cours particuliers. Elle décrit comment il s'approprie des théories mathématiques avec des applications pratiques. Sous l'influence du mathématicien, Léonard « (...) cherche à faire du monde des machines, 'paradis des mathématiques', une application et une exploitation des lois de la mécanique universelle » (Arasse 1997, 167). Cela l'amène à renouveler l'usage du compas de proportion, qu'il introduit l'usage dans l'arsenal cognitif des ingénieurs :

« Il est ainsi symptomatique de trouver l'un des premiers modèles de compas de proportion des temps modernes dans le traité manuscrit quasi complet que Léonard de Vinci a rédigé sur la transformation des figures planes et solides, le *Codex Forster*, et particulièrement dans la dernière partie du traité, celle non rédigée où Léonard a regroupé ses approches expérimentales de la question. L'instrument n'y est plus utilisé dans le cadre de la conception modulaire des

ingénieurs de l'Antiquité. Il est introduit à la suite de transformations de figures résolues à l'aide de constructions classiques de géométrie, comme celle d'une pyramide régulière dont le volume équivaut à un tiers d'un cylindre de base et de hauteur égale. Une fois tous les résultats ramenés à une série de rapports entre des longueurs, ces derniers pouvaient être calculés par l'instrument. Puisque à cette époque un problème mathématique était considéré comme résolu s'il pouvait être construit géométriquement, et qu'un instrument ne faisait pas alors partie des éléments d'élaboration traditionnellement reconnus comme acceptables, le seul fait d'utiliser le compas de proportion pour rendre possible l'application de certaines lois, revenait à lui faire jouer un rôle non négligeable dans l'écriture de nouvelles mathématiques pour les ingénieurs. » (Frémontier-Murphy 2014, en ligne)

Fig.4. Le compas de proportion

Le compas de proportion pour les rapports de $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{4}$, et $\frac{1}{8}$ comme expérience pour les transformations des figures.

Léonard de Vinci, Codex Forster I, n° MSL/1876/Forster/141/I, National Art Library, Museum

- 19 Pour Pascal Brioist, « L'originalité léonardienne réside avant tout dans une approche systématique et mathématisée des problèmes jusque-là inédite » (Brioist 2013 b). Cette nouvelle approche s'inscrit dans un environnement culturel d'artisans et d'architectes baignés de mathématiques, tels les Sangallo, architectes florentins ou encore les Volpaia, une famille d'astrolabistes (Raynaud 2007). Dans son ouvrage *Histoire populaire des sciences*, Clifford D. Conner analyse les liens au XVI^e siècle entre « les fabricants

d'instruments et les mathématiques pratiques », et présente les artisans comme étant des acteurs majeurs de la « Mathématisation de la nature » (Conner 2014 : 35-43).

- 20 C'est dans ce creuset que ses connaissances mathématiques conjuguées à ses savoir-faire manuels et expérimentaux ont contribué à forger une technicité qui, au sens défini par Anne-Françoise Garçon, « s'élabore à la confluence du déterminant matériel et de l'outillage mental mis à disposition par la culture environnante ». Elle l'analyse ainsi : « La technicité est le degré de concrétisation de l'objet (...) c'est-à-dire le degré de concrétisation de la topique de pensée forme/matière/fonctionnement. L'imagination technique se déploie grâce à une sensibilité particulière à la technicité des éléments ; c'est cette sensibilité à la technicité qui permet la découverte des assemblages possibles et conduit donc, *in fine*, à l'innovation » (Garçon 2017, en ligne).
- 21 Certains dessins techniques n'ont pas qu'une dimension fonctionnelle. Ils témoignent aussi d'un processus de recherche « en train de se faire » ; ils sont détachés de toute injonction de production. « (...) Les figures de Léonard n'ont pas seulement une valeur iconographique et anecdotique. Elles font partie intégrante de sa pensée et de ses recherches » (Huard, Grmek 1962). Ainsi Léonard innove dans sa pratique du dessin technique et dans la représentation de la mécanique. C'est dans ces prémices d'un langage technique que se reconnaissent nos contemporains ; c'est sans doute une des raisons du succès de Léonard aujourd'hui.

