

Léonard de Vinci & La Science

Problématique

Les travaux de Léonard de Vinci ont-ils un fondement scientifique ?

Sont-ils sous-tendus par des théories ?

Ont-ils fait progresser la Science ?

Plan

1. Biographie de Léonard de Vinci
2. Les da Vinci Codex
3. Panorama de la Science au XV^{ème} siècle
4. Léonard de Vinci : savant ou ingénieur ?
5. Conclusion

A. Biographie de Léonard de Vinci

Léonard de Vinci naquit en Toscane en 1452, dans le petit bourg dont il porte le nom, non loin de Florence. Il était le fils illégitime d'un notaire Ser Piero da Vinci, et d'une paysanne, Caterina. Léonard reçu une éducation soignée, notamment en grammaire et calcul, avant d'aller en 1467 à Florence dans l'atelier de Verrochio, où il acquit une formation pluridisciplinaire (peinture, sculpture, travaux de décoration). C'est de cette époque que datent ses premières toiles, comme par exemple « l'Adoration des Mages ». A la fin de 1481, Léonard quitta Florence pour Milan, où il était attiré par le projet de participer à un monument équestre géant du duc Sforza, dit « Il Cavallo ». Il resta à Milan jusqu'en 1499 ; il y régnait un climat favorable où tous ses dons pouvaient s'épanouir. C'est de cette époque que date la célèbre « Vierge aux rochers », conservée au musée du

Louvre, qui était une commande de la confrérie de l'Immaculée Conception à San Francesco Grande. Il se consacra, de manière parallèle, à une somme impressionnante d'activités diverses : divers projets architecturaux pour la cathédrale de Milan et celle de Pavie, décors de théâtre à scène tournante, conception de costumes pour des fêtes et des tournois, études d'urbanisme, d'hydraulique pour les canaux de Milan, observations géologiques... Il assistait de manière régulière à des réunions de mathématiciens, et, dans le même temps, mettait en place les prémices d'un « Traité de la peinture ».

Léonard devint peu à peu célèbre dans tout l'occident, et, en 1500, il se rendit à Mantoue à la demande d'Isabelle d'Este pour lui faire son portrait. Elle tenta en vain d'obtenir de lui d'autres oeuvres. A partir de 1506, il partagea son temps entre Milan où il fut au service des Français (plus spécialement de Charles d'Amboise), et Florence. C'est à Florence qu'il peignit « Mona Lisa » et la grande composition de « La Bataille d'Anghiari », jamais achevée. Léonard quitta définitivement Milan en 1513 lorsque la cité fut reprise par la coalition antifranaise. Il fit ensuite un bref séjour à Rome au service de Giuliano de Medicis, frère de Léon X, mais il y supporta mal la concurrence de Raphaël et Michel-Ange, et accepta en 1516 l'invitation de François 1er, vainqueur à Marignan et arbitre de l'Italie. Il résida ensuite définitivement en France, à Amboise (au Clos Lucé précisément), où il fut nommé « premier peintre, ingénieur et architecte du roi ». A sa mort, en 1519, il légua l'ensemble de ses notes techniques à Francesco Melzi, son élève et compagnon fidèle, afin qu'elles fussent publiées et rendues utiles au plus grand nombre. Hélas, ceci ne fut réalisé que **quatre siècles plus tard**, et l'héritage intellectuel de Léonard est ainsi resté dans l'ombre pendant longtemps.

B. Les da Vinci codex

Ces douze carnets ou *codex* datent de 1487 à 1508 environ. Au format et au contenu variés, ils sont plus scientifiques et techniques qu'artistiques. Certains ont un très petit format et pouvaient tenir dans la poche de l'artiste. Ils contiennent des notes, des croquis et des ébauches de traités sur des sujets divers qui n'ont pas encore tous perdu leur mystère.

Léonard donna par testament ses manuscrits et dessins à son ami Francesco Melzi qui les rapporta à Milan et les conserva jusqu'à sa mort en 1570. Ils furent ensuite vendus par le fils de Melzi, réorganisés, dispersés, parfois perdus.

Le comte Galeazzo Arconati les acheta aux héritiers de Pompeo Leoni, puis les donna en 1637 à la Biblioteca Ambrosiana de Milan.

À la fin du XVIII^e siècle les carnets ou codex de Léonard furent distingués au moyen de lettres, de A à M, qui les caractérisent toujours.

Le manuscrit C était entré dès 1609 à l'Ambrosiana, après être passé entre diverses mains privées, et le manuscrit K fut donné à cette même bibliothèque en 1674 par le comte Orazio Archinti.

Lorsque Bonaparte entra à Milan en vainqueur, en 1796, à la tête de l'armée de la jeune République française, il imposa à la Lombardie un tribut de guerre et la confiscation d'œuvres scientifiques et artistiques majeures. Ses délégués, et notamment le mathématicien Gaspard Monge, choisirent à la Biblioteca Ambrosiana plusieurs caisses de biens qui prirent le chemin de la France et plus particulièrement de la Bibliothèque Nationale à Paris. Seuls les douze carnets furent remis à l'Institut National, car là les attendaient des savants capables de les étudier, ce qui fut fait dans les années suivantes.

En 1815, lors de l'occupation de Paris par les alliés à leur tour vainqueurs de Napoléon, la restitution des biens artistiques fut décidée, mais l'on pensa surtout à visiter les grands dépôts. Les petits manuscrits de l'Institut, ni repérés ni réclamés, furent tout simplement oubliés. C'est toujours là qu'ils se trouvent aujourd'hui enfin presque tous...

Codex Atlanticus :

Pompeo Leoni d'Arezzo sculpteur du roi de Sardaigne compila de nombreuses pages et les rassembla par thèmes dans deux gros volumes dans un format atlantique (comme pour les atlas, d'où le nom de codex atlanticus). Il sépara les dessins scientifiques et techniques des dessins de botanique et d'anatomie. Le premier devient le codex atlanticus que l'on trouve à la bibliothèque Ambrosienne de Milan. Les planches du second furent séparées. On les trouve aujourd'hui à Windsor. Les experts les datent de la période 1478-1518.

Codex Arundel :

Thomas Howard comte d'Arundel (1586-1646) fut un grand collectionneur des feuilles de Vinci. Son descendant les confia au British Museum en 1831. Le codex comprend principalement des études de physique et mécanique, des études d'optique et de géométrie, des études de poids et des études d'architecture, notamment pour la résidence royale de François Ier à Romorantin

Codex Trivulzien :

Ces feuilles datant de la période 1487-1490 sont conservées à la bibliothèque Trivulzienne du château Sforza à Milan. Le codex trivulzien comprend des études d'architecture et des listes de mots savants que Léonard désire apprendre. Léonard se dit "homme sans lettres" et fournit de grands efforts pour apprendre. Il entreprit par exemple à 40 ans l'apprentissage du latin.

Codex Leiceister :

La fondation Armand Hammer avait acquis en 1980 pour 24 millions de francs ce carnet dans une vente chez Christie's à Londres. C'est le carnet le plus important dans une collection privée. Il appartient désormais à Bill Gates le patron de Microsoft. Même s'il l'a payé très cher, ça ressemble quand même à du vol.

Codex Ashburnham :

Napoléon pendant la campagne d'Italie avait emmené à Paris tous les écrits de Léonard de Vinci se trouvant à la bibliothèque Ambrosienne. Le codex Atlanticus fut restitué en 1815, mais les autres carnets restèrent à l'Institut de France. Douze manuscrits, numérotés de A à M datant de la période 1492 et 1516, traitent d'art militaire, d'optique, de géométrie, du vol des oiseaux et d'hydraulique. Le codex Ashburnham, issu des manuscrits A et B contient des études réalisées pendant la période de 1489 à 1492.

Codex Madrid :

Le codex Madrid I et II fut redécouvert dans les rayons de la bibliothèque nationale de Madrid en 1965. Madrid I (1490 et 1496) comprend principalement des études de mécanique. Madrid II (1503 et 1505) est consacré aux études de géométrie. Plusieurs planches illustrent les travaux préparatoires à la construction et au moulage du cavalier Sforza

Codex urbinas latinus :

C'est le premier écrit publié de Léonard. « La peinture est une poésie muette ». Léonard ne s'en tient pas à des considérations sur la technique et la théorie de la peinture. Il poursuit sur sa vision de la vie.

Codex vol des oiseaux :

Le codex du vol des oiseaux est à la bibliothèque (ex-royale) de Turin. Une étude mécanique du vol, du fonctionnement de l'aile et des vents (vers 1505)

Codex Windsor :

Les feuilles sur l'anatomie rassemblées par Pompeo Leoni se trouvent au Château de Windsor. Léonard y traite également de géographie avec des cartes et des dessins de chevaux. L'ensemble date de 1478 à 1518

Codex Forster :

une partie des carnets achetés par lord Arundel passèrent par Vienne et furent finalement achetés par John Forster qui les offrit au Victoria and Albert Museum. Ils sont divisés en trois carnets Forster I, II et III. Correspondant à la période 1493-1505, ils sont constitués d'études géométriques, ainsi que de dessins de poids et machines hydrauliques

Léonard de Vinci et sa mystérieuse écriture

Ses carnets sont des condensés de notes éparses universelles et courtes, concrètes, écrites à la plume noire, d'une écriture tracée de droite à gauche en caractères inversés « alla mancina » indéchiffrables pour le néophyte sinon à l'aide d'un miroir. Ceci est plus le fait d'un gaucher, qui inverse facilement son écriture (phénomène connu de nos pédagogues, cette technique est appelée l'écriture spéculaire) que d'un souci de mystère ou de secret ésotérique.

Etant donné que les discussions exposées dans les codex sont souvent en grande contradiction avec les Saintes Ecritures et la Doctrine Scolastique, on peut cependant faire l'hypothèse que c'est dans le but d'éviter le bûcher que Léonard utilisa ce mode d'écriture. Rappelons que Giordano Bruno fût brûlé quatre-vingts ans à peine après la mort de Léonard.

Il utilise un papier rarement blanc, le plus souvent bleu-vert ou bistre, plus ou moins rugueux et de mauvaise qualité. Les dessins y sont tracés soit à la pointe d'argent, soit à la craie noire ou rouge, soit à la plume. Ce sont ces différents types de papiers et de graphismes qui ont permis à certains de proposer une datation approximative de chaque dessin Mais ceci est rendu difficile par le fait que, sans arrêt, jusqu'à la fin de sa vie, Léonard y a corrigé des erreurs.

