

Entre art et mécanique : conservation-restauration d'un tableau-horloge à automates (XIX^e s, Musée international d'horlogerie)

Mémoire présenté par :

Alice Dumon



Pour l'obtention du
Master of Arts HES-SO en Conservation-restauration
Objets scientifiques, techniques et horlogers (CROSTH)

Année académique 2025-2026

Remise du travail : 20.07.2026

Jury : 27.08.2026

Nombre de pages : 269

« J'atteste que ce travail est le résultat de ma propre création et qu'il n'a été présenté à aucun autre jury que ce soit en partie ou entièrement. J'atteste également que dans ce texte toute affirmation qui n'est pas le fruit de ma réflexion personnelle est attribuée à sa source et que tout passage recopié d'une autre source est en outre placé entre guillemets. L'usage des outils de l'intelligence artificielle doit se faire dans le respect des directives HES-SO et des recommandations de la Haute Ecole Arc. »

Date et signature :

Corrigendum

04/09/2026

La liste suivante recense les corrections apportées au mémoire suite aux retours reçus après la soutenance. Les améliorations syntaxiques ainsi que les corrections typographiques et grammaticales ne sont pas listées.

P. 15, Une précision a été ajoutée pour justifier l'emploi du terme « mouvement de Paris » malgré la présence de platines carrées.

P. 24, Une nuance a été apportée : la stratigraphie de la bronzine et dorure ne permet pas d'établir le taux de couverture réel des deux couches sur l'ensemble du cadre.

P. 24, Un commentaire a été ajouté sur la faible teneur en or mesurée par XRF, compatible avec une feuille d'or fine recouverte de deux couches de bronzine.

P. 24, Une précision a été ajoutée sur la mise en forme de la tôle de zinc et la nécessité des brasures.

P. 27, Le support analysé par fluorescence X (fer étamé) a été précisé dans le texte.

P. 27, Le terme « placage d'étain » a été remplacé par « étamage ».

P. 35, La description du fonctionnement de l'échappement a été corrigée : c'est le pendule qui oscille à sa fréquence propre et qui actionne l'échappement, et non l'inverse.

P. 35, La description du mécanisme de sonnerie a été corrigée : c'est la chaussée qui commande le nombre de coups à sonner.

P. 37, Une précision a été ajoutée sur la durée de fonctionnement du mécanisme d'automates lors de son actionnement.

P. 40, Un renvoi manquant a été corrigé.

P. 52, Une précision a été ajoutée : l'identification de la résine époxy et du PVAc résulte des analyses FTIR (Passaretti, 2026).

P. 53, La phrase sur le noircissement des lubrifiants a été nuancée, ce phénomène n'étant pas uniquement imputable à l'oxydation du cuivre contenu dans le laiton.

P. 59, L'argument concernant le point d'ébullition du solvant utilisé pour l'injection de consolidation a été corrigé.

P. 66, Une précision a été ajoutée expliquant l'emploi d'un mastic craie-colle en complément du papier japon pour le comblement du décor architectural.

P. 67, Des précisions ont été ajoutées sur la concentration de l'acide tannique employé et sur le rinçage effectué.

P. 72, Le terme « ressorts de click » a été remplacé par « ressorts de cliquet ».

P. 73, Une précision a été ajoutée sur la méthode d'observation ayant permis de constater le frottement causé par l'absence de chanfrein.

P. 74, « par oscillation » a été corrigé « par alternance ».

P. 79, Le régime de fonctionnement prévu de l'objet lors de l'exposition a été précisé.

Glossaire, Les définitions du barillet et du volant régulateur ont été corrigées : le barillet accumule l'énergie plutôt qu'il n'en constitue la source, et le volant régulateur freine par le frottement de ses ailettes dans l'air plutôt que par sa seule masse.

Bibliographie, La référence Reymondin et al., Théorie de l'horlogerie, CPIH, 1998, citée à plusieurs reprises dans le texte, a été ajoutée.

Remerciements

Ce travail n'aurait pas été possible sans le soutien et la collaboration de nombreuses personnes, à qui j'exprime ici toute ma gratitude.

Mes remerciements vont en premier lieu au Musée international d'horlogerie de La Chaux-de-Fonds, et plus particulièrement à Nathalie Marielloni, conservatrice du MIH, Régis Huguenin-Dumittan, directeur du MIH, Aurélie Branchini et Masaki Kanazawa, horlogers-restaurateurs du MIH pour leur confiance, leur suivi et les conditions offertes tout au long du stage.

Je remercie tout particulièrement Julie Schröter, ma mentore, dont les conseils et la disponibilité ont profondément marqué ce travail, qui n'aurait pas été le même sans elle.

J'exprime ma gratitude au Collège de diplôme de la Haute Ecole Arc Conservation-restauration : Laura Brambilla pour son encadrement dans les mesures d'émission acoustique, Tobias Schenkel pour son suivi en tant que professeur référent et pour les analyses XRF, ainsi que Valentin Boissonnas, Romain Jeanneret, Christian Degrygn et Régis Bertholon pour leurs conseils.