L'appropriation contemporaine des dessins de machine de Léonard

Le rôle des technologies numériques

- 22 Léonard est devenu au cours des siècles un véritable archétype du « génie-inventeur ». Dès la fin du XIX^e siècle, les études des historiens de l'art et des conservateurs ont participé à la diffusion des connaissances de son œuvre⁶. Aujourd'hui, le « style » des dessins de Léonard est connu de tous ; il porte une signification symbolique souvent associée à l'idée d'invention et de génie (fig.5). Ce phénomène est largement exploité tant d'un point de vue marketing que médiatique, comme en témoigne l'édition de nombreux titres et jeux qui lui sont dédiés, citons à titre d'exemple : *Les 50 plus grandes idées et inventions de Léonard de Vinci - 3 minutes pour comprendre*, *Les inventions de Léonard de Vinci* et de Jules Verne, *cinq machines étonnantes à monter et à collectionner* (fig.6).

Fig.5. Interprétation uchronique d'un appareil photographique dessiné « à la manière de... » Léonard.

Ce dessin « à la manière de » Léonard de Vinci témoigne de l'appropriation de ses travaux dans l'imaginaire collectif.

« Si Léonard de Vinci avait inventé l'appareil photo », © La boîte verte (laboiteverte.fr)

Fig.6. Première de couverture « Détache et crée les inventions de Léonard de Vinci, 4 maquettes à monter »

Léonard de Vinci est devenu au fil du temps un archétype du génie inventeur. De nombreuses publications destinées à un large public exploitent son image à des fins commerciales.

Collection personnelle

- 23 Les technologies numériques jouent sans doute un rôle important dans cette diffusion en masse. Les performances des outils de numérisation ont permis la reproduction et la diffusion de pages entières de *Codices*, ces célèbres carnets de travail dans lesquels Léonard consignait des notes, des esquisses et la plupart de ses dessins techniques. Ces formidables témoignages des travaux de Léonard sont à la portée de tous en un simple clic⁷. La *Biblioteca Leonardina* de Milan a numérisé la totalité des documents écrits connus ; ils sont aujourd'hui consultables sur le site e-Leonardo, *Digital archive of history of technology and science*⁸. Cet outil en ligne permet non seulement la visualisation des feuillets, mais intègre également des modules pour faciliter la compréhension des documents, comme, par exemple, un système intégré de lecture de l'écriture spéculaire (écriture « en miroir » caractéristique des écrits de Léonard).
- 24 Parallèlement à ces nouvelles capacités de reproduction et de diffusion, l'usage des outils de conception assistée par ordinateur (CAO) de modélisation numérique s'est démocratisé. Ces outils peuvent être déployés pour aider à la compréhension de l'objet, notamment par la décomposition d'éléments, ou bien pour reconstruire un objet parcellaire. Dans le cas de la représentation des machines de Léonard, les utilisateurs, techniciens ou ingénieurs, sont souvent tentés d'adapter les dessins originaux pour que les machines puissent concrètement fonctionner au risque « d'améliorer » certains dessins. Cette tentation d'anachronie peut s'immiscer plus ou moins consciemment dans l'esprit des concepteurs. Pourtant, certaines machines ne fonctionnaient pas. Il est donc nécessaire de conjuguer ces nouveaux outils à une expertise scientifique et historique.

- 25 Les outils numériques ont ouvert de nouvelles voies d'analyse des dessins de Léonard et en ont simplifié la représentation, facilitant ainsi la reproduction matérielle de machine. L'outil CAO est accepté et reconnu pour ces apports scientifiques dans des recherches à des fins patrimoniales, culturelles, et pédagogiques (Cotte 2012). Parmi les nombreux projets, citons Leonardo3D.net⁹, où la modélisation numérique a permis des réalisations de nouvelles maquettes virtuelles, ou encore le projet du Parc du Clos Lucé à Amboise, lieu dédié aux travaux de Léonard de Vinci proposant de nombreux dispositifs numériques innovants, en partenariat avec Dassault Systèmes (fig.7).