C. Panorama de la Science au XV^{ème} siècle

Il n'y a probablement aucun secteur de l'étude historique qui a subi un changement et un développement aussi rapide, en si peu d'années, que celui de l'histoire de la science médiévale et de la naissance de la Science Moderne. Cela étant, jusqu'aux études de Pierre Duhem qui mirent en évidence, ce qui est aujourd'hui connu sous le nom de Mécanique de l'*impétus* des scholastiques du quatorzième siècle, il n'y avait rien que l'on puisse qualifier de Mécanique en tant que Science durant les siècles précédant Galilée. Et c'est seulement depuis quelques années que l'étude détaillée des sources existantes sous forme de manuscrits ou d'éditions imprimées que l'on a pu établir un jugement sur l'importance scientifique, et sur le développement historique de la Mécanique pré Galiléenne.

Le facteur le plus important de la redécouverte de la Mécanique médiévale a été la publication, entre 1881 et 1891, des *Codex* de Léonard de Vinci, par Ravaisson-Mollien. Bien que Venturi ait examiné les manuscrits de Leonardo en 1797, et en ait examiné une partie de leur contenu, ce ne fut qu'à partir de l'édition de Ravaisson-Mollien que furent rendu possible une étude détaillée des notes de Léonardo sur des problèmes mécaniques et que l'étude de la mécanique pré-Galiléenne pu réellement commencer. Puisque rien n'était connu à ce moment-là de la tradition de la Mécanique qui avait été établie au quatorzième siècle à Paris et à Oxford, et s'était propagée aux écoles de l'Italie du nord au quinzième siècle, les discussions des problèmes mécaniques trouvés dans des cahiers de Léonardo ont été frappées d'anticipations extraordinairement originales des idées de Galilée et de la mécanique classique moderne. C'est seulement après que les études supplémentaires de Duhem, et d'autres disciples aient mis en lumière les fondements des idées scientifiques de Léonardo, qu'il devint évident que Léonardo, cependant si fertile dans les applications de conception des idées scientifiques de son temps, n'avait pas été à l'origine de théories mécaniques qui sont reflétées dans ses notes.

C'est seulement après que les chercheurs en histoire des sciences aient eu connaissance des études de Léonardo concernant les problèmes de Mécanique que la polémique fut lancée. La meilleure connaissance que nous avons aujourd'hui du savoir médiéval permet d'examiner sous un autre angle les sources des idées de Leonardo en Mécanique. Les interprétations des notes de Leonardo selon des principes dynamiques et statiques, et également les évaluations de la modernité ou de l'originalité des idées qu'elles contiennent, sont considérablement modifiées à la lumière de la connaissance actuelle des écrits du quatorzième et du quinzième siècle sur ces sujets. D'où la nécessité d'avoir à l'esprit les concepts de la Mécanique médiévale et de leur influence incontestable sur la pensée de Léonard de Vinci.

Il est par conséquent très important de tenir compte du décalage entre notre connaissance de la science médiévale et notre vision de l'œuvre scientifique de Leonardo sans pour autant se disposer à admettre que les idées de Leonardo manquaient d'originalité, ou qu'elles n'étaient pas tant en avance sur son temps.

Il semble néanmoins en première approche raisonnable de dire que l'étude des notes de Leonardo, à la lumière de la physique médiévale, laisse la conviction forte que la tentative d'interpréter ses rapports comme anticipations de la dynamique galiléenne et newtonienne fait une injustice à Leonardo, en rendant ses discussions plus incohérentes et moins intelligentes qu'elles ne le sont réellement.

Le mot italien *forza*, pour prendre un exemple, est employé par Leonardo mais pas avec la signification actuelle liée au mot français « force » mais à la signification latine *virtus impressa* expression, qui était utilisé généralement comme équivalent de l'*impétus*.

La définition que Leonardo donne du *forza* est complètement semblable aux définitions de la *virtus impressa* données par Franciscus de Marchia en 1320 et par la scolastique du quatorzième et quinzième siècle en France, en Allemagne, et en Italie.

Le terme désigne la cause responsable du mouvement à vitesse constante d'un corps, qui s'épuise au fur et à mesure que la résistance du milieu la dépasse ou au contraire la tendance « naturelle » des

corps lourds à descendre vers le centre de la Terre. Elle correspond ainsi grossièrement au concept moderne de *moment*, *i.e.*, au produit de la masse d'un corps par sa vitesse mv appelé également *impulsion*. Ce serait toutefois oublier que ces termes recouvrent dans le cadre de la physique contemporaine, des conceptions et des acceptions bien précises qui n'ont qu'une lointaine parenté avec celle proposée par Buridan.

Il semble correct de dire que les discussions de Leonardo des principes théoriques de la dynamique et de la statique sont assez comparables à celles trouvées dans les auteurs italiens qui ont traité ces sujets au quinzième siècle. Il est également vrai que ces traitements du quinzième siècle, y compris ceux de Leonardo, aient été pour la plupart subordonnés d'un point de vue scientifique aux meilleurs traitements trouvés dans les écritures d'auteurs scolastiques du quatorzième siècle comme Buridan, Hentisberus ou Oresme. Le traitement de Leonardo des problèmes de statique, évidemment influencé par le travail de Jordanus de Nemore (1225-1260), a porté préjudice à la qualité des propres traitements de Jordanus sur des points importants. Là où Leonardo est arrivé à une solution incorrecte du problème du plan incliné, Jordanus avait réalisé la solution correcte avec une preuve élégante et valide. Et bien que Leonardo ait donné la réponse correcte au problème du levier, la solution à ce problème avait été réalisée, avec une preuve valide, presque trois cents ans plus tôt dans les *De ratione de ponderis* de Jordanus de Nemore. En dynamique, les notes de Leonardo montrent l'influence d'Albert de Saxe (1316-1390), dont les raisonnements incorrects sont reproduits avec ses meilleures idées ; mais concernant la question des distances traversées par un corps dont la vitesse augmente uniformément avec le temps, Leonardo a tiré la conclusion incorrecte que la distance augmente de façon directement proportionnelle à la vitesse et au temps.

Pourtant William Hentisberus (1313-1372), dont le traité *De motu locali* était bien connu des contemporains de Leonardo, avait clairement montré que la distance augmente comme le carré du temps.

Bernardo Torni de Florence, un citoyen et camarade de Leonardo qui avait écrit un commentaire sur le traité de Hentisberus, imprimé avec le travail original et de nombreux d'autres commentaires en 1494 à Venise, aurait pu signaler l'erreur élémentaire du raisonnement commise par Leonardo dans sa discussion de la question.

Face à ces faits, il semblerait que si Leonardo était un homme dont les idées scientifiques étaient en avance sur son temps, ses idées scientifiques n'étaient pas celles qui constituent les principes théoriques, ou les démonstrations mathématiques, de la science dite de la Mécanique dont l'étymologie nous ramène à machine (*makina*).

Il apparaît cependant que ses objectifs étaient bien plus modernes ceux de ces contemporains médiévaux. Il s'est intéressé à la connaissance des phénomènes naturels et n'a en aucun cas cherché à soutenir ou à défendre un système ou une école établie. Leonardo, à la différence de ses prédécesseurs scolastiques, n'a pas étudié des problèmes physiques simplement pour montrer la technique logique ou mathématique ; il a cherché à comprendre la structure des processus naturels et à découvrir la vérité des choses. La théorie a été validée car elle pouvait concerner la pratique, et c'était dans la direction des applications pratiques des principes mécaniques que le génie de Leonardo a trouvé sa manifestation la plus caractéristique. Ainsi, on pourrait dire qu'il a fait preuve d'une attitude qui mérite le nom « d'esprit scientifique. » Ses idées scientifiques étaient celles de son âge, mais son idée de la science était celle de l'âge à venir.

De plus, puisqu'il n'était pas un philosophe il pouvait être plus ou moins en mesure de conserver une vision scientifique ; et parce qu'il n'était ni un ecclésiastique ni un élève de la théologie il n'a été nullement poussé à n'importe quelle forme de réconciliation entre les tendances objectives de la pensée et les disciplines conscientes ou inconscientes des dogmes de l'église.

Une influence telle que celle que Leonardo a pu avoir sur le chemin que la science était en train de se tracer n'a pu se transmettre qu'à travers ses contacts personnels avec des amis et des connaissances.

Ainsi, il semble qu'il ait influencé Andreas Vesalius (1514-1564), dont les schémas anatomiques étaient du même type que ceux que l'on redécouvra dans le travail de Leonardo.

La Science, sous la désignation de la philosophie naturelle, était pendant cette période, du quatorzième, quinzième, et du début du seizième siècle réservée à quelques rares privilégiés.

C'est cette spécificité de la science et plus particulièrement de la Mécanique qui doit être pris en compte ici. Quand on examine la tendance de la pensée et des discussions dans le domaine de la mécanique médiévale on doit conserver à l'esprit la philosophie médiévale, et donc, principalement, la théologie médiévale, de laquelle ces discussions découlent.

Le corpus principal d'étude dans plusieurs disciplines fondamentales de la mécanique médiévale comportait des termes tels que le poids, le mouvement, la pesanteur, et l'inertie dont la signification et l'implication émanaient directement de la Scolastique.

« Une Renaissance mineure » s'était développée pendant les douzièmes et treizième siècles, les influences de domination étant

- (1) la redécouverte de plusieurs des travaux d'Aristote,
- (2) l'acquisition en Europe de l'ouest des aspects principaux de la connaissance arabe,
- (3) la consolidation de la fonction principale des universités comme centre d'éducation, et
- (4) la contribution particulière à cette éducation des ordres dominicains et franciscains. Mais, à côté de ces facteurs est venu s'associer une tendance, de certaines des universités plus importantes, à une spécialisation d'activité culturelle.

Ainsi Oxford a produit une école de la science et des mathématiques qui a persisté dans le quatorzième siècle, alors qu'à Paris la disponibilité croissante des livres d'Aristote commençaient à dominer les cours d'arts.

Tandis qu'à Paris, sous l'influence de William d'Auvergne, l'effort était sur le *trivium*, se développait à Oxford, sous la conduite de Robert Grossteste, une concentration sur le *quadrivium* à travers l'étude du système optique, des mathématiques, et de la mécanique.

Grossteste, qui avait l'avantage de connaître le Grec, était un critique vif d'Aristote. Dans son *De luce* il développa une nouvelle conception de la « métaphysique de la lumière » qui consistait à considérer la lumière comme la substance de l'univers, qui, une fois associée à la matière, donne à naissance à un corps ; et le véhicule essentiel pour le développement approprié de cette thèse était les mathématiques.

« Toutes les causes des effets naturels devraient être représentées par des lignes, des angles et des figures. »

Mais la figure scientifique dominante du treizième siècle était Roger Bacon, l'élève de Grossteste, qui souligna l'importance des mathématiques :

« Dans les mathématiques nous pouvons venir à la pleine vérité sans erreur et à la certitude de disposer de toute chose sans doute. »

La valeur de cette emphase mathématique vers les problèmes de la mécanique et de la physique, au cours du treizième et quatorzième siècle a rendu possible l'étude approfondie de la cinématique.