Merci à Camille Leisi pour le prêt de matériel de l'école et sa disponibilité.

Merci à Arianna Passaretti, Alexandra Lefebvre et Cécile Costa de la Haute Ecole Arc, ainsi qu'à Michał Łukomski et Ashley Freeman du Getty Conservation Institute, pour leur contribution aux analyses et à la méthodologie d'émission acoustique.

Mes remerciements s'adressent également à celles et ceux dont l'expertise a nourri ce travail :

- Françoise Collanges et Daniel Cousin pour leurs connaissances en horlogerie, leurs sources et leurs conseils au début du travail ;
- Fabrice Sauvagnargues (musée du quai Branly - Jacques Chirac) pour son avis d'expert sur les infestations ;
- Camille Alembik, conservatrice-restauratrice de matériaux organiques ;
- Julie Sutter, conservatrice-restauratrice de métaux peints ;
- Laurence Bodenmann, professeure à la Haute Ecole Arc ;
- Monika Danegger, conservatrice-restauratrice pour nos échanges ;
- Raschle Selina, étudiante en conservation-restauration de papier à la HKB ;
- Marie Carlier, étudiante de l'ENS Paris-Saclay en chimie organique, pour l'aide et la relecture du calcul d'indice de réfraction.

Je remercie aussi Karine Alexandrian et, plus largement, le Musée des arts et métiers de Paris pour leurs partages de connaissances et pour m'avoir ouvert leurs portes.

Mes remerciements vont à Léa Bingert pour son aide dans la réalisation de la documentation photographique en début de stage, et à Isaline du centre de documentation du MIH pour son soutien dans les recherches. Je remercie l'ensemble des institutions qui ont répondu à l'enquête sur la conservation des tableaux-horloges ; leurs retours ont nourri la réflexion menée dans ce travail.

Ma reconnaissance va également à l'ensemble des personnes qui m'ont accompagné pendant mon parcours, étudiant.e.s, et enseignant.e.s, tout au long de mes années de bachelier et de master. Je remercie également l'ensemble des institutions et professionnels de la conservation-restauration qui m'ont accueilli dans leurs institutions ou ateliers ces cinq dernières années.

Je remercie Léa Beauchemin, Naël El-Niess et France De Bouw pour la relecture de ce travail.

Merci à Théo Beauchemin pour ses relectures et son soutien, et à ma camarade Louise Robert pour son soutien, ses conseils et son endurance à mes côtés. Enfin, je remercie ma famille de m'avoir soutenue tout au long de ma scolarité.

Résumé

Ce mémoire porte sur l'étude et la restauration d'un tableau-horloge à automates du XIXe siècle (inv. IV-913) conservé au Musée international d'horlogerie de La Chaux-de-Fonds. Cet objet composite associe une peinture à l'huile sur plaque de zinc, un cadre en bois doré, un décor tridimensionnel en carton et papier formant un diorama, un mécanisme horloger de type mouvement de Paris (Vincenti & Cie) et un mécanisme d'animation d'automates indépendant animant un bateau et une chute d'eau simulée. La démarche articule étude historique et matérielle, étude technique, identification des valeurs culturelles, constat d'état, diagnostic, proposition d'intervention, traitement et discussion critique, en réponse à un mandat de stabilisation, d'amélioration esthétique et de remise en état de marche des deux mécanismes en vue d'une exposition prévue en 2027. L'objet se caractérise par une histoire matérielle stratifiée : peu de composants sont dans leur état d'origine, et la reconstitution de la chronologie des interventions antérieures a conditionné les choix de traitement. Les interventions ont porté sur la consolidation du cadre fragilisé par d'anciennes attaques xylophages (injection de Plexigum PQ611® et de perles creuses), le traitement de la surface dorée (retrait des bronzines anciennes, nouvelle bronzine au liant Plexigum PQ611®, vernis Laropal A81®), le nettoyage et le dévernissage de la plaque peinte avec retouches illusionnistes, la consolidation des éléments en papier et carton du décor, et la révision des deux mécanismes (nettoyage aux ultrasons, lubrification). Le travail propose une démarche méthodologique adaptée à la conservation des objets composites à fonction mécanique.

