

Le fac-similé virtuel ou la remise en fonctionnement : deux choix distincts au sein des collections du Musée des Arts et Métiers.

Ann-Laure Carré, responsable du service scientifique, département patrimoine et conservation, Musée des Arts et Métiers – CNAM

Sylvain Lucchetta, restaurateur du patrimoine

Les objets du patrimoine industriel sont définis par différentes valeurs, historiques, esthétiques auxquelles s'ajoutent une fonction, une utilisation ou un mouvement. L'étude et la restauration d'un objet technique tel qu'une machine-outil posent souvent la question de la remise en fonctionnement. Des alternatives se présentent alors, ayant toujours le même objectif inhérent : en faciliter la compréhension et transmettre les informations qui font sa spécificité. Parmi les solutions proposées, la remise en fonctionnement et la réalisation d'un fac-similé ont fait l'objet d'une étude respective sur deux modèles réduits en bois de la collection du Musée des Arts et Métiers : une scie mécanique à mouvement alternatif dont l'examen approfondi a permis de proposer une remise en fonctionnement occasionnelle et une machine à débiter le bois et les jantes de roues dont le caractère incomplet et la cinématique complexe nous ont poussé à réaliser un film en 3D, offrant ainsi un fac-similé virtuel.

Quelques éléments sur la mise en fonctionnement des collections du Musée des Arts et Métiers au début du XIX^e siècle

Les questions de mise en mouvement des collections, ou de réplification d'expériences sont récurrentes pour les musées techniques et scientifiques, elles permettent d'établir de ce fait une passerelle avec celles du fac-similé musical qui peuvent se révéler riche d'enseignements mutuels.

Avant d'aborder la restauration des maquettes de scies mécaniques – et les partis pris opérés face à ces objets, quelques lignes sur le musée des Arts et Métiers s'imposent.

Ce dernier a ses racines dans la création du Conservatoire national des Arts et Métiers en 1794. Enfant d'un projet de transmission des savoir-faire porté par les Lumières, ce « dépôt de machines, modèles, outils, dessins, descriptions et livres dans tous les genres d'Arts et Métiers » selon les mots de l'Abbé Grégoire¹ qui le présente à la Convention est définitivement établi sous le signe des arts utiles.

Les premiers personnels nommés dès octobre 1794 sont outre un dessinateur, un directeur, un bibliothécaire, trois démonstrateurs². Ceux-ci sont chargés de mettre en mouvement et d'expliquer aux citoyens intéressés le fonctionnement des machines, dans le droit-fil des pratiques savantes et académiciennes de l'Ancien Régime.

Le jeune établissement hérite en effet de collections réunies antérieurement, au premier rang desquelles, le Cabinet de machines du Roi, créé à la mort du mécanicien Jacques Vaucanson dans l'hôtel de Mortagne. En 1797, le bureau des

¹ Décret du 10 octobre 1794. Sur les origines du Conservatoire, voir Fontanon, Grelon, 1994, 23-57. Voir aussi Le Moël, 1994, p. 69-73 (article d'Antoine Picon).

² Ce terme a été repris lors de la rénovation du musée, mais il s'agit d'une pratique courante de médiation.

dessinateurs du comité de salut public viendra les rejoindre et s'installer dans les locaux affectés à cette jeune institution : l'ancien prieuré de Saint-Martin des Champs, au cœur de Paris, toujours occupé depuis 1798.

Les dessinateurs ont à charge de constituer un portefeuille industriel³ en établissant le dessin de toutes les machines nouvelles utilisées dans les entreprises et manufactures de pointe et également de « *lever des plans utiles à la démonstration des objets figurés* »⁴.

Très rapidement le Ministre de l'Intérieur, ministre de tutelle, suggère la mise en place d'un enseignement plus théorique. Une école de dessin est mise en place en 1802 pour répondre aux besoins de formation poussés des secteurs de pointe comme la mécanique, puis, en 1804 une seconde école pour l'enseignement des nouvelles méthodes de filature est créée.

En 1817 le fonctionnement du Conservatoire est réformé et l'ère des pionniers révolutionnaires se referme avec la mise à l'écart de l'administrateur, Claude Pierre Molard⁵.