Fig.7. Maquette virtuelle au Clos Lucé

Maquette présentée dans le cadre de l'exposition « Léonard de Vinci à l'heure du virtuel » (2018), une exposition signée Clos Lucé en partenariat avec Dassault Systèmes

© Dassault Systèmes ; URL : www.vinci-closluce.com

Dessiner des machines avec des outils assistés par ordinateur

- 26 Les outils de Conception Assistée par Ordinateur (CAO) font aujourd'hui partie des outils de base utilisés par les techniciens et ingénieurs. Revenons sur les caractéristiques de cette gamme d'outils. Étroitement liés à l'appropriation de l'informatique par la production industrielle, les premiers outils développés ont été dédiés au Dessin Assisté par Ordinateur (DAO) à partir du milieu des années soixante-dix (Brun, Daniel 2015 : 386-387). Puis ces outils ont fusionné avec les nouveaux outils de modélisation 3D. Les outils de CAO permettent ainsi :

« la création d'un modèle (maquette virtuelle) ayant les deux propriétés suivantes : il doit représenter les propriétés de l'objet (au sens large) ; il doit être exploitable (calculs, simulations, préparation des gammes, etc.) (...). Pour mettre en œuvre la maquette virtuelle, le système de CAO gère des modèles et des connaissances. Les modèles sont des représentations d'objets existants ou en cours de conception. Ils sont divers : bibliothèques de visserie, avion, outillage, etc. Les connaissances représentent ce que l'on peut connaître¹⁰. »

- 27 Ils donnent accès à des paramétrages d'ordre géométrique, surfacique, mais aussi de mouvement. Ils intègrent des paramètres issus des connaissances théoriques, comme par exemple des lois des sciences des matériaux, de la mécanique, de la thermodynamique, mais aussi permettent d'accéder à une bibliothèque d'objets

normalisés, de réunir des fonctions volumiques avec des relations d'antériorité, des géométriques, des relations booléennes (ajout/retrait), des arbres de construction. Chaque ligne est associée à une fonction qu'on peut renommer à sa guise.

- 28 L'outil numérique permet également de générer des actions sur l'objet : l'extrusion, la révolution, le balayage, le perçage, le pli de tôle et de nombreuses autres fonctionnalités. L'utilisateur peut manier son objet dans un espace en trois dimensions en ayant différents points de vue « en temps réel ».
- 29 Nous constatons donc de nombreux traits communs méthodologiques dans la démarche léonardienne avec les outils contemporains de dessins techniques. Cette proximité n'est pas vaine ; il y a des filiations : « La définition de la forme des objets techniques a été marquée par deux techniques fondamentales : la perspective utilisée par Léonard de Vinci dans ses dessins d'ingénierie et la descriptive formalisée par Gaspard Monge (...) » (Brun, Daniel 2015 : 386).
- 30 Il est possible de dégager des constantes dans la méthodologie de représentation de machines : l'usage de projections en deux et trois dimensions, la représentation de la perspective par des vues axonométriques, mais aussi des vues éclatées des objets et de la prise en compte du mouvement. Des bases de données de pièces mécaniques intégrées aux logiciels évoquent les pages de « référencement » de pièces individuelles déjà évoquées.
- 31 Léonard mettait à profit une pensée technique pétrie de mathématiques, de géométrie, de ses connaissances physiques, tandis que nos contemporains utilisant la CAO, intègrent dans leur manière de penser une sorte de langage hybride où se croisent les fondamentaux scientifiques issus des mathématiques, de la physique, et des procédés industriels. Ces procédés intègrent des normes de standardisation décidées au niveau national et international (Neuwahl, Russo 2017 : 133).
- 32 L'un des facteurs du succès des dessins techniques de Léonard aujourd'hui est sans doute la proximité ressentie avec « l'écriture » de la mécanique proposée par Léonard. Cette écriture est le fruit d'une technicité associée à des modèles théoriques et d'une certaine vision du monde régie par les mathématiques.