Mots-clés : tableau-horloge, automate, conservation-restauration, fonctionnement, composite, mécanisme horloger, peinture sur zinc, XIXe siècle, MIH, Vincenti & Cie

Abstract

This master's thesis concerns the study and conservation treatment of a 19th-century automaton clock-painting (inv. IV-913) held at the Musée international d'horlogerie, La Chaux-de-Fonds. This composite object combines an oil painting on a zinc plate, a gilded wooden frame, a three-dimensional cardboard and paper diorama, a Paris-type clock movement (Vincenti & Cie) and an independent automaton mechanism animating a ship and a simulated waterfall. The approach integrates historical and material study, technical examination, identification of cultural values, condition assessment, diagnosis, treatment proposal, treatment and critical discussion, in response to a mandate to stabilise the object, improve its appearance and restore both mechanisms to working order for an exhibition planned in 2027. The object is characterised by a layered material history : few components remain in their original state, and reconstructing the chronology of previous interventions directly shaped the treatment choices. The interventions addressed the consolidation of the frame weakened by former woodworm attacks (injection of Plexigum PQ611® and hollow microspheres), treatment of the gilded surface (removal of old bronze paint, new bronze paint with a Plexigum PQ611® binder, Laropal A81® varnish), cleaning and varnish removal of the painted plate with illusionist inpainting,

consolidation of the paper and cardboard décor elements, and complete overhaul of both mechanisms (ultrasonic cleaning, lubrication). The work proposes a methodological approach.

Keywords : painting-clock, automaton, conservation-restoration, functionality, composite, clockwork mechanism, painting on zinc, 19th century, MIH, Vincenti & Cie

Zusammenfassung

Diese Abschlussarbeit befasst sich mit der Untersuchung und Restaurierung eines Uhrenbildes mit Automaten aus dem 19. Jahrhundert (Inv. IV-913), das im Internationalen Uhrenmuseum in La Chaux-de-Fonds aufbewahrt wird. Dieses vielschichtige Objekt vereint ein Ölgemälde auf einer Zinkplatte, einen vergoldeten Holzrahmen, ein dreidimensionales Dekor aus Pappe und Papier, das ein Diorama bildet, ein Uhrwerk vom Typ „Mouvement de Paris“ (Vincenti & Cie) sowie einen eigenständigen Automatenantrieb, der ein Boot und einen simulierten Wasserfall in Bewegung versetzt. Der Ansatz verbindet historische und materielle Untersuchung, technische Analyse, Ermittlung kultureller Werte, Zustandserfassung, Diagnose, Massnahmenvorschlag, Behandlung und kritische Diskussion als Antwort auf den Auftrag zur Stabilisierung, ästhetischen Aufwertung und Wiederherstellung der Funktionsfähigkeit beider Mechanismen im Hinblick auf eine für 2027 geplante Ausstellung. Das Objekt zeichnet sich durch eine vielschichtige materielle Geschichte aus: Nur wenige Bauteile befinden sich noch in ihrem ursprünglichen Zustand, und die Rekonstruktion der Chronologie früherer Eingriffe hat die Entscheidungen hinsichtlich der Behandlung beeinflusst. Die Massnahmen umfassten die Konsolidierung des durch frühere Holzwurmbefall geschwächten Rahmens (Injektion von Plexigum PQ611® und Hohlperlen), die Behandlung der vergoldeten Oberfläche (Entfernung der alten Bronzine, neue Bronzine mit Plexigum PQ611® als Bindemittel, Laropal A81®-Lack), die Reinigung und Entlackung der bemalten Platte mit illusionistischen Retuschen, die Konsolidierung der Papier- und Kartonelemente des Dekors sowie die Überholung der beiden Mechanismen (Ultraschallreinigung, Schmierung). Die Arbeit stellt einen methodischen Ansatz vor, der auf die Konservierung von zusammengesetzten Objekten mit mechanischer Funktion zugeschnitten ist.

Stichworte: Uhrenbild, Automat, Konservierung und Restaurierung, Funktionsweise, Verbundobjekt, Uhrwerk, Malerei auf Zink, 19. Jahrhundert, MIH, Vincenti & Cie

Table des matières

Remerciements	5
Résumé	7
Abstract	7
Introduction.....	13
Présentation de l'objet.....	14
Fiche d'identité de l'objet.....	14
Mandat et contexte de l'intervention.....	15
Problématique	15
Objectifs du travail.....	16
Démarche générale	16
1. L'objet dans son contexte historique et matériel	17
1.1 Histoire des tableaux-horloges à automates	17
1.1.1 Contexte général : l'horlogerie décorative au XIX ^e siècle	17
1.1.2 Définition, histoire et état de la littérature	18
1.2 Histoire matérielle de l'objet.....	19
1.2.1 Historique connu	19
1.2.2 Interventions antérieures identifiées	20
2. Étude technique de l'objet	22
2.0 Vue d'ensemble	22
2.1 Boîte en bois (caisson) : structure porteuse.....	25
2.2 Cadre en bois doré	26
2.3 Plaque métallique peinte	26
2.4 Décor tridimensionnel	29
2.4.1 Liséré inférieur	29
2.4.2 Décors architecturaux latéraux	30
2.4.3 Élément « eau »	32
2.4.4 Bateau (élément mobile).....	33
2.5 Mécanismes	36
2.5.1 Mécanisme horloger.....	36
2.5.2 Affichage : Cadran.....	38
2.5.3 Mécanisme d'automates.....	39
3. Constat d'état des altérations	42
3.1 Boîte en bois (caisson)	42
3.2 Cadre en bois doré	42
3.3 Plaque métallique peinte	45
3.4 Décor tridimensionnel	45