Une exception possible fut l'astronomie, naturellement, où il y avait eu une longue tradition dans le développement des appareils d'observation et de mesure. A ce propos, il est important de rappeler que l'ouvrage de Nicolas Copernic (1473-1543) *De revolutionibus orbium coelestium* (*Des révolutions des orbés célestes ou des sphères célestes*) ne fut imprimé pour la première fois qu'en 1543 après la mort du chanoine de Thorn.

Ainsi en astronomie, il est par conséquent compréhensible que les discussions des principes mécaniques concernant l'application des rapports fonctionnels aient été développées par un biais plus théorique.

Une grande partie de l'activité dans cette direction a émané d'Oxford. Ainsi, Thomas Bradwardine (c. 1295-1349) fut le premier à utiliser la représentation algébrique des lettres et des symboles et fut ensuite suivi de William de Heytesbury (c. 1313-1373), de Richard Swineshead, et de John de Dumbleton.

C'était une étape normale depuis cette notation à la représentation des rapports fonctionnels par l'utilisation des graphiques. On l'a à tort inexactement attribué à Léonardo da Vinci. En effet, ses représentations grossières de la chute d'un corps en fonction du temps paraissaient être le premier exemple de la **représentation graphique** entre deux quantités reliées. Cependant, des graphiques avaient été employés par Albert de Saxe et par Marsilius d'Inghen à Paris, mais avec un effet plus particulier encore par Oresme.

Mais c'est alors qu'une autre grande tendance commença à émerger. Chaque phénomène ayant une cause, l'étude d'un phénomène impliquait nécessairement l'étude de la cause, et toutes les deux pouvaient être corrélés en termes mathématiques. Mais beaucoup de problèmes surgirent pour lesquels l'arsenal des mathématiques ne pouvait trouver d'applications faciles. Ainsi les méthodes les moins expérimentales d'argumentation par induction commencèrent à trouver une faveur croissante pendant le quatorzième siècle et cette tendance persista jusqu'au dix-septième siècle, creusant ainsi un fossé entre les théories et les procédures expérimentales. Le point culminant étant la période durant laquelle vécut Leonardo. Dans ce sens également il représente une exception notable.

Ces méthodes d'induction constituaient, en effet, un retour à Aristote, et étaient plus particulièrement mise en pratique dans les écoles médicales. Galien lui-même avait développé une approche pour chercher par induction les causes des symptômes, et cette méthode fut reprise et développée par Avicenne et Averroës. En Italie cet élan est

devenu dominant du début du quatorzième siècle, et dans l'école médicale de Padoue il a persisté jusqu'au début du seizième siècle. Ainsi, aux simples procédures scolastiques aristotéliennes qui consistaient à vérifier des théories scientifiques par simples observations des occurrences journalières, on a substitué une méthode par laquelle une observation ait été résolue en ses éléments. De ces derniers pourrait émerger une hypothèse ou une théorie qui pourraient mener à quelques suggestions pour la vérification expérimentale. C'était un procédé purement logique et évidemment il pourrait y avoir un certain mérite.

Ceci nous amène à Nicole Oresme (d. 1382), évêque de Lisieux, dont les écrits sur la dynamique au quatorzième siècle étaient importants et influents. Il a écrit son *Livre du ciel et du monde* en 1377 en Français. On l'a considéré comme une étude et un commentaire du *De caelo* d'Aristote et il contenait sa propre version de la théorie de « impétus ». Ses arguments contre le cosmos aristotélien d'une terre fixe autour de laquelle les autres éléments de l'univers tournent étaient des plus intéressante. L'univers d'Aristote était absolu ; celui d'Oresme était relatif. « Haut et bas » pouvaient être « absolu » seulement par rapport à la terre ; il en allait de même des concepts tels que l'espace, le mouvement, l'attraction universelle, et la lévitation étaient considérés comme relatifs pour autant qu'ils étaient observables. Ainsi il affirmait qu'il n'y avait aucun centre fixe particulier de l'univers et aucune direction absolue de pesanteur pour l'espace dans son ensemble. Par conséquent, la pesanteur devenait une tendance des corps plus lourds à se déplacer vers le centre de n'importe quelle masse sphérique donnée de matière à laquelle, en particulier, il n'y avait plus aucun besoin de supposer que les cieux tournaient et que la terre était elle-même leur centre.

Oresme suggère ensuite que c'est la terre qui a un mouvement quotidien, et pas les cieux. Il discute et traite les arguments classiques « d'expérience » pour une terre fixe. L'observation simple des mouvements quotidiens des étoiles est relative, ainsi si la terre tourne et les cieux sont immobiles, les observations doivent montrer fixité relative de la terre et un univers en mouvement. Il s'intéresse ensuite au fait qu'une rotation journalière de la terre établirait les vents contraires. Il répond à ceci que l'air, également avec les autres

éléments, doivent également être en rotation et tournent avec elle, de ce fait produisant un calme relatif ; et troisièmement, à l'argument selon lequel si la terre tourne, une flèche projetée verticalement vers le haut « tomberait en arrière », i.e., à l'ouest du point d'éjection, sa réponse est très semblable en effet à la précédente. Mais dans ce dernier point il y a un élément important de théorie de base dans la réponse d'Oresme. Il a analysé le problème en termes de composition de deux mouvements de la flèche pour produire (1) un mouvement circulaire résultant de la rotation de la terre d'ouest en est, et (2) un mouvement vertical vers le haut. « Je dis que... le mouvement d'*a* est partiellement rectiligne et partiellement circulaire. » C'était, en effet, le principe de composition de deux mouvements agissant simultanément sur un corps, et c'est un aspect du principe moderne des vecteurs.

Leonardo da Vinci a employé cette composition de deux mouvements agissant simultanément sur un corps, et l'a appliqué au phénomène d'un corps tombant vers une terre en rotation. Plus tard, naturellement, cela deviendra un outil dans l'arsenal mathématique de Galilée et de ses successeurs comme principe standard de la mécanique.

Ainsi, nous avons examiné, légèrement superficiellement, la tendance générale du développement en mécanique pendant le treizième et le quatorzième siècle. Voyons maintenant si cette tendance s'est maintenue pendant les quinzième et seizième siècles, considérant que la partie postérieure de cette période était contemporaine à la vie active de Leonardo da Vinci. D'une certaine manière on peut considérer que Leonardo ait été, avec d'autres, l'héritier de la tradition de ce qui avait été accomplie durant les deux siècles précédents, et devait avoir été influencé par ces études, on a donc l'impression d'un génie dont les notes sur la mécanique étaient complètement originales (indépendamment de ce qu'il a dû à la tradition grecque dans ce domaine) ; considérant qu'il ne devrait avoir représenté ni plus ni moins qu'un simple interprète des idées de son époque.

Il est important de rappeler en particulier les activités bouillonnantes des auteurs du quatorzième siècle concernant la cinématique et la dynamique à Oxford et à Paris. Bien que les idées de ces hommes se soient inversées dans les siècles suivants, il est curieux qu'à un moment où la littérature et les arts connaissent un développement considérable la science mécanique n'ait pas connue un essor comparable.

Il y avait, peut-être, deux facteurs principaux d'importance contraire impliqués dans cela. D'une part le quinzième siècle a contenu relativement peu de noms célèbres dans le domaine scientifique ; mais d'autre part il y eut l'influence grandissante de l'imprimerie, commençant au milieu du siècle, a rendu disponible à tous ceux qui étaient intéressés les nombreux travaux importants de la science qui autrement auraient été peu connus.

C'était, comme Burckhardt l'a énoncé, une période « d'hommes de second plan » peu d'entre eux ont atteint la stature même de Leon Battista Alberti, et aucun celle de Léonard da Vinci. Certains de ces hommes avaient assurément perpétué la tradition mathématique créée à Oxford, et se trouvaient à Florence. Ici il n'y avait aucune université, mais l'académie florentine eu beaucoup de partisans. Ici Toscanelli et Fra Luca Pacioli, par exemple, furent tous deux en contact actif avec Leonardo da Vinci. Ici en effet l'art et la technologie ont trouvé une terre d'accueil. Alberti, Michel Angelo, et d'autres ont employé les concepts des mathématiques comme contribution à leur art. Pourtant Leonardo, malgré son amitié intime avec Fra Luca Pacioli, et malgré son exaltation répétée concernant le rôle des mathématiques en mécanique, n'était pas vraiment un mathématicien lui-même. Il y a quelque chose d'un peu extraordinaire dans ce manque de pensée originale dans le domaine de la mécanique juste après la vigueur et la productivité relative du quatorzième siècle.

Il est opportun à ce stade de présenter des observations sur le second des deux facteurs d'importance auxquels nous nous sommes référés concernant l'histoire culturelle du quinzième siècle — notamment, l'avènement de l'imprimerie. En Italie la première presse date de 1465, et avec elle les jours des moines copistes étaient comptés. Les

premiers livres imprimés furent consécutivement la bible, les livres de théologie, les traités médiévaux sur la loi ecclésiastique et civile, les textes médicaux, les travaux littéraires de l'antiquité classique, et pour finir les écritures scientifiques de l'antiquité ; et puisque la connaissance du Grec était peu répandue, ces travaux scientifiques furent principalement imprimés en latin, bien que les livres paraissent de temps en temps en langue vernaculaire. Mais les auteurs contemporains dans l'ensemble ont dû attendre leur tour avec les imprimeurs.

Une remarque importante : les écrits fondamentaux du treizième et quatorzième siècle sur la mécanique par ceux qui ont été précédemment discutés — Albert de la Saxe, Grossteste, Albertus Magnus, Aquinas, Duns Scotus, Ockham, Jordanus Nemorarius, Roger Bacon, Bradwardine, Swineshead, Heytesbury, Buridan, et Marliani — étaient tous disponibles au seizième siècle. D'une part, bien que les écrits mathématiques d'Oresme aient été publiés, ses travaux sur la mécanique (*Livre du ciel* y compris) ne l'étaient pas.

Ce qui émerge alors est que ceux qui dans l'Italie des quinzième et seizième siècles s'étaient intéressés aux problèmes de statique, de cinématique, et de dynamique avaient été directement ou indirectement influencés par les traditions de la pensée établies par les auteurs des treizième et quatorzième siècles, mélangés naturellement, avec l'influence des écoles aristotéliennes et d'Averroès.

Dans quelle mesure et jusqu'à quel point peut-on considérer que Leonardo ait été directement influencé par les écritures du treizième et du quatorzième siècle en mécanique ?

C'est une question d'une grande importance à laquelle il est très difficile de répondre dans la mesure où on n'a trouvé dans ses manuscrits aucune trace d'une réunion ou discussion avec les hommes de science de son époque, ni même de toute notes ou de lettres rendant compte de tels contacts que des hommes de science auraient pu établir avec lui. Pourtant, on trouve des comptes rendus de réunions concernant son activité *artistique* dans bon nombre de sources.