Une illustration des régimes de la pensée opératoire ?

- 33 Au prisme de l'histoire des techniques, Anne-Françoise Garçon définit trois régimes de la pensée opératoire : pratique, technique et technologie (Garçon 2012 : 23). Les dessins originaux des machines de Léonard et les reproductions contemporaines par outils CAO cristallisent deux régimes de la pensée opératoire. Les techniques de dessin utilisées par Léonard de Vinci s'inscrivent dans le régime de la pensée opératoire de la technique :

« La variante européenne du régime de la technique se constitue à partir du XVI^e siècle. Dans une Europe fortement marquée par le sentiment de perte, l'écrit est apparu comme un moyen neuf et puissant pour inscrire les procédés techniques dans la mémoire collective, pour contrecarrer l'oubli. [...] Un nouvel habitus s'élabora. Le régime de la technique devint le propre de l'ingénieur. » (Garçon 2012 : 26)

- 34 Les différents facteurs décrits précédemment invitent à considérer ces travaux de Léonard comme « précurseurs » du mode régime de la pensée opératoire de la technique, notamment par la réduction en art de la mécanique. Ceci ne semble d'ailleurs pas fondamentalement nouveau, puisque que plusieurs travaux historiques ont amené à considérer la Renaissance comme une période décisive de l'essor des ingénieurs (Gille 1964 ; Vérin 1993). Les outils informatiques de CAO illustrent clairement les caractéristiques du régime de la technologie :

« En complément, à partir du XVIII^e siècle s'est développé le régime de la technologie, dominant dans nos sociétés dont l'*actum* – fondement de l'*habitus* technique – conjugue une approche raisonnée de la technique, une volonté de la transformer en une science de la production et de l'industrie. [...]. La technique rationalise le procédé ; la technologie rationalise conjointement le procédé, l'objet, et ses modalités d'usage. » (Garçon, 2012 : 26)

- 35 Les outils CAO, et par extension les outils FAO (Fabrication Assistée par Ordinateur), sont conçus à des fins d'efficacité de production d'objets virtuels ou réels. À cinq cents ans d'intervalle, les machines de Léonard constituent une sorte de dénominateur commun, un émerveillement partagé autour des techniques de la mécanique.
- 36 Envisager les pratiques de Léonard et les pratiques contemporaines au prisme des régimes de pensée opératoire définis par Anne-Françoise Garçon permet de préciser ces deux modes de pensée technique : le régime de la technique est la mise à l'écrit d'une pratique concrète, tandis que le régime de la technologie se définit par la mise en place d'une rationalisation de la pratique à des fins de production. Dans ces conditions, le processus de conception et l'imaginaire sont contraints par l'outil.
- 37 Ainsi, lorsqu'un dessin de machine de Léonard est réinterprété à l'aune des outils de CAO, il ne s'agit pas d'une reproduction « à l'identique » de l'objet imaginé par Léonard, mais d'une nouvelle proposition ancrée dans le temps du régime de la technologie. Cette analyse historique nous rappelle que les outils contemporains reflètent notre relation à la technique.

Pensée technique et imaginaire ?

- 38 Si une partie des dessins techniques de Léonard relève du domaine des travaux d'ingénieur, un grand nombre d'entr'eux, notamment les machines imaginaires, n'a pas vocation à être produit matériellement. Ils sont plutôt du ressort de « ce qu'il convient sans doute d'appeler la 'poétique des mécaniques', ou ce que Paolo Galluzi a appelé 'rêve technologique' » (Arasse 1997 : 166-167).
- 39 Pour réaliser ces dessins de machines imaginaires, Léonard s'est affranchi de ses connaissances théoriques et matérielles. Le dessin technique semble être devenu un langage autonome, une sorte de partition avec laquelle Léonard laisse libre court à son imagination. C'est sans doute le propre de l'artiste de proposer de nouveaux modes d'expression. Cette appropriation d'outils techniques comme expression de l'imaginaire nous invite à nous interroger sur son pendant contemporain et sur les développements de nouveaux outils de création graphique.