3.4.1 Liséré inférieur	45
3.4.2 Décors architecturaux latéraux	46
3.4.3 Élément papier froissé imitant l'eau	47
3.4.4 Bateau	48
3.5 Mécanisme horloger	49
3.6 Mécanisme d'automates.....	50
4. Valeurs culturelles et intérêt patrimonial	50
4.1 Identification des valeurs	50
5. Diagnostic.....	52
5.1 Boîte en bois.....	52
5.2 Cadre en bois doré	52
5.3 Plaque métallique peinte	54
5.4 Décor tridimensionnel	54
5.5 Mécanismes	55
5.6 Hiérarchisation des risques	55
Court terme	55
Moyen terme	55
Long terme.....	55
6. Proposition d'intervention	57
7. Traitement de conservation-restauration.....	59
7.0 Tests préalables au traitement de conservation-restauration.....	59
7.1 Boîte en bois (caisson)	59
7.2 Cadre en bois doré	59
7.2.1 Diagnostic de l'infestation xylophage	59
7.2.2 Traitement du revers du cadre	61
7.2.3 Traitement de l'avvers : surface dorée.....	62
7.2.4 Traitement structurel de l'avvers : Fabrication moulage d'un nouveau coin	64
7.3 Plaque métallique peinte	64
7.4 Décor tridimensionnel	66
7.4.1 Eléments architecturaux latéraux	66
7.4.2 Liséré inférieur	69
7.4.3 Élément « eau » papier froissé	69
7.4.4 Bateau	70
7.4.5 Résultat des interventions sur le décor	71
7.5 Mécanisme d'automates.....	72
7.6 Mécanisme horloger	74

7.7 Dispositif de protection : Poly (méthacrylate de méthyle) (PMMA, communément <i>plexiglas</i>)	77
7.8 Résultats de l'intervention	78
8. Discussion	79
8.1 Bilan du traitement et atteinte des objectifs du mandat	79
8.2 Apports pour la conservation des tableaux-horloges à automates	81
8.3 Limites et perspectives	81
9. Conclusion	82
9.1 Réponse à la problématique	82
9.2 Apports et ouvertures	82
Bibliographie	85
Crédits photographiques	95
Listes des figures	95
Liste des tableaux	98
Annexes	101
Annexe A : Nomenclature de l'objet et glossaire	101
Nomenclature de l'objet	101
Glossaire	107
Liste des abréviations	113
Sources de référence pour la nomenclature et le glossaire	114
Annexe B : Protocoles analytiques et résultats détaillés	117
Spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier (FTIR-ATR)	117
Fluorescence X (FRX portable)	121
Lumière ultraviolette	130
Mesure d'émission acoustique	136
Indice de réfraction Plexigum PQ 611®	141
Annexe C : Documentation photographique complémentaire	147
Annexe D : Fiches techniques et recettes	152
Annexe E : Interventions antérieures, sources et documentation	180
E.1 Argumentaire d'identification et de datation des interventions antérieures	180
E.2 Proposition de séquence chronologique des interventions	185
E.3 Documentation muséale de l'objet et de la collection du MIH	186
E.4 Discussion avec Monika Dannegger (ACR, Fribourg)	188
E.5 Objets comparables conservés au Musée des arts et métiers (Paris)	190
E.6 Objet comparable en vente publique (Rouillac, 2019)	198
Annexe F : Tableaux détaillés des altérations	200
Annexe G : Enquête institutionnelle	211

Annexe H : Tableaux de critères et résultats des tests préalables	216
Annexe I : Recommandations de conservation préventive	228
I1 Conditions environnementales de conservation et d'exposition optimales.....	228
I2 Manipulation et conditionnement en réserve	230
I3 Montage et démontage des éléments du décor tridimensionnel.....	233
I4 Pose et retrait de la plaque de plexiglas	236
I5 Protocole de mise en fonctionnement lors d'exposition	239
I6 Programme d'entretien mécanique préventif	241
I7 Signaux d'alerte	243
Annexe J : Calculs des ressorts et trains de rouages du mouvement horloger	245
Annexe K : Estimation de l'empreinte carbone du traitement	255
Annexe L : Identifications des bois par microscope USB	263

Introduction

Ce mémoire est consacré à l'étude et à la restauration d'un tableau-horloge à automates conservé au Musée International d'Horlogerie (MIH) de La Chaux-de-Fonds en Suisse, sous le numéro d'inventaire IV-913. Ces objets composites, dont la production s'est développée principalement au cours du XIX^e siècle, associent une composition picturale, un mécanisme horloger et un ou plusieurs dispositifs d'animation mécanique. Leur conservation-restauration soulève des questions méthodologiques spécifiques, liées à la coexistence dans un même ensemble de matériaux aux comportements physico-chimiques et mécaniques distincts : bois, métal, peinture, papier, carton, textiles et mécanismes d'horlogerie.