Néanmoins, il n'en demeure pas moins que les manuscrits de Leonardo montrent de nombreuses évidences d'un penseur cherchant à tâtons avec les idées et les conceptions qui étaient en avance sur son époque, mais qu'il ne pouvait néanmoins seulement exprimer à l'encontre des idées de ses prédécesseurs immédiats. Tels, par exemple, étaient ses commentaires sur la force et sur l'inertie. Il y a sûrement quelque chose de plus que les simples remarques d'un interprète de la mécanique du quatorzième siècle dans les citations suivantes :

« Aucune chose ne qui peut être mise en mouvement par elle-même, mais son mouvement n'est effectué par une autre chose. Cette autre chose est la force, sans elle rien ne se déplace, aucun objet inanimé ne se déplacera de son propre chef ; par conséquent quand dans son mouvement il sera déplacé par une puissance inégale, inégale en temps et en vitesse, ou inégale en poids, et quand l'impulsion de la première puissance motrice cesse, la seconde cessera brusquement, et parce que tout le mouvement tend à l'entretien, ou plutôt tous les corps déplacés continuent à se déplacer tant que l'impression de la force de leurs moteurs demeurent en eux. »

La dernière partie de cette citation amène à la fois le doute au sujet de sa compréhension et sur l'influence de la mécanique de l'impétus à son époque. Mais dans toutes ces citations il y a une suggestion des idées qui allaient en fait être clarifiée et développée à la lumière de la science du dix-septième siècle.

D. Léonard da Vinci : Savant ou ingénieur ?

1. Le vol des oiseaux et l'ornithoptère

Il reste maintenant à faire quelques remarques à faire concernant les études de Leonardo sur le vol des oiseaux et ses tentatives pour concevoir une machine capable du vol mécanique. Ceci constitue un lien avec les études théoriques qui ont été discutées précédemment, cependant, on doit considérer la nature générale de son travail davantage dans les domaines de la mécanique appliquée et de l'ingénierie comme reflété dans ses notes. On a considéré Leonardo à travers ses spéculations sur ce qui est fondamental dans les problèmes de la science mécanique, comme un « chercheur à tâtons. » Mais la lorsqu'on feuillette simplement page après page ses *Codex* il vient immédiatement l'impression d'une personne ayant des préoccupations de mécanicien avec une propension à esquisser une multitude d'idées de mécanismes pour différentes utilités. L'homme connu du monde entier en tant que grand artiste et considéré comme « homme de science » étaient davantage un maître du « gadget », un technicien extraordinaire.

C'est un fait que bien qu'il ait eu « plus d'une corde à son arc, » il était en premier lieu un artiste professionnel. Presque certainement son art était une véritable passion et représentait toute sa vie. Cependant, avec la même certitude, on peut affirmé qu'il a passé bien plus de ses heures et jours à diverses fonctions de conseiller dans la technologie civile et militaire, et dans l'étude des nombreux principes théoriques et problèmes pratiques concernant ces fonctions, qu'il n'en a consacré à sa peinture. D'ailleurs, il n'a reçu aucune formation spéciale dans ces fonctions. Il les a juste assumées, au début en raison du besoin de précision dans l'observation que son art demandait—pour l'anatomie de l'homme et de la bête, pour le mouvement et le changement des environnements animés et inanimés, et ainsi de suite, jusqu'à ce que les problèmes de la science mécanique deviennent dominants à ses yeux et présentent leur propre intérêt et ce indépendamment de son art.

Le quinzième siècle avait déjà hérité d'une technologie mécanique considérable des auteurs tels que Konrad Kyeser von Eichstadt, Johannes Fontana, Jacopo Mariano, Hans Hartlieb, Francesco di Giorgio Martini, et Roberto Valturio. Le *De Re Militari* de Valturio était bien connu à Leonardo. Il a été non seulement publié dans le latin à Vérone en 1472, mais également en langue vernaculaire en 1483. Le *De Machine, Libri X* de Mariano était également largement connu. En conséquence, il est assez certain que plusieurs des croquis et des conceptions de Leonardo aient reflété non pas ses propres inventions, mais plutôt ses idées de développements et d'améliorations sur des conceptions déjà existantes à son époque. Cependant, il y eut d'autres croquis qui reflétèrent exclusivement ses propres créations. Certaines se sont avérées plus tard utiles ; mais d'autres, bien que peut-être théoriquement correctes, étaient au delà des capacités de la construction à son époque ; enfin d'autres étaient tout simplement des « intuitions ingénieuses mais complètement inutilisables. » Nul n'est besoin d'insister sur le fait que malgré ses études précises du vol montant des oiseaux, quand il en est venu aux conceptions pour la réalisation du vol artificiel, Leonardo ignorait tout du dispositif plan fixe et concentra toute son attention sur les battements d'ailes. Ce faisant, il allait au devant de la défaillance inévitable. On doit considérer, cependant, que les la plupart de ses dessins, dont environ quatorze sont connus, ont été conçues durant ses jeunes années, tandis que ses études des vols d'oiseaux glissant et montant sont venues beaucoup plus tard.

Mais il y a un croquis peu connu du manuscrit G. qui nous fait nous interroger sur ce que Leonardo a manqué en ne poursuivant pas l'idée plus loin. Replié dans un coin d'une collection de notes on trouve cinq vues successives d'une feuille en flottement tombant en zigzag, et au-dessous quatre postures d'un homme suspendu à une surface plane, i.e., dans la situation du vol en « planeur ». La feuille de notes en question est très usée, ce qui permet probablement de comprendre pourquoi ce croquis n'a pas suscité de commentaire jusqu'ici.

Ce croquis (du MS. G., fol. 74 r.) est probablement la première conception du vol avec glissement.

Pourtant il s'agit bien des croquis miniatures qui présagent, pour la première fois dans l'histoire, de l'avion et du planeur. Il est en effet malheureux que Leonardo n'ait pas poursuivi l'idée plus loin. De plus, on voit un lien ici avec son invention du parachute. Le lien pourrait très probablement être étroit, bien que le parachute soit principalement considéré comme un dispositif de sécurité dans l'aviation, il semble clair que ce n'était pas en tant que tel que Leonardo l'a conçu.

En effet son développement de l'idée était indépendant de n'importe quelle ligne de pensée liée aux machines volantes. C'était un simplement autre dispositif aéroporté utilisant une surface plane.

On peut maintenant se tourner vers quelques remarques et commentaires concernant les diverses conceptions de Leonardo pour ses machines volantes. En fait, les *codex* de Leonardo comportent environ quatorze croquis différents, une étude qui indique des améliorations graduelles du dispositif. Ceci n'est pas très surprenant, puisqu'ils couvrent une période d'environ seize années de 1483 à 1499. Ces papiers constituent davantage une curiosité plutôt que des dessins de conceptions scientifiques. Néanmoins, ils illustrent bien un génie mécanique allié aux rêves d'une vie, ils contiennent des dispositifs étonnamment modernes et réalistes, lesquels à la lumière des développements suivants, sont devenus réalité.

Les premières conceptions sont du type « couché », mais plus tard il plaça le « pilote » en position verticale. Dans tous, cependant, Leonardo a envisagé un mécanisme pour les ailes fonctionnant grâce à la puissance musculaire de l'homme, i.e., à l'aide des muscles des bras, jambes, et même de la nuque afin de manoeuvrer les ailes artificielles dans une sorte d'action similaire à celle des avirons d'une barque. Les nouveaux dessins incluent de tels dispositifs comme une queue ou des sections de gouvernail de direction manoeuvrées grâce aux muscles de la tête et de la nuque ; et dans le même dessin il place, pour lui faciliter le travail, son pilote allongé à côtés de deux manivelles auxquelles le mécanisme des ailes est relié ; un mécanisme de tringles actionnant deux ensembles d'ailes avec les mains et les

pieds (avec le pilote dans une position semi-inclinée suggérant une plus grande facilité et une diminution de la contrainte physique) ; et après une transition complète de la position « allongée » à la position verticale.

« Je conclus, » écrit Leonardo, « que la position verticale est plus utile que la position couchée parce que l'instrument ne peut pas se retourner, et d'autre part l'habitude exige ceci. »

Dans ce dessin Leonardo exhibe beaucoup de dispositifs « modernes ». Il confine son pilote dans un fuselage en forme de cuvette, et la machine est tenue au-dessus de la terre par un dispositif de train d'atterrissage fait de deux échelles. Pour entrer, le pilote monte une échelle, soulève une écoutille, et après « décollage » (si toutefois il a lieu ...) le train d'atterrissage est rétracté en manoeuvrant une corde ou un fil contrôlé d'un mécanisme à manivelle au-dessus de la planche de bord. Ceci permet aux échelles d'être maintenues dans une position horizontale à la base du fuselage. Par ailleurs, les bases des échelles sont équipées d'amortisseurs de chocs pour l'atterrissage ou le décollage.

On peut se référer à certaines de ces idées comme apparemment faisables. En fait, cependant, plus Leonardo incorpore de choses, qui à la lumière de la pratique moderne nous paraîtraient comme les bases évidentes, plus la conception globale devient inutilisable.

Deux autres idées de Leonardo nécessitent un commentaire. Dans le *codex Atlanticus* on trouve une conception qui incorpore incidemment un plan (le premier dans l'histoire) pour transmettre l'énergie mécanique à l'aide de deux ressorts (reliés par des poulies) comprimés et « prêts à l'action. » Dans l'esprit de la conservation d'une vie humaine, cela reconforte de penser que c'était « juste d'une idée. » Mais après tout, on peut rappeler que pendant des années maintenant les espaces verts ou la campagne ont été employés pour le lancement d'innombrables modèles réduits d'avions actionnés par des ressorts ou des élastiques. Il y avait bien là la vision et les idées de Leonardo.

Ensuite, l'idée a été également étendue au principe de l'hélicoptère. Sur ce point, cependant, quelques commentaires importants sont nécessaires.

La conception finale à laquelle on doit se référer est vue dans un croquis dans le *codex Atlanticus*. Son intérêt primordial est que pour la seule et unique fois Leonardo incorpore un élément à ailes fixes dans sa conception. Le croquis montre une section de centre rigide ayant un secteur d'aile (fixe) de chaque côté du pilote, mais articulée à chaque extrémité. Il est difficile de savoir tout à fait ce qui était dans l'esprit de Leonardo en établissant cette conception. Quatre cents ans après de Lilienthal employa la même idée d'une conception de demi aile fixe de type semi-ornithopter, et en 2008 les schémas de Leonardo servirent de point de départ à la conception du plus hélicoptère au monde. Avec un poids de 70 kg et une vitesse de 90 km/h il s'élève grâce une double hélice ayant la forme de la vis aérienne de Léonardo à une altitude de 800 mètres. Même James Bond n'en revient pas ...

