



Le Projet Simon Le Noir : archéométrie et ingénierie inverse pour une introspection historique, technique et scientifique dans le monde horloger du XVIIe siècle

Augustin GOMAND

Journées Jeunes Chercheurs – SFHST – 29 novembre 2024



Contexte et enjeux

Analyse des techniques horlogères

Authentifier

Reconstituer

Caractériser

L'horloge comme objet technique et social

Prestige du laiton

Complexité et rationalisation

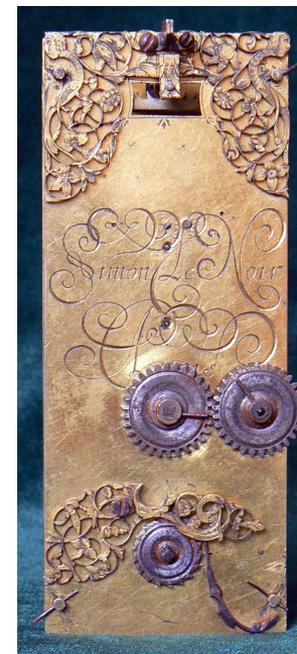
L'héritage du projet : ArcheHor

Origine d'ArcheHor

Perspectives

Le projet Simon Le Noir

- Projet initié en octobre 2020 à la suite de la découverte d'un mécanisme signé Simon Le Noir (vue de dos sur la figure ci-contre)
- Mécanisme qui présente de nombreuses spécificités qui le distinguent des premières horloges à pendule connues (les pendules "religieuses") et le rattachent plutôt au style de la Renaissance
- Anecdote rapportée dans un manuscrit de Claude Raillard (~1720) : Simon Le Noir aurait été le premier à appliquer le pendule en France selon son fils
- Objectifs du projet :
 - Analyses détaillées du mécanisme, techniques, stylistiques et scientifiques
 - Recherches historiques sur Simon Le Noir et les premières horloges à pendule
 - Formulation d'hypothèses sur la place du mécanisme étudié dans l'histoire de l'horlogerie
- Premiers articles publiés dans la revue *Horlogerie Ancienne* en 2022 ¹ et 2023 ² et dans la revue *Antiquarian Horology* en 2024 ³
- Site pour suivre l'avancement du projet : <https://agomand.github.io/asln/>
- Autres publications à suivre en 2025



¹ [1] Gomand, A., 2022. *Simon Le Noir et l'application du pendule aux horloges : une histoire parallèle ?* *Horlogerie Ancienne* 91, pp. 16-44

² [2] Gomand, A., 2023. *Compléments dans l'affaire Simon Le Noir.* *Horlogerie Ancienne* 93, pp. 16-42

³ [3] Gomand, A., 2024. *Experimenting with the pendulum: the work of Tito Livio Burattini (1617-1681).* *Antiquarian Horology* 45 (1), pp. 63-87

Contexte et enjeux du projet

- Classiquement, les horloges sont authentifiées en analysant l'architecture du mécanisme, son style et ses techniques de fabrication d'un point de vue macroscopique
- Problème : perfectionnement dans la fabrication des faux au XXe siècle (e.g. le régulateur de Jan van Call⁴ et le tambourin d'Henlein⁵, problème similaire pour les instruments scientifiques⁶)
- De la difficulté à authentifier un objet en l'absence de critères scientifiques d'authenticité... Problème classique en archéologie : techniques peu documentées, savoir-faire transmis par voie orale et lors du compagnonnage, uniquement au sein de la corporation + premiers traités d'horlogerie publiés au XVIIIe siècle mais souvent très théoriques = **quasi-absence de sources bibliographiques primaires**
 → nécessité de reconstituer le savoir-faire horloger en analysant directement les mécanismes
 → principe de **l'ingénierie inverse** couplée à **l'archéométrie et l'archéologie expérimentale**
- Difficulté supplémentaire : pour reconstituer les techniques et définir des critères d'authenticité, on se base sur des mécanismes dont l'authenticité n'est pas toujours certaine... cercle vicieux
 → **démarche statistique** : on analyse plusieurs mécanismes et on regroupe les données pour en déduire des généralités objectives / identifier les points qui s'écartent de la moyenne
- Permet aussi de mettre en lien les techniques horlogères et la place de l'horlogerie dans la société

⁴ [4] Whitestone, S., 2013. *The van Call, a modern forgery*. *Antiquarian Horology* 34 (1), pp. 42-51

⁵ [5] Ehrt, J., 2021. *Ein Mythos auf dem Prüfstand [...]*. Restaurierungsatelier Jürgen Ehrt.