L'objet étudié combine trois fonctions superposées : celle d'un tableau peint sur support métallique en zinc, celle d'une horloge sonnant les heures et les demi-heures, et celle d'un automate animant un bateau voguant sur une eau figurée en papier froissé ainsi qu'une chute d'eau simulée par une baguette en verre. Cette multiplicité de fonctions rend son traitement complexe : chaque composant obéit à des exigences distinctes qu'il faut tenter de concilier.

L'intervention a été réalisée dans le cadre d'un stage au MIH de février à juin 2026. L'une des orientations de l'institution est la valorisation des collections par la mise en fonctionnement des objets, dans le respect de leur intégrité matérielle. Cette approche s'inscrit dans une conception du patrimoine horloger comme patrimoine vivant, dont la transmission inclut la dimension immatérielle du fonctionnement. La remise en état de marche des mécanismes constituait ainsi l'un des objectifs centraux du mandat confié par l'institution.

Par ailleurs on a pu constater que peu de composants se trouvent dans leur état d'origine : les surfaces ont fait l'objet de plusieurs reprises successives, dont la reconstitution chronologique constitue elle-même un apport de ce travail. Cette histoire matérielle stratifiée a directement conditionné les choix d'intervention : certaines décisions qui auraient été exclues face à un objet intact se sont révélées légitimes précisément parce que les interventions antérieures avaient déjà substantiellement modifié l'état des surfaces.

D'un point de vue documentaire, les tableaux-horloges à automates sont une catégorie peu documentée en conservation-restauration. Les sources disponibles, principalement des revues de collectionneurs, des brevets et des sources d'époque, documentent leur histoire et leur fonctionnement, mais n'abordent pas les protocoles d'intervention spécifiques. Ce mémoire cherche à contribuer à combler cette lacune, en proposant une démarche adaptée à cette catégorie d'objets, élaborée à partir d'un cas concret.

Présentation de l'objet

Fiche d'identité de l'objet

Champ	Information
Numéro d'inventaire	IV-913
Institution	Musée international d'horlogerie (MIH), La Chaux-de-Fonds, Suisse
Dénomination	Tableau-horloge à automates
Dimensions (Hauteur x Largeur x Profondeur)	73 x 98 x 20 cm
Datation supposée	Seconde moitié du XIX ^e siècle (<i>terminus post quem</i> : 1852, suspension Brocot, poinçon « Vincenti&Cie, médaille d'argent »)
Origine géographique supposée	France (drapeaux tricolores ; mouvement « Vincenti & Cie », région Montbéliard)
Matériaux	Bois, alliages ferreux, alliages cuivreux (laiton), alliages de zinc, plâtre, papier, carton, adhésifs, ficelles, polychromies, vernis, dorures
Signature / marque	« Vincenti & Cie, médaille d'argent » (sur le mouvement horloger) Brocot B.té S.G.D.G
Provenance	Achat. Vente aux enchères Auktionen Dr. Crott (85e vente, 12 mai 2012, Sheraton Frankfurt), lot n°306, p. 292
Date d'acquisition par le MIH	2012
Localisation actuelle	Réserves du MIH, couloirs atelier
Destination prévue	Exposition temporaire au MIH en 2027
Avers Revers	