- 40 Actuellement, les outils « d'écriture technique » sont également utilisés dans la sphère artistique pour produire des objets qui ne sont pas destinés à être fabriqués matériellement ; c'est le cas notamment dans le monde du jeu vidéo : les concepteurs utilisent des outils CAO pour donner corps à leur imaginaire. Les développements récents d'outils de conception numérique puisent dans les gestes de la sculpture ou du dessin pour restituer le cheminement intuitif de la pensée. Que ce soit pour le dessin de machines imaginaires ou dans la simple esquisse, le geste accompagne la pensée. Anne-Françoise Garçon écrit : « Toute technique - mais non toute action - est d'abord une pensée (...) Le geste s'inscrit dans une carte mentale incorporée, acquise, transmise, soumise à modification ». (Garçon 2012 : 12). S'intéresser au geste technique offre une voie d'accès complémentaire à la restitution d'une pensée technique.
- 41 Dans une leçon inaugurale du Collège de France intitulée « Façonner l'imaginaire, De la création numérique 3D aux mondes virtuels animés », Marie-Paule Cani, spécialiste de l'informatique graphique, analyse : « Le support idéal permettant d'observer des objets à peine entrevus mentalement, d'ébaucher leur mouvement avant même que les formes ne soient précises, puis de raffiner progressivement ces contenus jusqu'à une œuvre aboutie, n'existe pas encore. Mais les avancées actuelles permettent d'énoncer un certain nombre de principes qui permettront d'atteindre ce but comme l'alchimie créée par l'injection de connaissances dans les modèles, mariée à des gestes de création intuitifs » (Cani 2015). Ces nouveaux outils technologiques où l'imaginaire pourra en temps réel dialoguer avec son environnement ouvrent des perspectives passionnantes. Du point de vue de l'histoire des techniques, ce nouveau stade où innovation et production interagissent en co-construction annonce-t-il un nouveau régime de pensée opératoire ?

BIBLIOGRAPHIE

ARASSE Daniel, *Léonard de Vinci*, Paris, Éditions Hazan, 1997 (2019)

LAURENZA Domenico, TADDEI Mario, ZANON Edouardo, *Les machines de Léonard de Vinci Secret et inventions des codex*, Paris, Grund, 2006

BRIOIST Pascal, *Léonard de Vinci. Arts, Sciences et Techniques*, Paris, La Documentation française n°8079, 2011

BRIOIST Pascal, *Léonard de Vinci, homme de guerre*, Paris, Alma éditeurs, 2013 (a)

BRIOIST Pascal, « La diffusion de l'innovation technique entre XV^e et XVI^e siècle : le cas Léonard de Vinci », *e-Phaistos, Revue d'histoire des techniques*, Vol.2, n°1, 2013 (b) ; DOI : 10.4000/ephaistos.3811

BRUN Jean-Marc, DANIEL Marc, « Modélisation géométrique : l'héritage de Pierre Bézier », dans *Le monde du génie industriel au XX^e siècle, autour de Pierre Bézier et des machines-outils*, Belfort, Éditions de l'UTBM, 2015, p.375-400

CANI Marie-Paule, *Façonner l'imaginaire. De la création numérique 3D aux mondes virtuels animés*, Paris, Collège de France, 2015 ; DOI : 10.4000/books.cdf.4750