⁶ [6] De Clercq, P., 1999. *Scientific instruments - originals and imitations: the Mensing connection - proceedings of a symposium, held at the Museum Boerhaave, Leiden, 15-16 October 1999*

► Analyse des techniques horlogères

Authentifier

Reconstituer

Caractériser

L'horloge comme objet technique et social

Prestige du laiton

Complexité et rationalisation

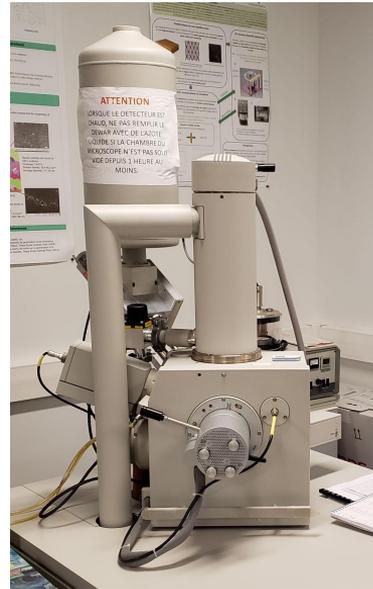
L'héritage du projet : ArcheHor

Origine d'ArcheHor

Perspectives

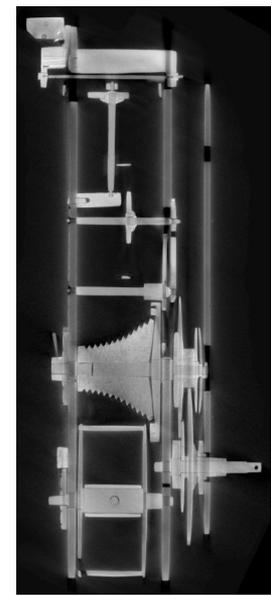
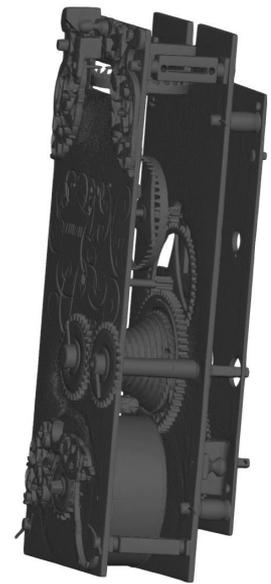
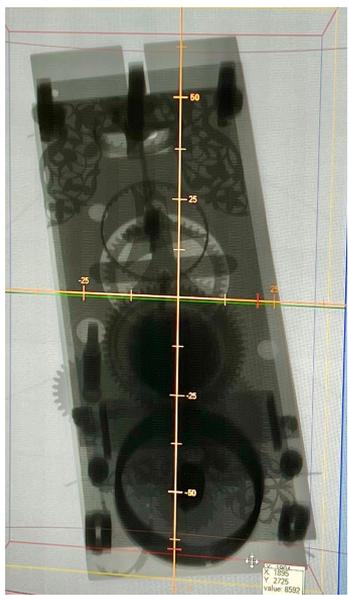
Méthodes d'analyse – microscopie

- Examens visuels au microscope optique conventionnel (gauche) : inscriptions, état de surface
- Analyses au microscope électronique au LGPM (centre et droite) : état de surface détaillé (marques de lime / polissage / etc.), composition chimique de la surface du métal et des produits de corrosion / impuretés



Méthodes d'analyse – tomographie

- Utilisation d'un tomographe à rayons X : scans 3D de pièces isolées et du mécanisme complet pour aller voir à l'intérieur de la matière et analyser les assemblages, les dimensions internes des pièces, leur alignement, etc. → **ingénierie inverse**
- Scans réalisés par le LMPS (gauche) et Zeiss (centre et droite)



► **Analyse des techniques horlogères**

Authentifier

Reconstituer

Caractériser

L'horloge comme objet technique et social

Prestige du laiton

Complexité et rationalisation

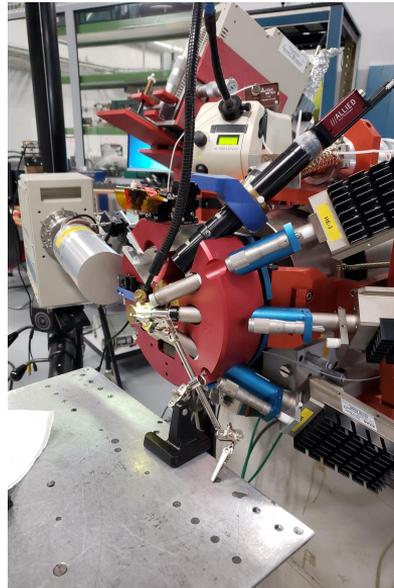
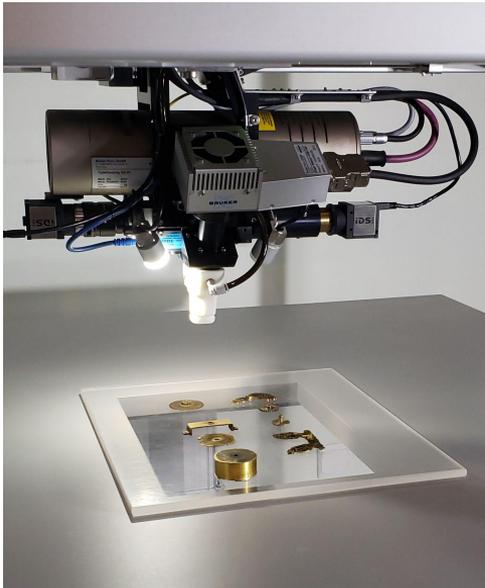
L'héritage du projet : ArcheHor