Le 25 novembre 1819, une ordonnance royale institue les premiers cours publics de sciences appliquées⁶, qui vont définitivement asseoir le prestige et la renommée du Conservatoire.

À la différence des autres écoles de formation supérieure créées pendant la période révolutionnaire, les cours sont libres d'accès, gratuits et surtout ils forment à toutes les branches industrielles et ne sont pas seulement destinés au recrutement des grands corps de l'État.

Les collections rassemblées et exposées dans les galeries du musée participent intimement à ce projet pédagogique original. Un premier catalogue des collections, publié en 1818⁷, donne un aperçu de la disposition des lieux et des objets assemblés : galeries d'agriculture, de filature, modèles pour la coupe des pierres, fours, fourneaux et autres inventions utiles... Le prestigieux cabinet de physique de Charles, les collections de tours et d'horlogerie ne sont visibles que sur demande particulière. Le rédacteur note déjà qu'un certain nombre de ces artefacts sont plutôt des témoins historiques que le reflet de l'actualité.

Rapidement l'encombrement des galeries impose le recours aux modèles réduits⁸ et si de rares mentions de commande de modèles et surtout de planches et tableaux peuvent être repérées dans les archives, il faut avouer que l'on sait peu de choses des pratiques de démonstration pendant ce premier XIX^e siècle. Il est probable que l'apprentissage du dessin technique y jouait un grand rôle et que les machines devaient être mises en fonctionnement ou démontées dans le but d'observer et de reproduire correctement leurs organes mécaniques. C'est assez évident pour les modèles démontables, ou ceux qui possèdent des parties transparentes, la mise en fonctionnement a aussi laissé des traces et causé des usures. Cependant, un grand nombre de machines de la collection ont au contraire été laissées dans un état virginal !

³ Le musée conserve sous ce terme une riche collection de dessins techniques qui a inclus des dessins plus anciens des XVII^e et XVIII^e siècles – le portefeuille de Vaucanson - à la production du bureau des dessinateurs, voir Mercier, 1991.

⁴ Mercier, 1994, p. 33.

⁵ Tresse, 1971, p. 15-20. Molard avait travaillé à l'Hôtel de Mortagne avant la Révolution

⁶ Ces premiers cours sont : celui de Charles Dupin, mécanique appliquée aux arts, celui de chimie de Nicolas Clément (dit Clément-Desormes) et celui d'économie industrielle de Jean-Baptiste Say.

⁷ *Catalogue général des collections du Conservatoire Royal des Arts et Métiers*. Paris : Huzard, 1818.

⁸ Conseil de perfectionnement de l'établissement en séance du 14 juin 1843. Registre des procès-verbaux des séances du Conseil de perfectionnement, 2 AA/1

La présentation des collections évolue nettement sous le Second Empire, sous l'action du Général Arthur Morin et grâce aux scénographies grandioses auxquelles le public s'habitue en visitant les galeries de machines lors des expositions universelles qui jalonnent le siècle.

En fait, il est probable que beaucoup de modèles ont été mis en fonctionnement au XX^e siècle lors des tentatives de rénovation du musée, sous l'influence des nouvelles scénographies inspirées par le palais de la Découverte, dont l'ouverture en 1937 constitua une petite révolution pour les musées scientifiques et techniques.

Il ne s'agit plus alors de galeries technologiques réservées aux auditeurs, ouvriers et ingénieurs mais d'un établissement muséal, cherchant – entre autres missions - à éveiller chez les « scolaires » le goût d'une vocation technique.

C'est avec ces incertitudes sur l'histoire matérielle des collections et de leur utilisation pendant quasiment deux cents ans qu'il est intéressant de pénétrer dans l'intimité des objets lorsqu'une restauration en offre l'opportunité.

Le travail de mémoire de fin d'études de l'Institut National du Patrimoine, réalisé en 2008 par Sylvain Lucchetta⁹ sur deux maquettes a permis de poser avec acuité la question de leur documentation complète, y compris du mouvement qu'elles développent.

Le choix d'un modèle : la scie mécanique

Ces maquettes de machines-outils du XIX^e siècle font parties de la famille des scies mécaniques utilisées pour débiter du bois.