- CONNER Clifford D., *Histoire populaire des sciences*, Paris, Seuil (2005), 2014
- COTTE Michel, « Les outils numériques au service de l'histoire des techniques », *e-Phaïstos, Revue d'histoire des techniques*, Vol.1, n°2, 2012 ; DOI : 10.4000/ephaistos.392
- CAPRA Fritjof, *Léonard de Vinci, homme de sciences*, Paris, Actes Sud, 2010
- DAUMAS Maurice, « Les instruments d'observation au XV^e et XVI^e siècle », *Léonard de Vinci et l'expérience scientifique au seizième siècle*, colloques internationaux du Centre National de la Recherche Scientifique, Paris 4-7 Juillet 1952, Éditions du CNRS et des PUF, Paris, 1953, p.131-136
- DUBOURG-GLATIGNY Pascal, « Mécaniser la perspective entre pratique et spéculation », *e-Phaïstos, Revue d'histoire des techniques*, Vol.2, n°1, 2013 ; DOI : 10.4000/ephaistos.1381
- FRÉMONTIER-MURPHY Camille, *Le compas de proportion de Galilée et les mathématiques des ingénieurs de l'époque moderne*, <https://culturemath.ens.fr/>, 2014. Première version de cet article : « A New Mathematical Vision for an Innovative Calculating Instrument: Galileo's Sector », *Bulletin of the Scientific Instrument Society*, n°118, 2013, p.35-43
- GARÇON Anne-Françoise, *L'imaginaire et la pensée technique. Une approche historique, XVI^e-XX^e siècle*, Paris, Classiques Garnier, 2012
- GARÇON Anne-Françoise, « Une brève histoire de la culture technique européenne et de sa relation à l'innovation », *Technologie et innovation*, vol.17, n° 4, 2017 ; URL : https://www.openscience.fr/IMG/pdf/iste_techinn17v4n2.pdf
- GILLE Bertrand, *Les ingénieurs de la Renaissance*, Paris, Seuil, (1964), 1978
- GOLDSCHMIDT Gabriela, « The dialectics of sketching », *Creativity Research Journal*, vol.4, n°2, 1991, p.123-143; DOI : 10.1080/10400419109534381
- HUARD Pierre, GRMEK Mirko Drazen, *Leonard de Vinci. Dessins scientifiques et techniques*, Éditions Roger Dacosta, Paris, 1962
- JACOMY Bruno, « Dessin artistique, dessin technique », *Une histoire des techniques*, Paris, Seuil, 1990
- NEUWAHL Alexander, RUSSO Davide, « Une approche multidisciplinaire à l'utilisation de l'analogie dans la reconstruction de l'histoire des machines de la Renaissance », in BEAUNE Sophie de et al. (dir.), *L'Analogie dans les techniques*, Paris, CNRS éditions, p.119-138
- RAVIER-MAZZOCCO Benjamin, « Lire les images de machines, Essai pour une typologie analytique des images techniques (XV^e-début XIX^e) », *e-Phaïstos, Revue d'histoire des techniques*, Vol.1, n°2, 2012 ; DOI : 10.4000/ephaistos.450
- RAVIER-MAZZOCCO Benjamin, « La topique et ses avatars : comment concevoir le mouvement dans une machine ? » in BOUILLON Didier et al. (dir), *Gestes techniques, techniques du geste*, Villeneuve d'Ascq, Presses universitaires du Septentrion, 2017 ; DOI : <https://doi.org/10.4000/books.septentrion.12377>
- RAYNAUD Dominique, « Le tracé continu des sections coniques à la Renaissance, applications optico-perspectives, héritage de la tradition mathématique arabe », *Arabic Sciences and Philosophy*, vol.17, n°2, 2007, p.299-345 ; DOI: 10.1017/S0957423907000422
- VÉRIN Hélène, « Rédiger et réduire en art : un projet de rationalisation des pratiques », in DUBOURG-GLATIGNY Pascal et VÉRIN Hélène (dir.), *Réduire en art. La technologie de la Renaissance aux Lumières*, Paris, éd. MSH, 2008

VÉRIN Hélène, *La gloire des ingénieurs : l'intelligence technique du XVI^e au XVIII^e siècle*, Paris, Albin Michel, 1993