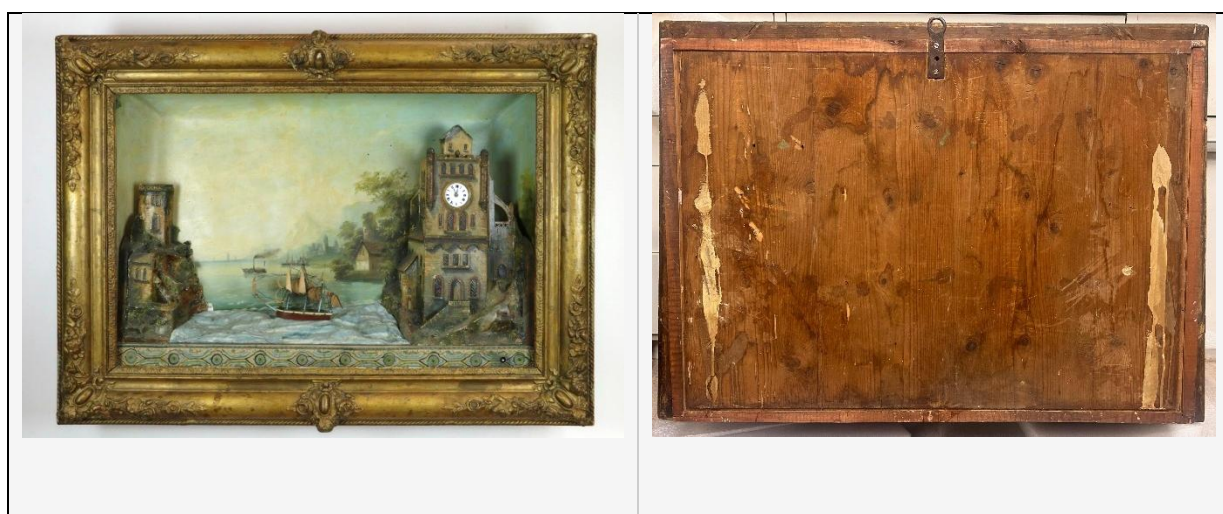


Tableau 1 Fiche d'identité de l'objet

Mandat et contexte de l'intervention

Le mandat confié par le MIH vise trois objectifs complémentaires et indissociables : la stabilisation matérielle de l'objet, l'amélioration de l'esthétique globale, et la remise en état de marche des mécanismes en vue de la présentation au public lors de l'exposition de 2027. La remise en fonctionnement ne peut être envisagée sans stabilisation préalable des matériaux les plus fragiles, en particulier la partie en papier du décor tridimensionnel et le cadre en bois. Le volet esthétique porte principalement sur la composition picturale et la cohérence visuelle du cadre. Il s'agit d'une amélioration de la présentation de l'objet, cohérente avec les objectifs muséographiques de 2027.

Le traitement a été réalisé dans l'atelier de restauration du MIH à La Chaux-de-Fonds dans le cadre d'un stage de travail de master de février à juin 2026. D'importants travaux de construction étaient en cours durant toute la période du stage, dont l'achèvement est prévu à l'automne 2026. Ces travaux ont engendré des vibrations et des nuisances sonores continues à l'intérieur du bâtiment. Ce facteur a constitué une contrainte déterminante : il a rendu impossible la réalisation de mesures d'émission acoustique instrumentées lors du fonctionnement des mécanismes restaurés, condition pourtant indispensable à une évaluation objective des contraintes vibratoires exercées sur les matériaux.

Le musée était par ailleurs fermé au public du 9 février au 10 avril 2026, sans que cela n'interrompe les mouvements internes d'œuvres et de personnel. Une partie des interventions a nécessité le transport de l'objet entre le MIH et la Haute Ecole Arc à Neuchâtel, afin d'accéder à des équipements d'émission acoustique non disponibles sur site.

Problématique

Le tableau-horloge IV-913 est un objet dans lequel peu de composants se trouvent dans leur état d'origine : Les surfaces ou structures ont fait l'objet de plusieurs reprises. À cette histoire matérielle s'ajoute la complexité intrinsèque de l'objet : plusieurs fonctions superposées (tableau peint, décor tridimensionnel, pendule, automate), des matériaux aux comportements mécaniques et physico-chimiques antagonistes (métaux, bois, papier, peinture). Cela amène la problématique suivante :

Comment définir une stratégie de conservation-restauration cohérente pour un objet composite du XIX^e siècle, dont l'authenticité matérielle est disséminée entre plusieurs couches d'interventions successives, et dans lequel chaque composant obéit à des contraintes de conservation différentes ? Comment assurer la cohérence de l'ensemble et la pérennité du fonctionnement sans effacer une histoire matérielle qui est elle-même constitutive de l'identité de l'objet ?

Objectifs du travail

Connaitre : Valoriser l'objet dans et par sa complexité. Restituer par l'écrit, schémas ou tableaux le fonctionnement, la fabrication et l'histoire du tableau-horloge à automates : comment il a été conçu, comment ses fonctions s'articulent, quels matériaux le composent. Pour un objet peu documenté, c'est aussi le socle sans quoi aucune décision de conservation ne peut être argumentée.

Comprendre l'histoire : Reconstituer l'histoire matérielle stratifiée de l'objet. Établir une chronologie des interventions successives pour distinguer ce qui est d'origine de ce qui a été ajouté, modifié ou repris.

Décider : Élaborer une stratégie de conservation-restauration pour l'ensemble. En se basant sur les deux objectifs précédents, définir et argumenter des interventions qui respectent les contraintes propres à chaque composant tout en maintenant l'unité de l'objet, en se prononçant notamment sur le traitement des interventions antérieures et sur la question du fonctionnement.

Démarche générale

La démarche est organisée en plusieurs blocs successifs, chacun s'appuyant sur les résultats du précédent. L'étude historique et contextuelle ([bloc 1](#)) situe l'objet dans son époque de production, documente son histoire matérielle propre, interventions antérieures comprises. L'étude technique ([bloc 2](#)) décrit l'ensemble des composants selon l'ordre supposé de fabrication. Le constat d'état ([bloc 3](#)) décrit les altérations. Le ([bloc 4](#)) présente l'identifications des valeurs culturelles et leur impact sur l'objet. Le diagnostic ([bloc 5](#)) en propose l'interprétation causale et hiérarchise les priorités. La proposition d'intervention ([bloc 6](#)) définit la stratégie validée avec le musée. Le traitement ([bloc 7](#)) en documente la mise en œuvre. La discussion ([bloc 8](#)) en analyse et critique les résultats. La conclusion ([bloc 9](#)) synthétise les apports, réponds à la problématique et ouvre des perspectives.