La première maquette de scie, réalisée vers 1839, est d'une utilisation et d'un fonctionnement assez simples. Cependant le mouvement et le mécanisme général qu'elle présente sont très intéressants ; cette information importante sur l'utilisation de cette machine ainsi que son état de conservation permettent de proposer une remise en mouvement périodique. La seconde maquette, plus ancienne (vers 1810), est une scie pour débiter le bois et les jantes de roues. Elle est très polyvalente et d'une utilisation compliquée. Les nombreux outils qu'elle comporte sont actionnés par la même source d'énergie. Son ancienneté, la fragilité des matériaux qui la composent ainsi que le manque d'informations sur le fonctionnement de tous les éléments ne permettaient pas, a priori, de la remettre en mouvement. Lors du choix des objets au sein des réserves, ces différenciations de traitement induites par cette problématique étaient déjà présentes mais pas encore totalement évidentes.

La scie de Eck, 1839 (inv. 9983), la scie de Molard, 1810 (inv. 1183)

L'auteur de la scie horizontale est un architecte et ingénieur de la ville de Paris, Charles Louis Gustave Eck¹⁰. Il inventa plusieurs modèles de machines destinées à l'art de bâtir, des appareils pour soulever des chapiteaux, des chèvres et autres grues. Plusieurs de ces inventions furent notamment présentées lors des expositions des produits de l'industrie nationale qui avaient lieu à Paris au début du XIX^e siècle. Le modèle de la scie horizontale fut présenté à l'exposition de 1839 à Paris et probablement réalisée pour l'occasion dans les mois qui ont précédé l'exposition.

Le second objet provient de l'École d'Arts et Métiers de Châlons-sur-Marne, actuelle ville de Châlons-en-Champagne. Aucune information sur le ou les auteurs n'était connue, mais les recherches effectuées¹¹ permettent de penser qu'elle a été réalisée

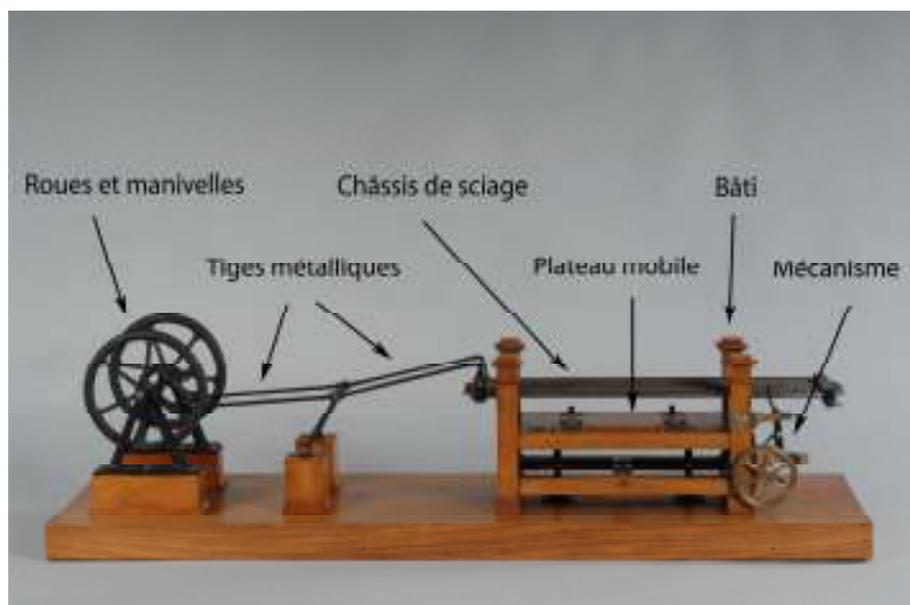
⁹ Voir Lucchetta, 2008

¹⁰ Né à Paris en 1803, sa date de décès n'a pas été retrouvée, voir Lucchetta, 2008, p. 37-41.