On a finalement à passer en revue le point jusqu'ici généralement admis que Leonardo da Vinci était l'inventeur du principe d'hélicoptère. Bien qu'il ait été certainement à l'origine du premier dessin connu d'hélicoptère, il y a aujourd'hui une idée émergente que le *principe* de l'hélicoptère était connu en Europe avant que Léonard ne s'y intéresse. Il semble que ce principe vienne probablement dérivé de Chine.

Dans le musée du Mans il y a une image médiévale sur panneau peint un artiste local inconnu environ de 1460 c'est-à-dire, à un moment où Leonardo était âgé huit ans, montrant une Madone avec l'enfant Jésus se tenant sur ses genoux. Il y a dans la main gauche de l'enfant un jouet représenté avec une grande précision. Il s'agit d'un récipient sphérique dans lequel est placé une tige ou un axe avec au-dessus une hélice à quatre pales du type de celle des moulins à vent du quinzième siècle. L'enfant tire une corde hors d'un trou perpendiculairement au côté du récipient.

Il a été suggéré que ce jouet était un véritable hélicoptère, pour lequel une traction forte sur la corde faisait tourner les lames du rotor et propulse le rotor loin de l'axe vers le haut dans les airs (comme avec le dernier jouet Chinois fait par Cayley en 1853, et plus tard par beaucoup d'autres). Mais les travaux de Miss A. Scott Elliott, conservatrice des écrits et dessins à la bibliothèque Royale du château de Windsor conduisent à une vision alternative que l'enfant Jésus tient un jouet simple de tourbillonnant d'un type connu pour être populaire avec plus ou moins d'interruption du moyen âge aux temps modernes. Dans ce jouet, la corde est fixée de manière permanente à l'axe, après une forte traction, l'axe tourne rapidement et rembobine la corde pour la prochaine traction.

Le « Whirligigs » doit, naturellement, fournir à l'enfant le plaisir d'un objet en rotation rapide. Celui-ci peut prendre la forme d'un kaléidoscope ou, d'une manière plus amusante, d'une petite figure avec les membres lâches qui volent dehors par centrifugation pendant que le whirligig tourne. Gibbs-Smith considère cependant que dans l'image du Mans le jouet montré dans la main de l'enfant Jésus emploie en fait le principe d'hélicoptère.

De son point de vue, le léger effet de « gauchissement », i.e., d'inclinaison des lames sur le modèle à pales d'un type similaire aux ailes d'un moulin à vent de cette époque aurait fourni un jouet beaucoup plus passionnant que celui-ci si simple qui tourbillonnerait autour et qui déterminerait donc la base de la construction du jouet. Ceci est naturellement vrai. Et il y a néanmoins de la pertinence dans ce point de vue, puisque l'image du Mans montre dans ce jouet une similitude étroite avec le type le plus répandu de moulin à vent, le fabricant de jouet aurait tout aussi bien pu donner un certain « angle » aux lames afin de produire l'effet de rotor. Ainsi, quand l'enfant a tiré la corde, le petit rotor s'élève vers le haut à la manière d'un « hélicoptère » sur une distance courte, s'abaissant alors pendant que la corde est rembobinée, de sorte que la traction de la corde active le mouvement d'hélicoptère à nouveau. Ceci a pu se faire sans nécessairement avoir la connaissance du *principe* de l'hélicoptère, mais plutôt d'un *effet* empiriquement dérivé de l'hélicoptère.

Néanmoins d'après la sophistication avec laquelle ce jouet avait été développé, il n'est pas impossible que le *principe* ait pu avoir émergé au moins au quatorzième siècle.

Il y a une autre image intéressante de l'enfant Jésus avec un jouet « whirligig », actionnée par une corde, sur un vitrail (à l'origine dans l'église de Stoke Poges à Buckinghamshire). Une photographie de la moitié supérieure du vitrail prouve que le jouet est équipé d'une sorte de sécurité vraisemblablement pour l'empêcher de s'envoler lorsqu'il est prêt à l'action. Un autre exemple se trouve dans le livre de Gibbs-Smith : une image par Jérôme Bosch à Vienne (c. 1485) montre l'enfant du Jésus tenant une hélice à deux lames, encore clairement dérivée du moulin à vent.

Mais aujourd'hui une nouvelle preuve a émergé par la découverte par M. John Lowe (qui faisait autorité en matière de vitraux au Victoria et Albert Museum de Londres) d'un vitrail français de Normandie (c. 1525), qui fut exposé après de nombreuses années passées en restauration. Celui-ci montre aussi un l'enfant Jésus avec un de ces jouets. Mais il y a une différence essentielle, qui a immédiatement prouvé que tous ces jouets étaient les modèles presque certainement véritables d'hélicoptère avec leurs rotors se levant vers le haut en le vol libre, et pas les whirligigs « captifs » comme cela a été supposé la première fois.

Bien que la différence semble petite au début, elle est décisive. Dans la main levée du garçon il n'y pas là simplement un bouton ou un noeud, mais une grande poignée, quelque peu semblable à la poignée d'un fusil sous-marin. Ceci n'a pu seulement être fait que dans le but de donner à l'enfant une bonne poignée pour produire une traction forte sur la corde, et pour fournir ainsi au rotor une rotation initiale rapide pour l'envoyer tournoyer vers le haut.

L'évidence cumulative de tous ces faits ceci suggère que le jouet Chinois a du faire son chemin en suivant une des nombreuses routes du commerce, tout comme les machines d'imprimerie, la poudre, la fusée, et autres dispositifs, avant de devenir un simple jouet européen.

Clairement, donc, ce serait une exagération d'attribuer à Leonardo la découverte du principe de l'hélicoptère. Cependant, l'idée de construire un instrument qui se lèverait verticalement à une hauteur appréciable appartient exclusivement au génie de Léonardo da Vinci.

2. Les machines de guerre

Depuis l'antiquité, une noble tradition guerrière nous a été transmise par les traités et l'expérience d'hommes d'armes ; au X^{ème} siècle, par exemple, on connaissait l'œuvre militaire grecque grâce à Héron d'Alexandrie. Comme en témoigne le traité de Guido da Vigevano sur les machines de guerre, datant de la première moitié du Quatorzième siècle, le Moyen-âge avait adapté les techniques des romains aux besoins des chevaliers et des croisés.

Même si le reste de l'Europe est riche d'exemples, nous nous limiterons à la tradition de l'Italie de la Renaissance qui fut le carrefour d'un très riche passé et d'un présent en gestation, grâce à cette génération d'ingénieurs, antérieure à Léonard tels que Taccola, Valturius et Francesco di Giorgio Martini, inventeurs et constructeurs de machines de guerre. Progressivement, la situation politique de l'Italie étant de plus en plus dépendante des puissances militaires, les seigneurs se disputèrent l'aide de ces spécialistes de la guerre aussi bien dans un but défensif qu'offensif; ainsi, les traités militaires jouirent d'un grand succès.

Même Léonard, pour être accepté à la cour de Ludovic le More, dût énumérer ses capacités d'ingénieur militaire. Il le fit dans une fameuse lettre qui explique ses machines de guerre:

Cette lettre écrite à Florence, à l'âge de trente ans, révèle l'intérêt assidu de Léonard pour les armes et les techniques de guerre inspirées de l'antiquité ou des traités de l'époque. Mais, en raison de l'ampleur et de la variété de ses intérêts, ses vingt années passées à Milan ne contribueront finalement qu'à une seule grande innovation, celle du perfectionnement des armes à feu dont l'apparition devait révolutionner les techniques d'assaut et de fortifications.

Ainsi, Léonard élaborait un moyen d'augmenter l'efficacité des canons et des bombardes qui en étaient encore à un stade rudimentaire, Il en étudia la fonte, le chargement, l'allumage et le refroidissement; en augmenta la précision du tir, il s'intéressa aussi à la forme et à la trajectoire des projectiles. Par l'expérience des jets d'eau, il définit une parabole qui anticipe intuitivement les recherches sur le principe de l'inertie de Galilée et de Newton. Cet impetus dont on déjà parlé.

La renommée de Léonard devait être si grande après ses années d'activité auprès de Ludovic le More, que César Borgia le choisit comme architecte et ingénieur militaire en 1502.

La catapulte

La catapulte est certainement une des plus anciennes armes traditionnelles. Léonard semble être, en maintes occasions, très attiré par ces machines de guerre désormais dépassées et qui remplissent d'innombrables feuillets du Codex Atlanticus. Le feuillet reproduit ici, est d'une variété et d'une beauté extraordinaires. L'invention est illustrée par un dessin d'une très grande pureté ainsi que par une splendide mise en page. Léonard nous paraît davantage fasciné par l'élasticité des formes que par les effectives possibilités d'utilisation de ces machines; mais il arrive que ses habiles retouches en fassent des instruments bien plus dangereux que les armes à feu encore rudimentaires. L'intérêt certain de l'exemple de la catapulte réside dans le bras flexible, tiré vers l'arrière par un homme manoeuvrant un treuil, tandis que l'arme a déjà été chargée de son projectile grâce à l'échelle. Le treuil peut être bloqué par des coins qui, une fois enlevés, provoquent le redressement du bras et en dernier lieu le lancement de la pierre. Un grand nombre de ces catapultes, actionnées simultanément, aurait pu constituer une défense parfaite contre l'avance de troupes ennemies. Nous avons aussi l'invention ingénieuse de la fronde multiple qui exploite la force centrifuge, créée par la subite libération d'énergie accumulée dans les arbalètes au moyen de petits treuils placés sur l'arbre à vis. Les bras armés de la fronde, mus par une rapide rotation, passent ainsi de la position verticale à la position horizontale et procèdent au lancement des projectiles.

Chars à faux et chars d'assaut

L'idée d'un char couvert qui puisse, suivi par des soldats, pénétrer dans les lignes ennemies, était déjà répandue au Moyen-âge et fut souvent reprise au Quinzième siècle. Léonard conçoit un char très lourd, ayant une forme de "tortue", armé de canons sur toute sa circonférence et probablement renforcé par des plaques métalliques. Pour le déplacement du char, Léonard remplace le système à voile, déjà imaginé par d'autres, par un système d'engrenages, relié aux roues et actionné, à l'aide de manivelles, par "8 hommes" placés à l'intérieur. Il pensa également remplacer les hommes par des chevaux mais la forte probabilité que ceux-ci, enfermés dans un espace aussi étroit et bruyant, s'emballent, l'en dissuada.