Origine d'ArcheHor

Perspectives

Méthodes d'analyse – fluorescence

- Fluorescence des rayons X : compositions chimiques détaillées des métaux qui constituent le mécanisme, classification et regroupement des pièces, comparaison de plusieurs mécanismes entre eux → **archéométrie**
- Analyses menées avec le CRC (gauche), l'Institut Néel, et le C2RMF (centre et droite)

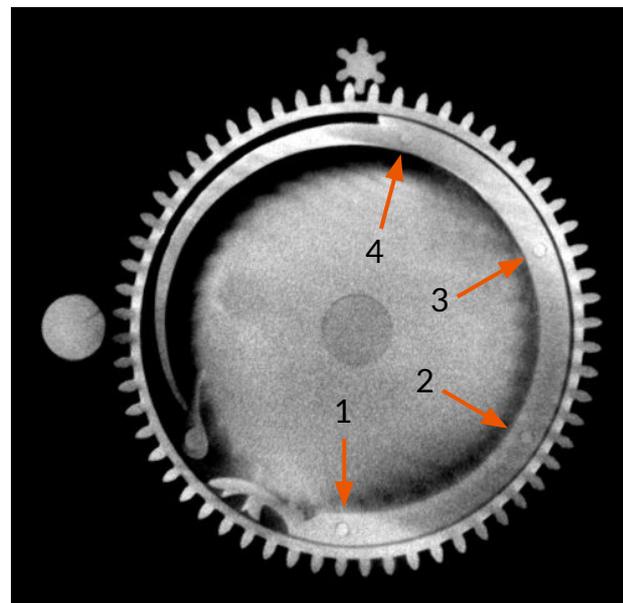


Authentifier par les techniques de fabrication

- Source primaire essentielle : manuscrit découvert dans les papiers du savant John Evelyn^{7,8} qui décrit en détail la fabrication de tous les composants d'une montre du milieu du XVIIe siècle ainsi qu'un grand nombre d'outils, de techniques métallurgiques, etc. → **peut être utilisé pour l'authentification**
- Exemples de techniques décrites dans le manuscrit et observées sur le mécanisme de Le Noir :

“...le ressort [de la roue de la fusée] est découpé en rond à partir d'un morceau de laiton, & bien martelé puis installé, & façonné avec des limes seulement, il est riveté dans la cuvette de la grande roue, avec 3 ou 4 rivets”⁹

→ ce ressort est bien riveté, les rivets sont recouverts par la dorure mais identifiables sur une vue en coupe (figure ci-contre)



⁷ [7] British Library : Add. MS 78425 – Papiers d'Evelyn (Evelyn Papers). Vol. CCLVIII, fol. 8 recto - 14 recto

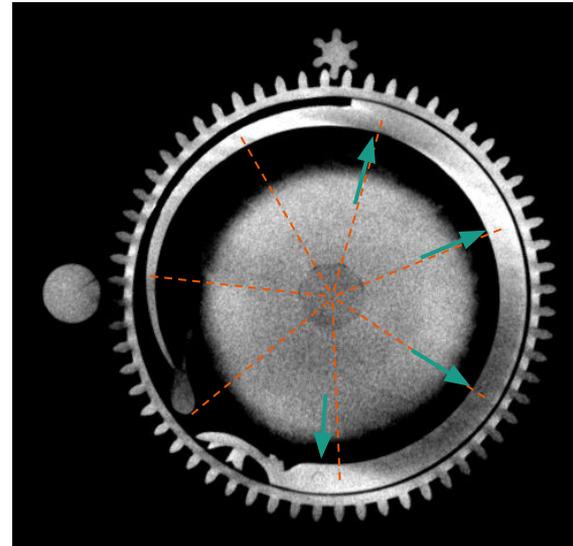
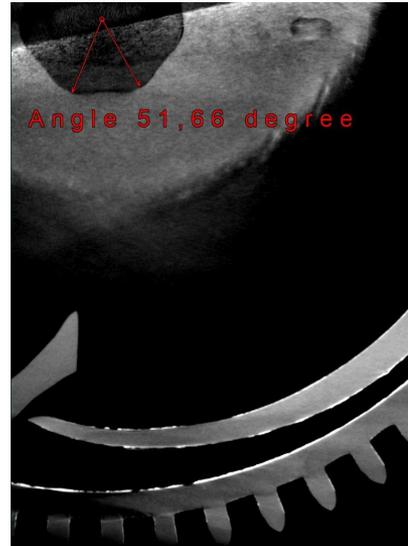
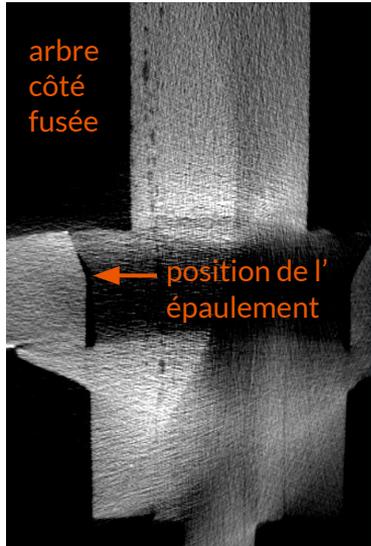
⁸ [8] Thompson, D., 2023. 'Summe Dyrections towards the making of a smale watch, of brasse' – A guide to watchmaking techniques in the seventeenth century. Antiquarian Horology 44 (2), pp. 179-206