¹¹ Voir Lucchetta, 2008, p 12-17.

par les élèves de l'école et représenterait la scierie hydraulique de la ville de Châlons. Cette machine était utilisée pour scier le bois de charronnage, bois qui était destiné à la confection des essieux de voitures et des roues. L'auteur en est très vraisemblablement le directeur de l'École des Arts et Métiers, François-Emmanuel Molard¹², frère de Claude-Pierre Molard administrateur du conservatoire précédemment cité.

La maquette de scie horizontale de Eck, à l'échelle d'1/8 est le modèle réduit d'une machine qui servait à tronçonner le bois et non à le déligner. Utilisée pour débiter du bois de construction, elle était déplacée en forêt pour scier le bois directement sur place, d'où la nécessité d'être entièrement démontable. Grâce à sa disposition horizontale qui permet d'économiser une importante quantité d'énergie, deux hommes seulement suffisaient à l'animer. D'un point de vue technologique, cette maquette est exécutée en bois de noyer avec différents éléments cuivreux et ferreux, elle est composée d'un socle, sur lequel repose des roues à manivelles, un bâti, un châssis de sciage, un tablier mobile sur lequel étaient positionnées les pièces de bois- un mécanisme permettant l'élévation du tablier vers les lames et des tiges métalliques reliant le châssis aux roues à manivelles-

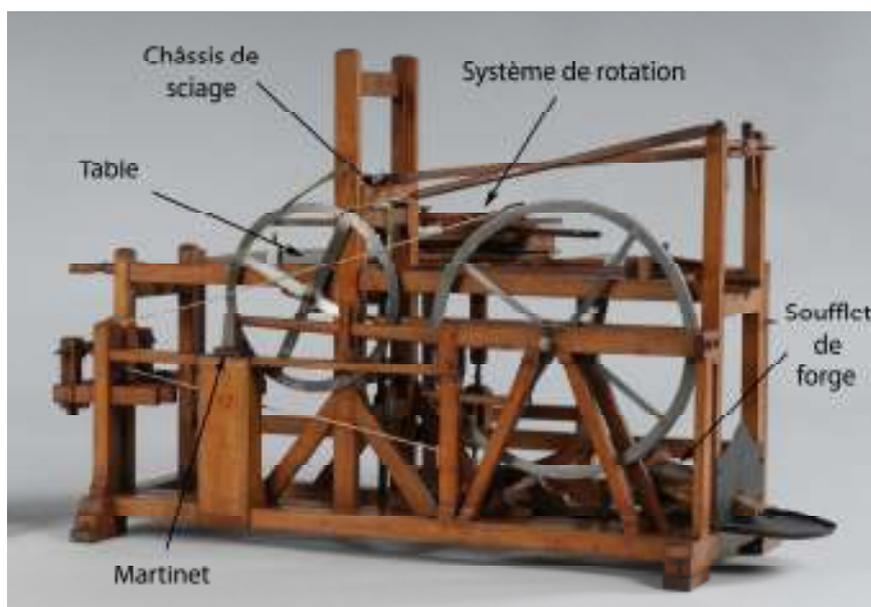


III. 1 - Vue de face de la scie horizontale de Eck, 1839 (inv. 9983). Ghyslain Vanneste©INP

La seconde maquette n'est pas qu'une scie mécanique, mais bien une machine polyvalente destinée à la fabrication des roues en générale. En plus d'une scie traditionnelle avec un châssis vertical, un martinet et un soufflet de forge destinés au travail du métal viennent agrémenter l'ensemble. D'abord configuré pour scier le bois en ligne droite, l'auteur a adapté une table sur laquelle est fixé un système de rotation, nommé secteur qui permet de scier les jantes de roue. L'énergie nécessaire pour la mettre en mouvement provenait d'une roue hydraulique reliée à la machine au moyen d'une courroie. La maquette est quasiment entièrement réalisée en bois

¹² 1774 –1827, voir Tresse, 1971, p.13.

de poirier avec quelques pièces en bois, également associé à des éléments ferreux et cuivreux.