La nomenclature de l'objet et le glossaire se trouve en [annexe A](#)

Une enquête a été menée auprès d'institutions conservant des tableaux-horloges au sens large, afin de documenter les pratiques actuelles de conservation et de présentation (questionnaire en [Annexe G](#)).

1. L'objet dans son contexte historique et matériel

Ce premier bloc réunit les données contextuelles permettant de comprendre l'objet avant toute analyse technique. Il aborde l'histoire générale des tableaux-horloges à automates, l'histoire matérielle propre à l'IV-913 en incluant les interventions antérieures sous forme d'un tableau récapitulatif et une mise en perspective comparative avec des objets similaires conservés en institution.

1.1 Histoire des tableaux-horloges à automates

1.1.1 Contexte général : l'horlogerie décorative au XIX^e siècle

Au XIX^e siècle, les pendules occupent une place importante dans l'ameublement des intérieurs. Le mouvement horloger constitue le cœur fonctionnel d'objets souvent conçus comme des pièces décoratives, associant mécanique, sculpture et ornementation (Chavigny, Fievez, 2007). Dans ce contexte, se développe la production industrielle du mouvement de Paris : un mécanisme standardisé, fabriqué en série par des manufactures spécialisées et intégré dans une grande variété de pendules décoratives. Parmi ces manufactures figure l'entreprise « Vincenti & Cie », fondée en 1823 par Jean Vincenti à Montbéliard (Usine d'horlogerie et de mécanique de précision Roux et Cie, Patrimoine en Bourgogne-Franche-Comté). Ses productions sont récompensées lors des expositions industrielles parisiennes, d'où la mention « médaille d'argent » gravée sur les platines (Chavigny et Fievez, 2012).

Au cours de cette période, l'horlogerie domestique se combine avec des dispositifs mécaniques d'animation de manière plus récurrente (Foulkes, 2017). Les tableaux-horloges constituent un exemple représentatif de cette hybridation entre horlogerie et spectacle de curiosité mécanique au XIX^e siècle dans le milieu bourgeois (Figure 1). Plusieurs brevets français attestent de l'intérêt pour ce type d'objets dès le début du XIX^e siècle. En 1817, un brevet décrit un « tableau représentant un lac légèrement agité, où figurent des simulacres de vaisseaux ou barques, mis en mouvement par un mécanisme » (Richard, 1817). En 1859, un certificat d'addition décrit des « tableaux mouvants représentant des figures, objets et sujets de marine » (Robinot, 1859). En 1868, un brevet mentionne explicitement une « pendule à tableau », confirmant la combinaison de représentation picturale, de mécanisme animé et de fonction horaire (LAVILLE Dominique dit DAIGNAUD / horloger, 1868).



Figure 1 Honoré DAUMIER, Achat d'un tableau horloge, 1847, lithographie. Washington, National Gallery of Art, n° d'inv. 2015.143.378, Corcoran Collection. Domaine public.

La fabrication d'un tel objet peut mobiliser plusieurs corps de métiers : un peintre ou décorateur pour la couche picturale, un horloger pour le mouvement, un automatier pour les animations, et un ébéniste ou encadreur pour la structure soit jusqu'à six personnes pour un même objet (ANCAHA n° 81). Les scènes représentées, marines et paysages animés, comme les composants employés, se répètent d'un exemplaire à l'autre. C'est la combinaison particulière de ces éléments, issue de la pluralité des savoir-faire mobilisés, qui confère à chaque objet son caractère unique. Leur production se concentre principalement en France (région de Montbéliard et Paris), en Suisse (Genève, Neuchâtel) et en Forêt-Noire.

1.1.2 Définition, histoire et état de la littérature

L'exposition *Tableaux mécaniques et pièces curieuses à musique* (2003) du Musée des automates de Neuilly définit dans une brochure trois catégories de tableaux mécaniques :

« *Les tableaux horloges [...]*

Les tableaux mécaniques [...]

Les tableaux mécaniques en relief avec automates, sortes de tableaux sophistiqués, illustrent des saynètes composées de petites figurines en trois dimensions (bateaux mobiles, personnages). »

Ces tableaux se traduisent comme étant des objets composites associant une composition picturale, un mécanisme horloger et un ou plusieurs dispositifs d'animation mécanique. Dans la littérature technique et les brevets du XIX^e siècle, ils apparaissent sous les dénominations de « tableaux mécaniques » (DESROSIERS / fabricant de tableaux mécaniques, LAFOND), « pendules à tableau » (LAVILLE Dominique dit DAIGNAUD / horloger) ou encore « tableaux mouvants » (ROBINOT). Ils sont aussi mentionnés dans certains journaux au XIX^e siècle (*Journal des dames* 1826, *Journal des artistes* 1883)

Du point de vue de la littérature spécialisée, ces objets constituent un corpus peu étudié. L'historiographie technique est initiée par Alfred Chapuis (1984), dont l'ouvrage *Le monde des automates* offre une base pour la compréhension de leur développement. Les publications de l'ANCAHA (Chavigny, 2004 ; Krieg, 1991) et de l'AFAHA (Ginestet, 1993) constituent des sources complémentaires, abordant ces objets sous des angles techniques, esthétiques et iconographiques.