⁹ [7] Papiers d'Evelyn, folio 11 verso

Authentifier par les techniques de fabrication

*"L'arbre de la grande roue y est d'une certaine manière riveté avec un épaulement laissé lors du tournage de l'arbre sans soudure d'aucun laiton à cet endroit"*¹⁰

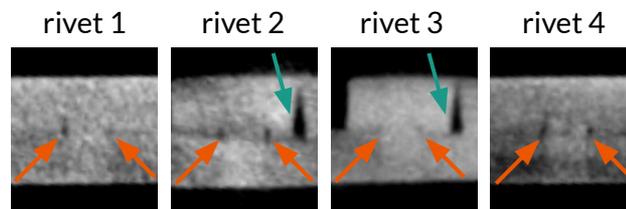
→ l'arbre de la fusée a un épaulement de forme heptagonale qui se loge dans la roue à mi-hauteur, les arêtes de l'épaulement sont dirigées vers les 4 rivets du ressort du cliquet qui ont pu servir de repères



¹⁰ [7] Papiers d'Evelyn, folio 10 recto

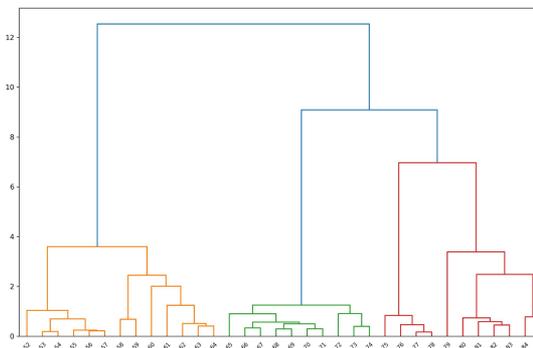
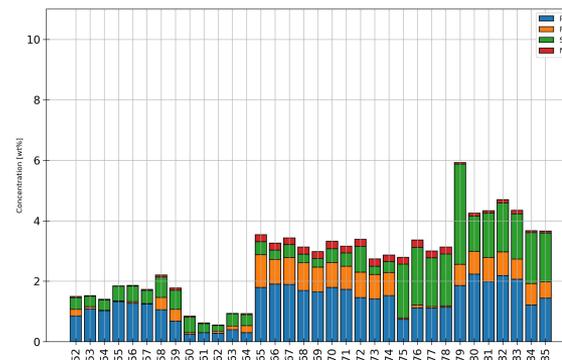
Reconstituer les techniques : ingénierie inverse

- Sur les vues de la roue de la fusée, on distingue des **chanfreins** au niveau de chaque rivet qui fixe le ressort à la roue
 - ces chanfreins ont servi à faciliter la mise en place du ressort en guidant son positionnement
 - on en déduit que les rivets ont d'abord été installés dans la roue avant que le ressort soit enfoncé dessus
- On observe un espace entre le ressort et le bord de la "cuvette" où il est logé, invisible de l'extérieur
 - le **flanc du ressort** est taillé en "trapèze" pour faciliter son installation dans la cuvette
 - le laiton a ensuite été martelé pour venir recouvrir le vide entre les 2 pièces, de manière à faire disparaître toute trace de l'assemblage
- On a donc finalement reconstitué l'ensemble du séquentiel de fabrication de cet assemblage



Caractériser les métaux : archéométrie

- Avec les analyses de fluorescence, on peut caractériser les compositions chimiques des laitons qui constituent les différentes pièces du mécanisme
→ permet de **classer les pièces en différents groupes** déterminés selon les concentrations élémentaires
- Principe des méthodes de **classification automatique** : “découvrir dans un univers donné des classes empiriquement utiles et objectivement définies”¹¹
- Application à l'archéologie dans les années 1970, grâce aux développements de l'informatique¹²
- Cas des laitons : classification ascendante hiérarchique (CAH) basée sur les valeurs centrées et normalisées des concentrations en zinc, plomb, étain, fer et nickel
→ construction de **dendrogramme** (exemple ci-contre pour un mécanisme attribué à Claude Raillard, daté vers 1660-62)