Un autre char, armé de faux cette fois, était déjà utilisé au temps des romains. Léonard écrit à ce sujet: "Ces chars étaient conçus de diverses façons et étaient souvent aussi nuisibles pour les amis que pour les ennemis... contre de tels chars, il faut employer des archers, des frondeurs, des lanceurs et des tireurs ainsi que toutes sortes de flèches, lances, pierres, feux, bruits de tambour, cris... de façon à effrayer les chevaux qui, devenus fous et incontrôlables, feront demi-tour,..". Le dessin de Léonard nous montre un char tiré par des chevaux dont les faux tournent grâce à un ingénieux mécanisme et qui, par un arbre de transmission, communique avec un système de rouages directement relié au mouvement des roues du char.

Mitrailleuses

Un des problèmes que Léonard se pose est d'augmenter l'intensité du feu et la rapidité du tir. Il le résout en multipliant le nombre des tubes qu'il dispose en éventail, comme le montre le dessin ; ou encore en créant ce qu'il appelle l'« épingle à forme d'orgue », char sur lequel sont montés trois râteliers tournants, chacun comprenant 10 tubes, qui devient ainsi arme à "33 coups". Pendant qu'une bouche à feu tire, la suivante est rechargée tandis que la troisième se refroidit, ceci permettant d'augmenter la décharge et d'assurer un tir continu. Les armes sont munies d'un système à vis qui en règle l'affût.

L'élégant dessin de la figure suivante nous montre un autre exemple de mitrailleuse à plusieurs râteliers, posée elle-aussi sur un affût.

Les études de balistique sont d'une grande importance pour la précision du tir et grâce à celles-ci et à son expérience des jets d'eau, Léonard a l'intuition d'une possible influence de l'air sur la trajectoire des boulets de canon. Il résout le problème en dessinant des projectiles en ogive (d'un incroyable modernisme), exploitant la forme aérodynamique et les munissant d'ailettes de direction.

2. Les machines hydrauliques

Léonard s'appliqua avec continuité et originalité à l'étude des cours d'eau. On trouve de nombreux dessins et observations sur ce thème, dispersés dans ses divers manuscrits. Léonard eut à maintes reprises l'intention de donner, sous forme de traité, un ordre systématique à cette longue expérience, mais il semble que ce projet fut abandonné à peine ébauché. Il est probable que dès sa jeunesse Léonard ait ressenti la fascination de l'eau, et que déjà à Florence, dans l'atelier de Verrocchio, il eût à s'occuper de fontaines. Mais il est de même certain que son séjour en Lombardie lui offrit la possibilité d'appliquer des techniques encore inconnues en Toscane.

L'hydrographie de la Lombardie avait stimulé depuis l'antiquité une pratique avancée de canalisation des eaux et Léonard, en tant qu'ingénieur ducal, dût étudier ce problème fondamental qui touchait non seulement l'agriculture mais encore le mouvement de machines et de moulins. Dans ce domaine, exception faite d'Archimède, très admiré et étudié par Léonard, la tradition antique ne pouvait lui être d'un grand secours car elle avait eu de grandes difficultés à se mesurer rationnellement avec l'instabilité des eaux, même si la réalisation d'aqueducs, de canalisations et d'autres techniques hydrauliques étaient à l'ordre du jour. Léonard devait donc recourir à la seule expérience, il passait de nombreuses journées à observer le cours des fleuves, à méditer sur l'incessante apparition et disparition de formes créées par l'eau qui l'incitaient à faire de surprenantes analogies.

De cette observation attentive, il déduit de nombreuses considérations sur le mouvement, l'érosion, l'écoulement en profondeur ou en surface, s'aidant très souvent par de petites maquettes, en bois ou en

verre, dans lesquelles il versait une eau teintée ou mouchetée de petits flotteurs pour mieux suivre le cours de cet élément si instable. Les résultats de ces expériences étaient ensuite appliqués aux problèmes pratiques de la canalisation, et les manuscrits témoignent d'un grand nombre de dessins de portes, vannes et écluses à portes mobiles.

Moyens de marcher sur l'eau, moyens de respirer sous l'eau

On ne peut certes pas considérer comme une nouveauté la bouée de sauvetage, les gants palmés, ou encore la manière de marcher sur l'eau au moyen de chaussures ou de raquettes flottantes. Ce sont des idées qui se perdent dans la nuit des temps, et si l'on tient vraiment à chercher des exemples antérieurs, il suffit de parcourir les manuscrits médiévaux qui eux-mêmes nous renvoient à Archimède et aux sources antiques. Les dessins de Léonard sont de toute façon des dessins curieux, rapides, extrêmement plaisants, et derrière lesquels on a l'impression de percevoir la délectation de l'homme qui domine les éléments. Léonard n'est certes pas le premier à s'intéresser à l'immersion de l'homme et à sa survie sous l'eau. Encore une fois, les manuscrits médiévaux illustrent abondamment ce sujet et on retrouve ces expériences auprès de contemporains tels que Léon Battista Alberti qui avait étudié ce problème dans l'intention de récupérer des embarcations romaine échouées au fond du lac de Némi. Mais comme c'est souvent le cas, Léonard était tellement habile en dessin et dans la précision des détails, qu'il préfigurait les solutions modernes. Par exemple, son scaphandre devait être fait de cuir parfaitement étanche avec une poche pectorale gonflable, pour en augmenter le volume et faciliter la remontée. Le scaphandrier de Léonard est en outre muni d'un appareil permettant de respirer. Celui-ci relie le casque à la surface par des tubes flexibles (de préférence en roseau ou en cuir) fixés à une coupole protectrice flottante. En plus de la description complète de l'appareil, Léonard dessine les détails des valves permettant l'entrée et la sortie de l'air.

Embarcation à double coque et sous-marins

Parmi les idées attribuées à Léonard, celle du sous-marin exerce une fascination toute spéciale du fait qu'elle est projetée dans un futur assez lointain. La possibilité que Léonard ait effectivement pensé à un bâtiment capable de descendre sous l'eau et de remonter à la surface, se base essentiellement sur l'interprétation de certains de ses propos et sur l'esquisse du feuillet reproduit ici. Par exemple, Léonard, dans les feuillets où sont étudiées les coques et les embarcations, s'exprime ainsi: « Quand tu veux remonter à la surface, gonfle une outre, enlève le poids placé en bas et marche ». On ne peut nier que Léonard ne possédait les connaissances nécessaires d'hydrostatique, il pouvait d'ailleurs s'inspirer du « sous-marin » que Cesare Cesariano (1475-1543) avait réalisé et expérimenté dans le fossé du Château de Milan. Le sous- marin de Léonard devait probablement s'immerger au moyen d'un système de poids et de lest, et remonter à la surface par l'introduction d'air dans des espaces prévus dans la carène. La propulsion en surface devait être à voile, tandis que sous l'eau, elle devait être à rames ou à palmes.

La Mécanique de Léonard de Vinci

Le dictionnaire de l'Accademia della Crusca définit la mécanique de la façon suivante:

« Science qui s'occupe de l'équilibre et du mouvement des corps solides ou liquides; et, en outre, Art, qui enseigne la construction de machines, d'instruments, de dispositifs de tout genre ».

Léonard se consacra à cet « Art » avec une telle assiduité que la majorité des manuscrits qui nous sont parvenus concernent ses études et ses inventions en ce domaine. Il est probable qu'il ait eu l'intention de les regrouper en un vaste traité bien que ses notes nous parlent seulement de quatre chapitres se rapportant aux « éléments mécaniques ».

La découverte des Manuscrits de Madrid nous a permis d'approfondir de façon considérable notre connaissance de la pensée de Léonard en la matière, à tel point qu'il a même été jugé possible que le Madrid I puisse faire partie d'un des quatre chapitres cités par Léonard, et considérés aujourd'hui comme perdus.

La contribution de Léonard à la théorie de la mécanique est indéniable. Ses études répondent à la fois à une exigence de clarté et à la déduction logique ; elles sont le fruit de la pratique de la mécanique qu'il analyse en détail dans ses projets de dispositifs et de systèmes de transmission du mouvement.

Les machines simples, connues depuis l'antiquité, sont au nombre de cinq: le treuil, le levier, la poulie, le coin et la vis. Léonard, non seulement les connaissait, mais en avait approfondi la fonction spécifique afin de pouvoir les utiliser dans des mécanismes complexes qui rendaient automatique une succession d'opérations, grâce à divers systèmes de transmission. Ces machines simples se trouvent explicitement ou implicitement dans toutes les inventions de Léonard. Il est intéressant de relever son attention particulière pour la « vis » qui, associée à d'autres éléments, peut avoir diverses fonctions et est utilisée dans de nombreuses machines.

Dans un feuillet du Codex de Madrid, Léonard s'étend sur « la nature de la vis et de sa force de levier, plus apte à tirer qu'à pousser ; plus forte simple que double, fine que grosse... Des différentes variétés de vis sans fin... De quelle façon la vis sans fin s'associe aux roues dentées... » Ce feuillet nous propose une liste complète des possibilités des diverses vis que Léonard interprète symboliquement comme une grande puissance de la nature.

« La roue dentée » est le générateur de mouvement le plus fréquent dans les machines de Léonard. Il en fait d'amples études graphiques jusque dans le détail des divers profils des dents. L'association « roue dentée et pignon à cage » est fréquemment utilisée pour transmettre le mouvement. Dans le cas d'axes obliques ou pour l'élévation de poids importants, elle est substituée par la « roue dentée et la vis sans fin » qui garantissent un mouvement irréversible et offrent l'avantage d'une bonne résistance et d'une grande puissance.

Pour obtenir de fortes variations de vitesse, Léonard utilise les « engrenages de réduction » au lieu d'un système de poulies à courroies. Alors qu'il dessine en détail les chaînes « articulées », et qu'il les emploie pour la transmission du mouvement alternatif (par exemple pour les mécanismes d'horlogerie et pour la transmission de l'énergie d'un ressort comme dans le cas de l'allumage automatique), il est surprenant qu'il n'ait pas pensé à les utiliser pour la transmission du mouvement continu.

L'étude de la transmission du mouvement pose le problème du frottement que Léonard résout par le système du roulement à billes, encore valable aujourd'hui.

Le moulage des pièces, tenté par Léonard pour réduire le frottement, et leur lubrification, ne suffisaient pas à en éviter l'usure. En un premier temps, pour résoudre ce problème, Léonard conçoit un système à coussinets antifriction fait en un alliage de cuivre et d'étain, puis différents roulements à billes qui préfigurent les systèmes modernes.

Les machines de Léonard n'exploitent pas seulement la transmission mais aussi la « transformation du mouvement » permettant le passage d'un mouvement continu à un mouvement alternatif ou vice versa, comme nous pouvons le voir dans le cas de la machine à polir les lentilles de verre. Cette transformation se fait par le mécanisme de la bielle-manivelle dont la puissance pouvait parfois être augmentée par un volant.