NOTES

1. Dans la foulée de cet événement, une exposition rétrospective inédite et au retentissement international s'est tenue au musée du Louvre en octobre 2019.
2. Sept *Codices*: Codex Arundel, Londres, *British Library* ; Codex Atlanticus, Milan, *Biblioteca Ambrosiana* ; Codex Forster, Londres, *Victoria and Albert Museum* ; Codex Trivulzianus, Milan, Castello Sforzesco ; Codex de Madrid, Madrid, *Biblioteca Nacional* ; Codex de Turin, ou Codex sur le vol des oiseaux, Turin, *Biblioteca Reale* ; Codex Leicester, collection privée Bill Gates ; ainsi que les Manuscrits A, B, C, D, E, F, G, H, I, K, L, M, Paris, Institut de France (Brioist 2013 : 317-318).
3. « Ingénieur de la République pour l'artillerie des machines de guerre, l'entretien et la réparation des forteresses » (Brioist, 2013).
4. Citons *De Ingeniis*, Libri I-II, Bibliothèque Nationale Centrale de Florence et le codex *De Machinis* New-York Library.
5. « Effet vaporeux qui donne au tableau des contours imprécis ». (Dictionnaire *Trésor de la Langue Française*, ATILF).
6. Une première compilation des travaux de Léonard par Jean-Paul Richter, *The Literary Works of Leonardo da Vinci Compiled and Edited from The Original Manuscript*, Paris, 1883.
7. Le Codex de Madrid numérisé : <http://leonardo.bne.es/index.html>.
8. <http://www.leonardodigitale.com> consulté le 13/08/2018.
9. <http://www.leonardo3.net/en/the-museum/>.
10. Techniques de l'ingénieur : <https://www.techniques-ingenieur.fr/base-documentaire/genie-industriel-th6/outils-pour-la-conception-42663210/cao-modelisation-geometrique-h3750/objectif-h3750niv10001.html>.

RÉSUMÉS

Léonard de Vinci a légué un grand nombre de dessins de machines, mais aucun artefact. Ces dessins font l'objet aujourd'hui de multiples réinterprétations et réappropriations. Cet article propose une lecture des dessins de machines et d'objets techniques de Léonard de Vinci au prisme des instruments et des méthodes de dessin : des modes de production et de représentation. Du compas aux outils numériques, que révèlent les objets et les pratiques ? En quoi la pratique du dessin de Léonard de Vinci est-elle innovante ? Peut-on dégager des filiations avec les outils numériques ? Qu'exprime l'engouement contemporain pour ces dessins techniques de machines ? Analyser historiquement les pratiques de dessin technique permet-il de saisir les contours d'une pensée technique ?

Leonardo da Vinci left a large number of drawings of machines, but no artefacts. Today, these drawings are subject to multiple reinterpretations and reappropriations. This article proposes a reading of Leonardo da Vinci's drawings and technical objects through the prism of the instruments and methods of drawing: modes of production and representation. From compasses to digital tools, what do the objects and practices reveal? How is Leonardo da Vinci's drawing

practice innovative? Can we identify filiations with digital tools? What does the contemporary passion for these technicity drawings of machines express? Does a historical analysis of technical drawing practices allow us to grasp the contours of technical thought?

INDEX

Mots-clés : histoire des techniques, dessin technique, CAO, conception, pensée technique, imaginaire

Keywords : history of technology, technical drawing, technical design, Computer Aided Design (CAD), technical thinking, imaginary

AUTEUR

ANNE-SOPHIE ROZAY

Chargée d'inventaire et de valorisation du patrimoine matériel et immatériel de l'enseignement supérieur et de la recherche en Normandie dans le cadre de la mission nationale PATSTEC, Anne-Sophie Rozay est cheffe de projet du réseau Résitech. Le réseau Résitech est porté par l'INSA Rouen Normandie en partenariat avec l'Université de Rouen Normandie et l'Université Caen Normandie. Doctorante depuis 2019 au laboratoire EST (Étude, Sciences et Techniques) de l'Université Paris-Saclay, Anne-Sophie Rozay axe ses travaux de recherche sur les objets scientifiques comme source de connaissances historiques.