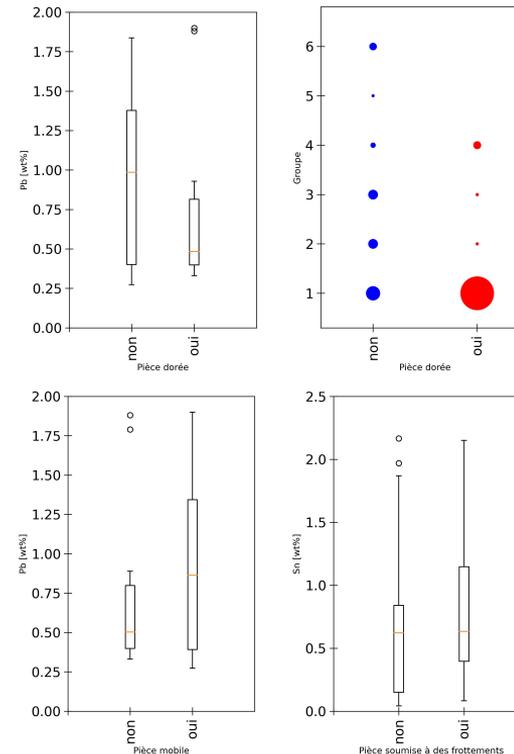


¹¹ [9] de la Vega, F., “Méthodes de classification automatique en archéologie”, in *Archéologie et calcul*, Union générale d'éditions, 1978.

¹² [10] Clarke, D.C., 1968. *Analytical Archaeology*. Methuen & Co Ltd, Londres.

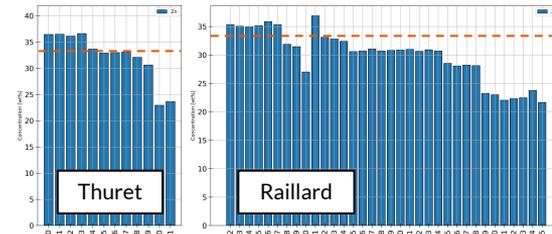
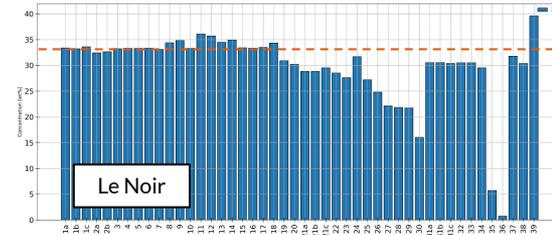
Caractériser les métaux : archéométrie

- Les groupes de pièces et les concentrations des éléments constitutifs du laiton peuvent être mis en regard de leurs caractéristiques esthétiques et fonctionnelles
→ **analyse multifactorielle et tests ANOVA** pour quantifier l'influence d'un paramètre et comprendre selon quels critères les horlogers sélectionnaient les laitons qu'ils utilisaient
- Quelques exemples :
 - chez Le Noir, les pièces dorées contiennent généralement très peu de plomb, alors que les pièces non dorées contiennent du plomb en quantité variable
→ utilisation probable de laiton pauvre en plomb pour éviter la formation de points sous la dorure
 - quand elles ne sont pas dorées, les pièces mobiles contiennent plus de plomb et/ou d'étain que la moyenne
→ l'ajout de plomb rend le laiton plus "usuable" et facilite le taillage des dentures
→ l'ajout d'étain diminue les frottements entre les roues et donc l'usure globale du mécanisme



Le laiton : économie et usage social

- Le laiton est longtemps resté un métal coûteux, en particulier, sa teneur en zinc influence particulièrement son prix ¹³
- Les laitons du mécanisme de Le Noir présentent des teneurs en zinc élevées, autour de 33%, et plusieurs pièces dépassent **cette limite** → en utilisant un critère de datation *terminus pre quem*, ces pièces devraient être plus récentes
- Toutefois, l'analyse de 2 autres mécanismes de la même époque montre également des pièces avec plus de 33% de zinc → **généralité applicable aux mécanismes d'horlogerie ?**
- Les hautes teneurs en zinc sont généralement associées aux **objets d'apparat**, symboles d'un **statut social élevé** ¹⁴ → on en retrouve par exemple dans les instruments scientifiques
- Les hautes teneurs en zinc rapprochent aussi la couleur du laiton de celle de l'or → **aspect esthétique important**

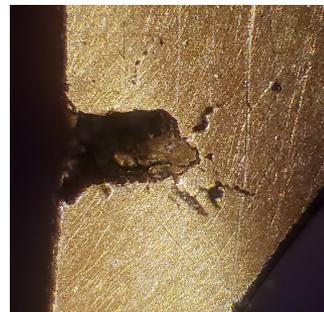
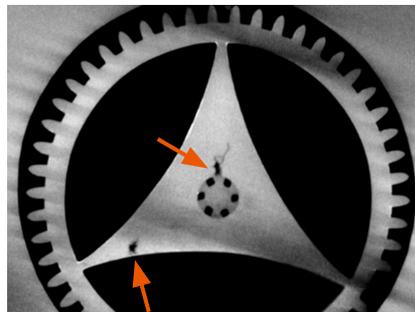