Il est bien de préciser que pour actionner ses machines, Léonard a à sa disposition les sources d'énergie traditionnelles, c'est-à-dire la force musculaire de l'homme et de l'animal, le vent, l'eau et plus rarement la vapeur, les systèmes d'arbalètes et de ressorts, les poids et les contrepoids. D'autre part, il faut aussi souligner que les matériaux, les techniques et les mécanismes de l'époque avaient certaines difficultés à suivre la grande faculté inventive de Léonard.

Roulement à billes

Léonard conçoit divers systèmes afin de résoudre le problème du frottement, conséquence directe de la transmission du mouvement. Pour résister à la pression de l'axe vertical, il utilise, par exemple, un roulement à billes ou à rouleaux. Le dessin de la figure est encore plus extraordinaire pour son invention de l'anneau de glissement qui permet aux billes de se mouvoir librement sans qu'elles se touchent. Bien que le roulement à billes de Léonard soit incroyablement moderne et anticipe certaines solutions actuelles, il ne faut pas oublier que les rouleaux et les sphères étaient déjà utilisés dans l'antiquité.

L'énigme du véhicule automobile

Mi-horloge, mi-voiture, la première automobile de l'histoire, le « char automoteur » conçu il y a plus de 500 ans par Léonard de Vinci, a enfin livré son secret et dévoile tous ses ressorts dans une exposition itinérante du Musée d'histoire de la science de Florence. Considéré comme l'ancêtre de nos voitures, le véhicule en bois et en métal dessiné de 1478 est présenté pour la première fois dans la version imaginée par le célèbre artiste-ingénieur de la Renaissance, qui avait 26 ans lorsqu'il l'a conçu. L'engin, doté d'une autonomie de quelques mètres mais pouvant effectuer un virage, avait été créé pour servir de divertissement dans quelque fêtes galantes données dans le Grand-Duché de Toscane à une époque où le peintre de la Joconde était considéré autant comme un magicien qu'un scientifique. « Il y avait une demande pour ce type d'effets spéciaux destinés à surprendre les invités », explique l'historien Paolo Galuzzi, directeur du musée florentin. Le cadre en bois, monté sur trois roues, disposées en tricycle, était probablement complété par un décor de papier. Simple joujou primitif en apparence, avec son frein que le maître de jeu pouvait actionner à distance à l'aide d'une corde, le char de Léonard de Vinci est en fait longtemps resté une énigme.

Des générations d'historiens et d'ingénieurs se sont cassé les dents sur la trentaine de planches non légendées laissées à la postérité par le maître et en particulier le feuillet 812 du Code Atlantique (le recueil de machines, études de géométrie et calculs de Vinci) reproduisant la voiture et son mécanisme en plans de coupe, vu de côté et vu du dessus.

« Les documents sont totalement muets, il n'y a pas le moindre mot », souligne M. Galluzzi.

A plusieurs reprises, le « carro semovente » a ainsi été reconstitué, comme en 1939 sous le fascisme pour exalter l'esprit d'invention de la nation italienne incarnée par la « Fiat de Leonardo », puis en 1953 pour les besoins du musée. Mais jamais les scientifiques n'avaient percé le secret du moteur : comment diable les deux arbalètes ou ressorts à lame métalliques tendues sur la partie supérieure du véhicule pouvaient-elles transmettre leur énergie aux roues ?

Et de fait, ils se sentaient obligés d'inventer des pièces supplémentaires, absentes du dessin de De Vinci pour produire un engin roulant. Il aura finalement fallu comprendre l'erreur et deviner que la propulsion provenait, non pas des arbalètes, mais en fait de deux autres ressorts à lame, à peine suggérés sur le graphique. « C'est une technologie directement inspirée de l'horlogerie », a souligné lors de l'inauguration, l'historien de l'art, Carlo Pedretti, auteur de la géniale intuition et passionné au point d'avoir sacrifié des jours et des jours à recopier des manuels d'horlogerie vénitienne à l'époque où la photocopieuse ne rendait pas encore ce service (les années 50). Son amitié avec l'expert américain en robotique Mark Rosheim et l'informatique moderne ont fait le reste.

La modélisation par ordinateur a permis de comprendre le rôle de chaque pièce et de reconstituer un modèle virtuel en trois dimensions, là où l'artiste de la Renaissance, lui, avait travaillé en deux dimensions. Propulsé par l'énergie des deux ressorts à lame, enroulés dans des tambours en bois, le char de Léonard se remonte mécaniquement à la main, comme une montre et les arbalètes ne servent qu'à stabiliser sa course.

L'énigme de la bicyclette

Dans l'atelier de Léonard de Vinci, croquis, dessins et notes exécutés sur des supports de toutes tailles, de toutes qualités s'accumulaient un peu partout. A l'époque ces documents avaient peu d'importance. Au XVI^e siècle un conservateur du nom de Pompeo Leoni a l'idée de les rassembler. Il est contraint de les retailler, de les coller entre eux, dos à dos, pour que le tout forme un ensemble. Ce sont les Codex qui vont être dispersés dans différentes bibliothèques et collections. Entre 1966 et 1969, constatant que certains de ces documents précieux commencent à se détériorer, des moines décident de les restaurer. Le Codex Atlanticus va révéler un secret tout à fait inattendu : c'est en séparant deux feuillets de ce codex que Leoni avait collés que les moines découvrent le croquis d'une bicyclette entouré de dessins un peu obscènes et naïfs (en haut à gauche : feuillets 132 verso et 133 verso, du Codex Atlanticus). Le dessin n'est assurément pas de la main de Léonard lui-même mais on sait que les élèves avaient coutume de faire des rajouts aux croquis du maître puisque ces documents n'avaient aucune valeur. On suppose que ce dessin de bicyclette est une mauvaise reproduction d'un croquis de Léonard lui-même, perdu depuis.

On a d'ailleurs conservé des croquis de machines de guerre, d'hélicoptères ou autres réellement dessinés par Vinci. Les dessins de la main de Léonard de Vinci qui figurent au recto de ce document sont datés de 1493. La bicyclette (celle qui ressemble à celle-ci) ne sera inventée qu'en 1860. Donc, près de 400 ans plus tard. Il s'agit peut-être d'un faux.

Mais, coïncidence troublante, il existe une planche de la main de Léonard dans le Codex de Madrid qui décrit dans le détail l'invention de la chaîne à dents cubiques (reproduite ici). Les mêmes dents cubiques sont repérables sur le croquis de la bicyclette. Ces feuillets du Codex de Madrid sont également datés de 1493.

Cette découverte, si elle est authentifiée, s'avère sensationnelle.

S'agit-il d'un faux ?

Et bien, le mystère demeure... On a de fortes présomptions : les moines eux-mêmes pourraient être les auteurs de cette falsification. La polémique a fait rage. Longtemps.

Daniel Arasse, dans son important ouvrage *Leonard de Vinci*, note :

« Une fois au moins, ce désordre de l'atelier et ces interventions des élèves ont sauvé de l'oubli une « invention » géniale du maître. En faisant réapparaître le verso du folio 133, plié lors de la constitution du volume par Pompeo Leoni, la restauration du *Codex Atlanticus* dans les années 1960 a permis une découverte sensationnelle. Outre une satire dessinée de l'homosexualité de Salai, un des assistants de Léonard, la page comporte en effet le schéma grossier de ce qui est incontestablement une bicyclette, conçue sous la forme qu'elle ne trouvera que vers 1900, c'est-à-dire avec les deux roues de même hauteur et, surtout, le pédalier et sa chaîne de transmission rendant la roue arrière motrice. Cette copie maladroite témoigne d'une idée qui intéresse assez Léonard pour que le folio 10r de Madrid présente un schéma détaillé d'une chaîne de transmission équivalente ».

Certains musées ont reconstitué cette fameuse « bicyclette de Leonard de Vinci ». On peut voir, à droite, le système de chaîne à dents cubiques qui rend la roue arrière, motrice.

Démonstration de l'impossibilité du mouvement perpétuel

Léonard démontre par ses dessins et ses explications, l'impossibilité du mouvement perpétuel, objet de grandes discussions à l'époque. L'instrument de la figure est formé de baguettes à l'extrémité desquelles sont rattachés des poids. Léonard, en faisant l'expérience, constate que: « quel que soit le poids rattaché à la roue, ce poids étant la cause du mouvement de la roue, le centre de ce poids s'immobilisera indiscutablement sous le centre de son pôle. Et aucun instrument créé par l'esprit humain ne pourra éviter un tel effet. »

A cela suit la polémique :

« Ô spéculateurs du mouvement perpétuel, combien de mécanismes compliqués avez- vous créés pour cette recherche !

Associez- vous donc aux chercheurs d'or (les mages- alchimistes) ».

E. Conclusion

Léonard ingénieur

« L'expérience ne trompe jamais, ce sont nos jugements seuls qui nous trompent. »

Si Léonard de Vinci s'intéresse aux sciences et aux techniques, c'est d'abord pour approfondir ses connaissances dans l'art du dessin et de la peinture. Il n'a pas l'esprit d'un scientifique, il n'a pas non plus de formation scientifique. Pourtant, lorsqu'un sujet retient son attention (mathématiques, anatomie, optique, ... ou peinture !), il y applique la logique et la rigueur qui convient à la science. Son goût pour les sciences vient probablement de son goût pour l'observation. Dès son plus jeune âge, il prend le temps de regarder la nature et de réfléchir aux liens que celle-ci peut avoir avec les techniques humaines. Par ailleurs, il a amélioré de nombreuses techniques mécaniques en les dessinant, en détaillant chaque pièce, puis en mettant au point des systèmes supérieurs en efficacité.

Mathématiques

Léonard de Vinci ne fut pas un véritable mathématicien, même s'il était convaincu de l'importance des mathématiques, puisqu'il disait :

« Aucune certitude n'est possible si l'on ne peut y appliquer une des sciences mathématiques ou qui ne soit unie aux mathématiques ».

En 1496, Léonard rencontre à Milan Luca Pacioli, un moine franciscain spécialiste des mathématiques. Les deux hommes se lient d'amitié et entreprennent la rédaction de « De Divina Proportione » (« La Divine Proportion »), un livre sur le Nombre d'Or écrit par Pacioli et illustré par Léonard. L'ouvrage sera publié à Venise en 1509.

Il n'a pas atteint dans ce domaine cette perfection rencontrée dans d'autres disciplines. Influencé par Luca Pacioli, il s'est surtout intéressé à la géométrie où il ne dépasse pas les notions euclidiennes de son époque. Il ne s'est guère occupé des autres parties des mathématiques.