Ill. 2 - Machine pour débiter le bois et les jantes de roue de Molard, 1810 (inv. 1183). Ghyslain Vanneste © INP

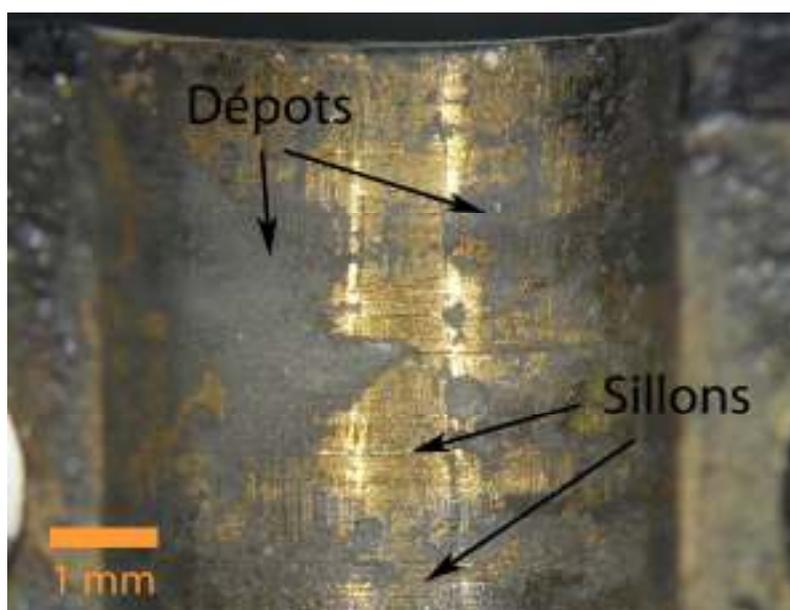
Un travail indispensable : le constat d'état

Avant d'effectuer les propositions d'interventions, un constat d'état a été réalisé¹³. Ce travail indispensable sur l'état matériel actuel des œuvres ainsi que les recherches historiques et techniques accompagnant l'étude permettent ainsi de définir plus précisément les différents niveaux d'interventions, de propositions et de présentation de ces maquettes.

L'observation des deux œuvres a révélé différents types de dégradations physico-chimiques et mécaniques similaires et fréquentes sur ces objets composites : empoussièremement général, encrassement, dépôts de surfaces, déformations du matériau bois, fentes, rayures superficielles ou plus ou moins profondes, mais également des désolidarisations au niveau des assemblages et quelques lacunes. Les éléments ferreux et cuivreux présentent des produits de corrosion.

D'autres altérations, spécifiques à l'usage et à la mise en fonctionnement, sont visibles sur les maquettes. Diverses traces d'usure, du jeu entre les éléments ou encore des marques parallèles et régulières entre les dents des engrenages, ont été observées. Mais l'usure la plus représentative est une usure dite « abrasive » : les frottements entre deux éléments mobiles engendrent des dégradations telles, que des dépôts se forment dans la zone de contact ; ces derniers, résidus de l'élément le plus tendre, rayent la surface, entraînant l'apparition de sillons parallèles.

¹³ Voir Lucchetta, 2008, p 76-99



III. 3 - Usure abrasive ; détail montrant les traces d'usure d'un élément mobile (palier), scie de Eck. Sylvain Lucchetta©

Ces traces d'usure sous forme de dépôts ou de rayures prouvent avec certitude que l'objet a été mis en mouvement. Une observation sous loupe binoculaire de ces zones de contact réalisée par deux ingénieurs de recherches en tribologie¹⁴ (science des frottements) a confirmé cette utilisation.

D'autre part, concernant uniquement la scie pour débiter les jantes de roues (inv. 1183), en plus des altérations communes que nous venons de citer, de nombreux éléments sont lacunaires et manquants, comme en témoignent les entailles, ou les trous destinés à recevoir d'autres éléments: qui avaient forcément une fonction ou une utilité quelconque car rien n'est laissé au hasard sur des objets techniques. Ces éléments manquants gênent considérablement la compréhension du fonctionnement de cette machine qui, comme toute entité similaire, est régie par une logique mécanique pour le moment incomplète.

Cet examen approfondi de l'œuvre a permis de poser de façon plus précise la faisabilité d'une remise en mouvement.