¹³ [11] Thomas, N., Bourgarit, D., 2018. "La peine emporte-t-elle le profit ? Economie de la production du laiton par cémentation au Moyen Âge", in : Thomas N., Dandridge P. (Ed.), *Cuivre, bronzes et laitons médiévaux : Histoire, archéologie et archéométrie des productions en laiton, bronze et autres alliages à base de cuivre dans l'Europe médiévale (12e-16e siècles)*. Proceedings of the symposium of Dinant and Namur, 15-17 May 2014, Namur, Agence wallonne du Patrimoine, pp. 71-88 (Etudes et documents, Archéologie ; 39)

¹⁴ [12] Saussus, L., Thomas, N., Bourgarit, D., 2023. *Exactly how free? Constrained choices and product ranges of medieval copper-alloy objects found between the Meuse and Loire rivers (9th–16th centuries CE)*. Heritage Science 11 (75)

Le laiton : économie et usage social

- Le choix des laitons est aussi en lien avec le prix des matières premières et en particulier du cuivre qui est importé de plusieurs régions d'Europe (Allemagne, Europe Centrale, Suède) et aussi du Japon → économie globalisée du cuivre guidée notamment par des contraintes économiques
- Ex : les pièces de fonderie sont diluées avec du cuivre pour réduire les teneurs en zinc, et ce cuivre est plus impur que celui utilisé pour fabriquer les plaques
- Réutilisation de morceaux de laitons issus de chutes pour des réparations et des pièces de moindre importance → pratique déjà en usage pendant la Renaissance ¹⁵, exemple d'une roue du mécanisme de Le Noir découpée dans un morceau de laiton usagé (faible teneur en zinc + **incisions résiduelles**)



¹⁵ [13] Hayard, M., 2004. *Chefs-d'œuvre de l'horlogerie ancienne : collection du Musée Paul-Dupuy de Toulouse*, Somogy, Paris & Musée Paul-Dupuy, Toulouse (image de gauche issue de la page 64)

Système complexe et rationalisation

- Une horloge est un système complexe constitué d'un grand nombre de composants, impliquant différents savoir-faire associés à différentes corporations
→ **séparation des tâches** = collaboration entre horlogers et fondeurs, graveurs, doreurs... dans le cadre d'une relation **donneur d'ordre - sous-traitant**
 - Ex : les décorations du mécanisme de Le Noir ont été façonnées par un graveur MAIS la composition des laitons montre que le laiton a probablement été fourni par Le Noir car il est identique aux autres pièces (N.B. : certains sous-traitants utilisaient leurs propres matériaux ¹⁶)
- Partage des techniques entre corporations → notion de **transversalité** déjà présente :
 - nombreux outils dérivés d'autres métiers, avec e.g. l'utilisation de cordes de luth ¹⁷ et de virginal ¹⁸ (instrument similaire au clavecin)
 - recettes de soudure par mélange d'étain, râpé à la lime, et de poudre de borax ¹⁹ qu'on retrouve à l'identique dans le traité de Nicolas Bion (1709) ²⁰ avec le même procédé de fabrication
- **Transversalité géographique** : on retrouve sur le mécanisme de Le Noir les techniques décrites dans le manuscrit d'Evelyn, britannique → **transmission des savoirs à travers l'Europe**

¹⁶ [14] Taylor, J.C., 2010. *The Coster-Fromanteel contract: John Fromanteel's brass and steel*. *Antiquarian Horology* 32 (3), pp. 336-342

¹⁷ [7] Papiers d'Evelyn, folio 9 recto

¹⁸ [7] Papiers d'Evelyn, folio 11 verso

¹⁹ [7] Papiers d'Evelyn, folio 11 verso

²⁰ [15] Bion, N., 1709. *Traité de la construction et des principaux usages des instruments de mathématique*. Imprimé chez Jean Boudot

Système complexe et rationalisation

- Optimisation de la production par une **rationalisation du processus de fabrication** → fabrication en “chaîne” de certaines pièces de fonderie :
 - *“la fusée est coulée, de sorte qu'une douzaine peut être coulée en une fois en une seule pièce, l'une, à l'extrémité d'une autre”* ²¹
 - pont coulé sur un mécanisme de Claude Raillard : on retrouve un pont presque identique sur un autre mécanisme de cet horloger (images du haut)
 - cartouches où est inscrit le nom de l'horloger : modèle standard qu'on retrouve presque à l'identique sur de nombreuses horloges entre ~1662 et ~1675 → même fournisseur pour tous les horlogers parisiens, mais aussi pour d'autres horlogers partout en France (Marseille...) → **production de fonderie horlogère déjà globalisée au niveau national ?**