Il considérait la géométrie comme un instrument dans la création artistique ou scientifique. C'est ainsi qu'il s'est surtout préoccupé de problèmes qui se posaient aux peintres de son époque, comme la contraction de polygones réguliers inscrits ou le partage d'un cercle ou d'un segment en parties égales. Il a aussi étudié les transformations de solides sans variation de matière. Certaines recherches, comme celle sur le centre de gravité des solides, étaient destinées à la résolution de problèmes mécaniques. La partie la plus importante de son œuvre géométrique concerne l'étude des lunules (une lunule est la section de deux disques), où son tempérament artistique a pu s'exprimer.

Il a aussi inventé certains instruments géométriques comme le compas parabolique, le compas elliptique ou le compas proportionnel.

Les activités mathématiques de Léonard de Vinci n'ajoutent rien à la splendeur du personnage, mais il y a cependant manifesté son génie créateur.

Anatomie

L'intérêt de Léonard pour l'anatomie ne vient pas d'une curiosité scientifique, mais artistique ; la Renaissance est une époque où on redécouvre le nu antique et les artistes étudient alors le corps humain. C'est donc pour mieux dessiner que Léonard dissèque des cadavres dans les hôpitaux de Florence et de Rome. Il fait des croquis très précis des muscles humains et de la façon dont ils sont liés les uns aux autres. Mais sa curiosité ne s'arrête pas là ; il pourrait se contenter, ayant compris comment est constitué le corps humain, de revenir à la peinture et composer des tableaux où les personnages sont représentés à la perfection. Or, il va plus loin et cherche à comprendre à quoi servent les organes. Il écrit par exemple : « Détermine si le sang qui quitte le coeur par l'artère pulmonaire revient de nouveau au coeur », ayant ainsi l'intuition de la circulation sanguine qui ne sera pourtant découverte qu'en 1628.

Optique

Dès son plus jeune âge, Léonard a observé la nature et son goût pour interpréter ce qu'il voit l'a amené à réfléchir aux ondulations de l'eau provoqués par la chute d'une pierre dans un étang. En partant de cette simple observation, il pense que la lumière est elle aussi une onde, ce qui sera vérifié... trois siècles plus tard. Léonard n'a aucun savoir scientifique, ni le vocabulaire pour décrire ses expériences. Il le fait donc avec des mots simples.

« Si tu places un verre rempli d'eau sur le rebord de la fenêtre de manière que les rayons solaires le frappent du côté opposé, écrit-il, tu vois les couleurs dont j'ai parlé se former dans l'impression faite par les rayons solaires qui ont pénétré dans le verre, rayons qui s'éteignent et se ternissent sur le sol dans un endroit sombre, au pied d'une fenêtre, parce que l'oeil ne sert à rien, ce pourquoi nous pouvons dire avec certitude que manifestement ces couleurs n'ont rien à voir avec l'oeil. »

On parlerait aujourd'hui de réfraction à travers un prisme ou de décomposition de la lumière en couleurs fondamentales.

Concernant la chambre noire (*camera obscura*) il est important de préciser qu'il n'en est pas l'inventeur. Ce dispositif fût imaginé par le scientifique arabe Ibn al-Haytham (965-1039) qui est considéré comme le père de l'optique moderne.

En 1514, Léonard écrivit :

« En laissant les images des objets éclairés pénétrer par un petit trou dans une chambre très obscure tu intercepteras alors ces images sur une feuille blanche placée dans cette chambre. [...] mais ils seront plus petits et renversés. »

Géologie

Il explore les Alpes et observe les plissements, les drapées des montagnes. Il voit le mouvement des roches et la formidable puissance qui a façonné ce paysage, comme une main chiffonne un linge. Selon ses observations, il est difficile de penser que le monde actuel soit inchangé depuis sa création par Dieu. Ce monde serait plutôt l'oeuvre des caprices de la nature, cette nature qu'il détaille depuis tant d'années. Pour appuyer ses idées, il parle des fossiles qui sont très nombreux dans la roche et en déduit que « ce qui était jadis le fond de la mer est devenu le sommet des montagnes » ou que « sur les plaines d'Italie au dessus desquelles volent aujourd'hui des oiseaux, de larges bancs de poissons se sont un jour déplacés ».

Hydraulique

L'eau sous toutes ses formes est une des passions de Léonard. Il étudie des systèmes de canaux, de navigation, d'écluses, de machines à roue, de jeux d'eau, mais il travaille également aux remous, aux vagues, au phénomène de la marée, ou encore au pouvoir de l'humidité en suspension dans l'atmosphère, aux vapeurs, nuées, et finalement aux cataclysmes du déluge.

Astronomie

Chaque nuit où la Lune est en croissant au-dessus de l'horizon, au coucher du soleil, on peut observer la lumière cendrée. Entre les pointes du croissant, on devine comme une image fantomatique de la Lune. Ce phénomène est observé depuis des milliers d'années sans qu'on n'en comprenne la cause, et c'est Léonard qui va percer ce mystère : quand le Soleil se couche sur la Lune, il se produit exactement la même chose que sur Terre : c'est la nuit. Mais pas une nuit noire... Même quand le Soleil est couché, il y a encore une source de lumière dans la nuit lunaire : la Terre bien sûr ! La lumière solaire renvoyée par notre planète éclaire la nuit lunaire 50 fois plus intensément que ne le fait la pleine Lune dans notre propre ciel nocturne. C'est le reflet de cette lumière sur le sol lunaire plongé dans la nuit qui produit la lumière cendrée.

Techniques

Léonard est passionné de technique. Tous les domaines de l'industrie ont profité du génie de Léonard : textile, transports, engins de levage, machines à vis, à poulie, à crans, moulins, pompes, scies, marteaux mécaniques, appareils de transmission, horloges, crics, palans, appareils à déplacer ou à soulever les fardeaux, machines à raboter, à scier le bois, la pierre, le marbre, à bisser, à filer, bateau dragueur, système de barrage avec écluses, bombes explosives, canons se chargeant par la culasse ... Il commence toujours par dessiner avec le plus de précision possible les machines existantes, puis il réfléchit au moyen de les améliorer, lorsqu'il n'en invente pas de nouvelles. Les ingénieurs qui s'intéressent aujourd'hui à Léonard fabriquent des maquettes capables de fonctionner à partir de ses schémas ; un certain nombre de projets ont pu être réalisés du vivant de Léonard, surtout s'ils touchaient aux deux formes d'activité où la demande était forte, les fêtes et la guerre. Beaucoup d'autres sont restés des croquis, dans des domaines où l'innovation est plus lente. Considérant la technologie comme un accomplissement majeur de l'homme, il est en cela la parfaite représentation d'une époque où les grandes réalisations du savoir sont exaltées comme la preuve de la dignité singulière de l'homme.

Le halo de mystère (« sfumato ») qui entoure Léonard, ainsi que la première impression de chacun face à ses dessins technologiques et à ses maquettes, font de lui un être mythique, précurseur de toutes les découvertes et inventions de notre siècle. Cette conception fut particulièrement développée par la propagande faite autour du « génie italique » qui remonte à l'exposition de Léonard de Vinci à Milan, en 1939, et par la création, plus récente, d'une image commerciale de l'artiste qui eut un succès indiscutable auprès du grand public.

Il est cependant erroné de considérer les machines et les « inventions » de Léonard comme étant le produit exclusif de son génie, tout original qu'il soit. Pour s'en convaincre, il suffira de lire les propos que Roger Bacon écrit de sa lointaine Angleterre du XIII^e siècle: « ...il est possible de créer des moyens de navigation exempts de rameurs qui permettraient d'avoir des bateaux à usages fluviaux et maritimes, capables d'une vitesse supérieure car ils seraient conduits par un seul homme sans devoir porter la charge du reste de l'équipage. On peut aussi concevoir des chars mus par une force admirable et non par des chevaux. Je pense que ce type de chars était utilisé dans les combats de l'antiquité. Il est possible aussi de construire des machines volantes, conçues de façon à ce que l'homme, placé en leur centre, puisse manipuler des instruments qui en fassent battre les ailes, selon le principe du vol des oiseaux. On peut aussi construire un treuil de petite dimension, apte à soulever et abaisser des charges presque illimitées..., il est possible aussi de construire des mécanismes permettant de marcher sur les mers et les cours d'eau, même jusqu'au fond, sans courir de risque. A en croire l'astronome Eticus, Alexandre le Grand utilisa de telles machines pour explorer le fond marin. Il est d'ailleurs certain que de semblables engins furent construits dans l'antiquité et sont encore construits aujourd'hui même, exception faite de la machine volante qu'aucun de nous n'a eu l'occasion de voir. Je connais pourtant un savant qui en a tenté la fabrication. Nous pouvons construire un nombre incalculable de ces mécanismes, par exemple, des ponts, édifiés au-dessus de fleuves sans avoir recours à des piliers ou à de quelconques moyens de soutien, des machines et inventions jusqu'ici inconnues. »

Nous avons, ici, une description précise de toutes les machines et « inventions » attribuées au génie de Léonard alors que le texte nous les décrits comme faisant partie d'une tradition séculaire. Suivant l'exemple de Brunelleschi, cette tradition fut, sans aucun doute, toujours présente et active pendant la seconde moitié du Quinzième siècle auprès d'ingénieurs tels que Taccola, Buonaccorso Ghisberti et Francesco di Giorgio Martini. Leurs traités militaires, leurs manuscrits de technologie et de mécanique étaient accompagnés d'illustrations, souvent maladroites mais explicites. Ils jouissaient, à l'époque, d'un grand succès vu leur nombre, certainement bien supérieur à celui qui nous est resté. Les notes de Léonard nous montrent que lui-même s'était appliqué à les recopier et à les étudier. Nous devons réaliser, une fois pour toutes, que les dessins technologiques de Léonard sont, en grande partie, le fruit d'une lecture d'œuvres préexistantes, de visites d'ateliers et d'échange d'idées entre chercheurs et techniciens. En conclusion, sans vouloir remettre en question le caractère souvent innovateur de ses recherches qui sont, d'ailleurs, uniques par leur ampleur et leur empirisme, il n'en est pas moins vrai que celles-ci ne sont pas comme on voudrait le faire paraître, un fruit isolé qui aurait mûri dans le désert.

Léonardo fut enterré dans la chapelle du château de Cloux, qui fut détruite ainsi que son tombeau pendant la Révolution Française.

Le sort s'est donc acharné sur cet homme solitaire, mal à l'aise partout, protégé par les uns, méprisé par les autres jusque dans sa dernière demeure. Rejeté par les siens, même la France, qui lui donna cependant une fin de vie honorable, ne put protéger sa sépulture.

Cruelle destinée pour cet homme qui s'intéressa à tout que de laisser derrière lui une oeuvre scientifique et artistique inachevée. A la fin de sa vie, se sentant coupable de n'avoir rien vraiment achevé Léonard écrira

« ... je n'ai été empêché ni par l'avarice ni par la négligence mais seulement par le temps. Adieu »