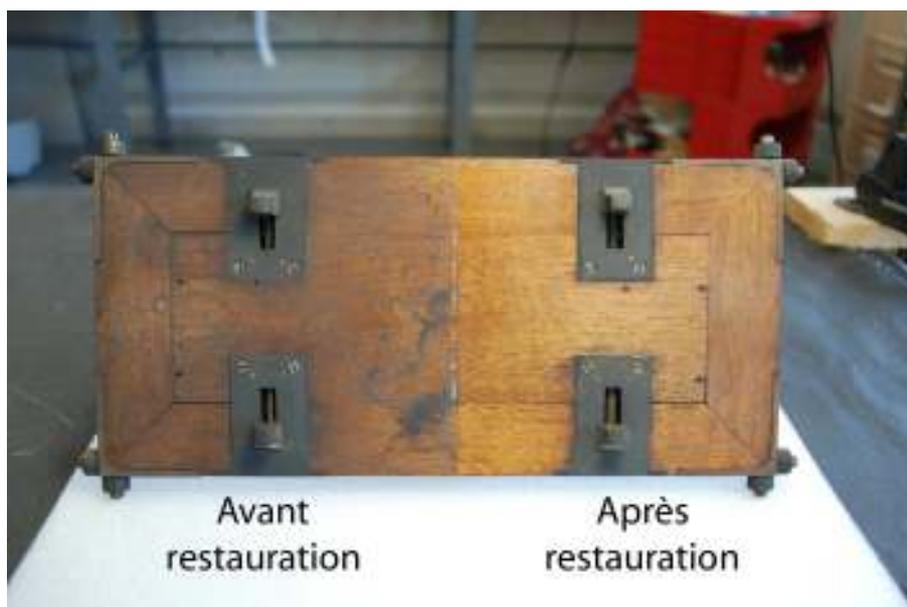
Devant cette problématique et suite à de nombreuses discussions, la décision a été prise de remettre en mouvement la maquette de scie horizontale (inv. 9983). Les différentes observations sur l'état matériel de l'œuvre, déterminantes pour confirmer ce choix pouvant être énumérées comme suit :

- l'état de conservation des matériaux constitutifs est bon,
- le mécanisme n'est pas paralysé par une pièce manquante indispensable au bon fonctionnement ou une quelconque altération (grippage important, torsion ou fracture d'un élément),
- les zones concernées par les usures sont réduites
- les surfaces de frottement mises en jeu sur tout l'ensemble de l'objet sont restreintes
- enfin, le mécanisme général est complet et documenté.

¹⁴ Voir Lucchetta, 2008, p 109-110.

Les interventions de restauration : remise en mouvement et fac-similé

Les interventions de restauration¹⁵ ont bien entendu été réalisées dans le respect des valeurs et des critères de conservation restauration des œuvres du patrimoine. Les interventions classiques de restauration ont été effectuées comme le dépoussiérage, le dégrassage, l'élimination des résidus et autres dépôts par voie chimique ou mécanique selon les tests effectués au préalable, le refixage des éléments désolidarisés, l'élimination des produits de corrosion sur les éléments ferreux et cuivreux, le comblement des lacunes, la réintégration chromatique de certaines zones, l'application de couches de protection.



III. 4 - Vue de dessus du tablier mobile de la scie de Eck, avant et après restauration. Sylvain Lucchetta©

La scie de Eck (inv. 9983)

La remise en mouvement a nécessité des interventions spécifiques :

- démontage des mécanismes afin d'assurer un nettoyage complet de chaque élément en éliminant entièrement tout résidu ou dépôt dus aux frottements,
- application de couches de protection,
- remontage des éléments suivant la logique et la hiérarchie mécanique,
- réglages et ajustages (comme le contrôle du serrage ou le positionnement des pièces),
- application dans certaines zones de contact d'un lubrifiant sélectionné¹⁶ répondant aux critères de la tribologie, de la conservation restauration et de la mise en mouvement périodique.

Sur ce dernier point -la mise en mouvement périodique ou occasionnelle- il est très délicat de définir une fréquence d'utilisation pendant un temps imparti, pourtant ces données sont indispensables pour sélectionner un lubrifiant et assurer une bonne

¹⁵ Voir Lucchetta, 2008, p 145-174

¹⁶ Voir Lucchetta, 2008, p 165

conservation de l'œuvre, tout en sachant pertinemment que cette prise de décision engendre une usure inexorable de la matière.