²¹ [7] Papiers d'Evelyn, folio 8 verso

ArcheHor : Archéométrie pour l'Horlogerie

- Le Projet Simon Le Noir se focalise sur le mécanisme de Le Noir, mais l'analyse de ce mécanisme seul est vaine en l'absence de points de comparaison → très peu de données existantes dans la littérature, **l'horlogerie a rarement été étudiée d'un point de vue archéologique et scientifique**
- Dans cet objectif, 2 autres mécanismes ont été analysés (Claude Raillard (attr.), 1660-62 & Isaac Thuret, 1670-75) → similitudes identifiées entre ces mécanismes et celui de Le Noir, notamment dans la composition des laitons, même fournisseur ?
- Les quelques autres données disponibles publiquement (compositions des laitons d'horloges britanniques et allemandes des XVIe, XVIIe & XVIIIe siècles) montrent des dispersions importantes → tendances difficiles à dégager sur un large intervalle spatio-temporel
- Nécessité de rassembler davantage de données pour affiner les analyses et en dériver des généralités → **objectifs d'ArcheHor : systématiser l'analyse scientifique des horloges anciennes** pour constituer une base de données importante qui permettra de **caractériser l'évolution des techniques de fabrication, le choix des matériaux, les conventions esthétiques...** en fonction des époques et des pays, en lien avec les progrès technologiques et à l'évolution de la place de l'horlogerie dans un contexte social, économique et politique en continuelle évolution

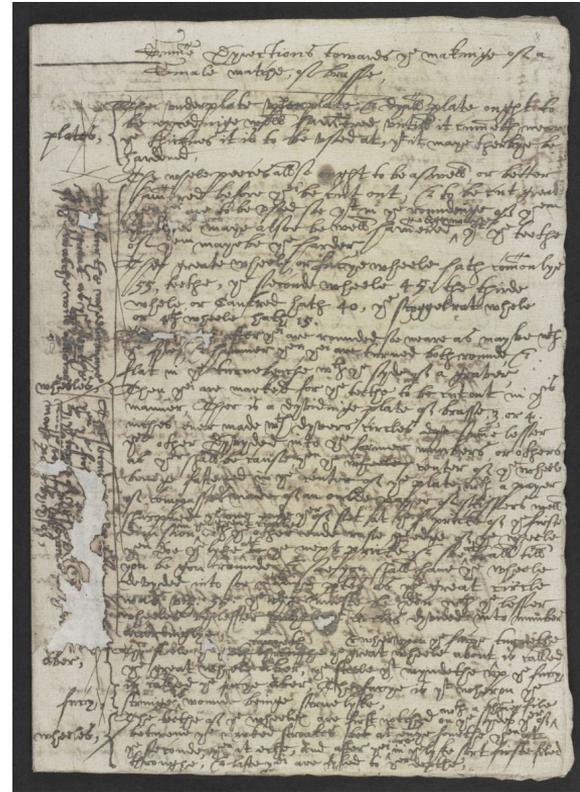
Origine d'ArcheHor

- ArcheHor est dans la continuité de 3 projets portant sur des sujets similaires :
 - **“Tools of Knowledge”** (<https://toolsofknowledge.org/>) : utilisation des instruments scientifiques modernes pour étudier les instruments scientifiques anciens²² → approche archéologique de ce type d'objets pour constituer des bases de données et comprendre la place de ces instruments dans le contexte mouvant des époques (économique, technique, socio-culturel...)
 - **“Open-Research”** (<http://www.ancient-horology.org/Piggott/>) : projet initié par Keith Piggott à la suite de l'étude d'une horloge à pendule primitive → constat d'une documentation lacunaire sur les horloges de cette époque, et sur la sélection des attributs utilisés pour les classer par ordre chronologique → constitution d'une base de données sur les premières horloges à pendule, en mêlant des aspects fonctionnels (structure des trains de rouage, nombres de dents...) et esthétiques (forme des piliers...) pour essayer de reconstruire une chronologie fiable de la période 1657-1670
 - **CHRONOSPEDIA** (<https://chronospedia.com/s/chronospedia/page/home>) : projet soutenu par le Ministère de la Culture qui vise à préserver le savoir-faire horloger et à le rendre accessible en numérisant et modélisant en 3D des mécanismes anciens

²² [16] Jardine, B., Nall, J., 2023. *The Lab in the Museum – Or, Using New Scientific Instruments to look at Old Scientific Instruments*. Centaurus 65 (2), pp. 261-290

Perspectives d'ArcheHor

- Compilation de données sur les horloges de collections privées, via les associations (AFAHA / AHS)
- Collecte de données sur des horloges conservées dans des musées et institutions publiques → généralisation de l'approche scientifique, partenariats à consolider
- Application des techniques mathématiques de traitement d'images / statistiques aux données existantes pour tirer le plus d'information possible des données déjà existantes
- Elargissement du champ de recherche : autres époques et autres pays
- Synergies avec "Tools of Knowledge"
- Potentiel de l'**archéologie expérimentale** : on reproduit les techniques de fabrication avec les mêmes outils et contraintes des horlogers du XVIIe siècle pour mieux appréhender leur démarche et comprendre les choix qu'ils opéraient lors de la fabrication d'un mécanisme → reproduction des techniques décrites dans le manuscrit d'Evelyn [7] (page de garde ci-contre)