La scierie de Eck présente cependant un mécanisme trop compliqué pour être utilisé au sein du musée dans le cadre des démonstrations faites par les guides lors des visites organisées : il est important de préciser que la plupart des objets montrés lors de ces démonstrations disposent d'un mouvement infini ou perpétuel, comme une roue, ou d'un mouvement assez long. Ici le mouvement est très limité, au bout de quelques secondes le mécanisme s'arrête et une manipulation (un débrayage) est nécessaire pour réitérer l'opération. Cette remise en mouvement occasionnelle a donc été filmée afin de garder une trace de son fonctionnement et bien sûr pour limiter les dégradations qu'engendreraient des mises en mouvement répétées.

La scie de Molard (inv. 1183)

Concernant la machine de Châlons son ancienneté, les éléments manquants ou lacunaire, l'incertitude au sujet de son fonctionnement, la fragilité des matériaux (pièces en bois), le risque de dommages engendré par les manipulations et le mécanisme général lacunaire et non documenté ne permettaient pas de prendre la décision de la remettre en mouvement.

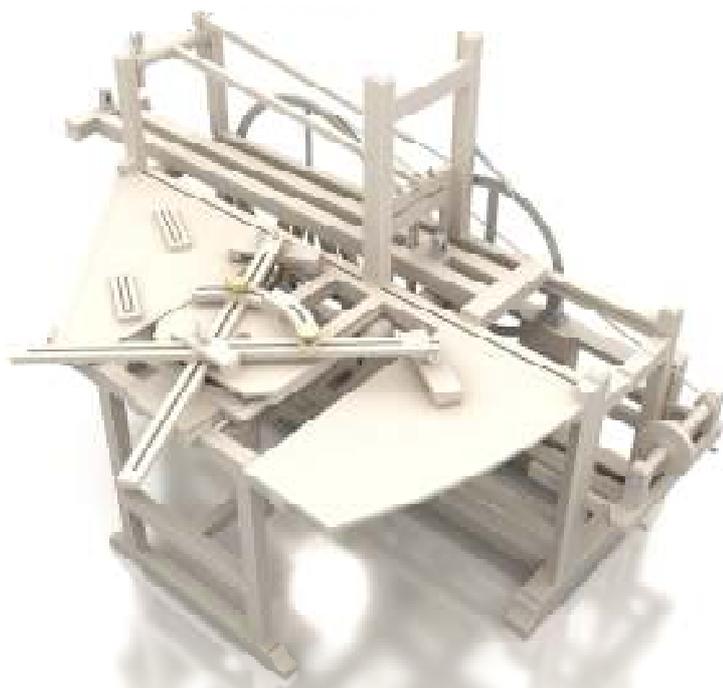
Devant l'objectif fixé de transmettre des informations sur ces objets techniques, en dehors d'une remise en mouvement de l'objet, la réalisation d'une copie ou d'un fac-similé était justifiée, mais la question du réel intérêt de ces propositions restait ouverte au vu du peu de connaissance sur le fonctionnement de cette machine. Après de nombreuses observations, accompagnées de nos connaissances techniques et surtout d'une recherche sur les mécanismes et la mécanique en général, nous avons pu faire une proposition de fonctionnement. Le mouvement proposé reste bien évidemment une hypothèse respectant cependant une logique mécanique plausible, viable.

Les interventions de restauration concernant cette œuvre ont été très minimalistes : dépoussiérage, nettoyage, élimination des dépôts de surface et des produits de corrosion, refixage des éléments désolidarisés et application d'une couche de protection. D'autre part, les recherches nous ont également permis de restituer certaines pièces dont la présence était évidente comme les courroies.

Les avantages d'un fac-similé virtuel

Ce mode opératoire, très pédagogique, est de plus en plus utilisé comme en témoigne les vidéos en ligne sur le site internet du Musée des Arts et Métiers¹⁷. Un relevé précis de chaque élément a été effectué pour ensuite réaliser le plan intégral de la machine sur informatique. Ce travail peut ainsi être utilisé pour faire une copie ou un fac-similé, mais il a surtout servi de base pour la modélisation de tous les éléments sur un logiciel de 3D.