Références

Sources par ordre de citation dans la présentation :

1. Gomand, A., 2022. *Simon Le Noir et l'application du pendule aux horloges : une histoire parallèle ?* Horlogerie Ancienne 91, pp. 16-44
2. Gomand, A., 2023. *Compléments dans l'affaire Simon Le Noir*. Horlogerie Ancienne 93, pp. 16-42
3. Gomand, A., 2024. *Experimenting with the pendulum: the work of Tito Livio Burattini (1617-1681)*. Antiquarian Horology 45 (1), pp. 63-87
4. Whitestone, S., 2013. *The van Call, a modern forgery*. Antiquarian Horology 34 (1), pp. 42-51
5. Ehrt, J., 2021. *Ein Mythos auf dem Prüfstand [...]*, Restaurierungsatelier Jürgen Ehrt
6. De Clercq, P., 1999. *Scientific instruments – originals and imitations: the Mensing connection – proceedings of a symposium, held at the Museum Boerhaave, Leiden, 15-16 October 1999*
7. British Library : Add. MS 78425 – Papiers d'Evelyn (Evelyn Papers). Vol. CCLVIII, fol. 8 recto - 14 recto
8. Thompson, D., 2023. 'Summe Dyrections towards the makeinge of a smale watch, of brasse' – *A guide to watchmaking techniques in the seventeenth century*. Antiquarian Horology 44 (2), pp. 179-206
9. de la Vega, F., "Méthodes de classification automatique en archéologie", in *Archéologie et calcul*, Union générale d'éditions, 1978
10. Clarke, D.C., 1968. *Analytical Archaeology*. Methuen & Co Ltd, Londres

Références

11. Thomas, N., Bourgarit, D., 2018. "La peine emporte-t-elle le profit ? Economie de la production du laiton par cémentation au Moyen Âge", in : Thomas N., Dandridge P. (Ed.), *Cuivre, bronzes et laitons médiévaux : Histoire, archéologie et archéométrie des productions en laiton, bronze et autres alliages à base de cuivre dans l'Europe médiévale (12e-16e siècles). Proceedings of the symposium of Dinant and Namur, 15-17 May 2014*, Namur, Agence wallonne du Patrimoine, pp. 71-88 (Etudes et documents, Archéologie ; 39)
12. Saussus, L., Thomas, N., Bourgarit, D., 2023. *Exactly how free? Constrained choices and product ranges of medieval copper-alloy objects found between the Meuse and Loire rivers (9th-16th centuries CE)*. *Heritage Science* 11 (75)
13. Hayard, M., 2004. *Chefs-d'œuvre de l'horlogerie ancienne : collection du Musée Paul-Dupuy de Toulouse*, Somogy, Paris & Musée Paul-Dupuy, Toulouse
14. Taylor, J.C., 2010. *The Coster-Fromanteel contract: John Fromanteel's brass and steel*. *Antiquarian Horology* 32 (3), pp. 336-342
15. Bion, N., 1709. *Traité de la construction et des principaux usages des instruments de mathématique*. Imprimé chez Jean Boudot
16. Jardine, B., Nall, J., 2023. *The Lab in the Museum – Or, Using New Scientific Instruments to look at Old Scientific Instruments*. *Centaurus* 65 (2), pp. 261-290

Références

Photographie du pont d'une horloge de Raillard, planche 15 à droite : © Dean Andrew Turner

Cartouches de la planche 15, de gauche à droite, de haut en bas :

- <https://gudemeis.com/en/collectie/an-early-french-louis-xiv-pendule-religieuse-striking-wall-clock-by-louis-baronneau-circa-1670/>
- <https://www.invaluable.com/auction-lot/a-louis-xiv-religieuse-clock-with-ebony-case-sign-40-c-6a44d9a9c1>
- collection de l'auteur
- https://www.1stdibs.com/fr/meubles/objets-d%C3%A9coratifs/horloges/pendules-de-chemin%C3%A9/pendule-religieuse-sign%C3%A9-claude-raillard-%C3%A0-paris-circa-1665/id-f_7601453/
- <https://www.invaluable.com/auction-lot/a-religious-clock-signed-pierre-du-chesne-paris-1101-c-8aa4572b1d?srsId=AfmBOorf8HmbKxXN1Vs7ZwbmryXnKUA3HTXC4NOktrXJuBMwCS9DHaY>
- <https://www.cotebasqueencheres.com/lots/199069-pendule-dite-religieuse-rectangulaire-en-noyer-noirci-plaque>

Les figures qui ne sont pas associées à une référence sont de l'auteur.