¹⁷ <http://www.arts-et-metiers.net>



III. 5 - Image 3D de la modélisation de la machine pour débiter le bois et les jantes de roue (extraite du film 3D). Laurent Laroche/Sylvain Lucchetta©

Le mouvement de cette machine est régi par une logique mécanique qui, par le biais du logiciel informatique est traduit par de nombreuses formules mathématiques à calculer et à intégrer. Ce long et fastidieux travail pour mettre en mouvement les différents éléments nous a permis d'aborder et de comprendre plus précisément, le rapport d'échelle, de proportions, de dimensions, de calcul reliant les éléments les uns aux autres. Et cela sans pour autant rentrer et retrouver les calculs de l'ingénieur ayant conçu cette machine mais en abordant comme lui, d'un point de vue scientifique, cette science du mouvement.

Cette dimension, propre au fac-similé virtuel, diffère en ce point de la méthode empirique de la copie ou du fac-similé, pour arriver quoi qu'il en soit au même résultat et atteindre l'objectif fixé. Ce travail est d'autant plus satisfaisant que chaque donnée ou paramètre peut être maîtrisé (vitesse, angle de vue, détails spécifiques...) offrant ainsi une quantité quasi illimitée de possibilités.

Au-delà du film en 3D, la réalisation d'un temps réel permettrait d'accentuer les dimensions didactique et pédagogique pour l'utilisateur, libre de se déplacer où il le désire, de zoomer sur un détail et de contrôler les paramètres de vitesses et d'angle de vue selon ses envies. Ce travail considérable atteint malheureusement ses limites lorsque les connaissances et les informations sur le fonctionnement de ces objets ne sont pas complètes et surtout devant le coût relativement important de ce genre de prestation engendré par un temps de réalisation conséquent.

Devant la question de la mise en mouvement des collections anciennes, sans réponse définitive, des alternatives de restauration différentes existent. Outre l'importance des recherches effectuées, le respect des objectifs fixés et les nombreux échanges et réflexions avec différents acteurs du patrimoine, c'est le constat d'état et la discussion avec le chargé de collections qui ont guidé les interventions sur les maquettes de scies mécaniques.

Quel que soit le parti pris, le rôle et le respect de la transmission des informations détenues dans ces objets sont ainsi assurés.

Bibliographie

Catalogue général des collections du Conservatoire Royal des Arts et Métiers. Paris, Huzard, 1818.

Fontanon, Claudine, Grelon, André (dir.) *Les professeurs du Conservatoire national des Arts et Métiers, dictionnaire biographique 1794-1955*. 2 volumes. Paris, INRP, CNAM, 1994.

Le Moël Michel, Saint-Paul Raymond (dir.), *1794-1994 : le Conservatoire national des Arts et Métiers au cœur de Paris*. Paris, DAAVP, 1994.

Lucchetta Sylvain, *Conservation restauration de deux maquettes de machines-outils du Musée des Arts et Métiers. Étude des mouvements : caractérisation des frottements et recherche de lubrifiants adaptés au matériau bois*. Mémoire en vue de l'obtention du diplôme de restaurateur du patrimoine. Institut National du Patrimoine, 2008. 221 pages.

De Place, Dominique, « Le Sort des ateliers de Vaucanson, 1783-1791 d'après un document inédit ». 1^e partie, in *History and Technology*, n°1, 1983 (1), p. 79-100 ; 2^e partie in *History and Technology*, n°2, 1984 (1), p. 23-237.

Mercier, Alain, *Le portefeuille de Vaucanson, chefs d'œuvre du dessin technique*. Paris : CNAM, 1991.

Mercier, Alain, *Un Conservatoire pour les Arts et Métiers*. Paris : Gallimard, Collection Découvertes n°222, 1994.

Tresse, René. « La jeunesse et l'initiation du mécanicien Claude-Pierre Molard de 1759 à 1791 ». *Revue d'histoire des sciences*, n°1, 1971 (24), p. 13-24.