La littérature scientifique en conservation offre plusieurs points d'appui. Les travaux de Boon (Boon et al. 2002), Russo (Russo et al. 2023) ont documenté la formation et la migration des savons métalliques dans les peintures à l'huile, processus pertinent lorsque des matériaux métalliques sont en contact avec des liants organiques (Russo et al. 2023 ; Robinet et Corbeil 2003). Bill Wei (2021) a établi que des vibrations cycliques, même de faible amplitude, peuvent provoquer la formation de microfissures dans les couches picturales, ces résultats sont applicables aux objets mécaniques générant leurs propres vibrations internes. Un colloque s'est tenu à ce propos en 2021 (INP, 2021). Des travaux proches ont été réalisés sur des objets composites : Perret-Gentil Emeline (2020) sur un diorama en verre filé à la Haute Ecole Arc, Catillon Rémi (2012) sur un modèle

réduit de moulin à vent du Musée des Arts et Métiers (MuAM). Une étudiante de la Cambre à Bruxelles en Belgique a mené son travail d'atelier sur un tableau-horloge sur la partie picturale peinte sur toile (Ksouri, 2023).

Un objet particulièrement proche du tableau-horloge à automates étudié a été identifié : un tableau-horloge daté de 1849-51, attribué à Tharin (horloger-assembleur parisien), vendu aux enchères en 2019 (Rouillac, 2019), dont le décor présente des similitudes stylistiques notables.

1.2 Histoire matérielle de l'objet

1.2.1 Historique connu

Le tableau-horloge IV-913 a été acquis par le MIH en 2012 lors d'une vente aux enchères organisée par la maison Auktionen Dr. Crott (85e vente, 12 mai 2012, Sheraton Frankfurt Hotel, lot n° 306, p. 292) pour un montant de 9 500 CHF. L'institution a procédé à cette acquisition certainement en raison de sa rareté et que le musée n'avait pas d'objet semblable. Avant cette acquisition, l'histoire de l'objet est largement inconnue.

La présence d'une suspension Brocot de type IV breveté en 1852 (Chavigny, 1991) est un *terminus post quem* à cette date pour la fabrication. La présence du poinçon « Vincenti & Cie, médaille d'argent » sur le mouvement indique que celui-ci est antérieur à l'obtention d'une nouvelle médaille par la manufacture en 1855, après laquelle le poinçon fut modifié en conséquence. L'absence de ce poinçon ultérieur permet ainsi de situer la datation du mouvement entre 1852 et 1855. La comparaison stylistique avec le tableau Tharin de 1849-1851 (Rouillac, 2019) renforce cette datation. La présence de drapeaux tricolores français dans la composition picturale et le type de mouvement utilisé orientent vers une origine française, vraisemblablement un assemblage parisien avec un mouvement issu des manufactures montbéliardaises.

Un mécanisme d'animation du bateau comparable est illustré dans un tableau mécanique de la collection P. A. Muller de Pau (Chapuis, 1984, p. 328) (Figure 2)

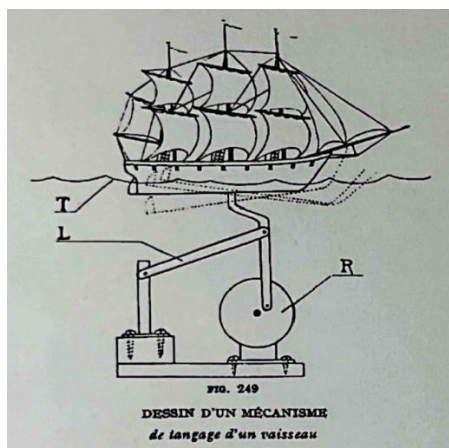


Figure 2 Mécanisme d'animation du bateau dans un tableau mécanique de la collection P. A. Muller, Pau.
Source : Chapuis, 1984, p. 328.

1.2.2 Interventions antérieures identifiées

L'examen de l'objet a permis d'identifier de nombreuses interventions antérieures, réparties sur l'ensemble des composants ayant modifiés l'ensemble. Le tableau ci-dessous les recense dans l'ordre de fabrication supposé. Ces éléments sont décrits de manière plus détaillée en annexe E, où figurent le cheminement ayant mené à ces conclusions ainsi que les documents et discussions sur lesquels ils reposent. Les conséquences visibles de certaines d'entre elles sont décrites dans le constat d'état ; seuls les faits d'identification sont consignés ici et peuvent être des hypothèses développées plus en profondeur dans le diagnostic.

Composant	Intervention identifiée	Matériaux / indices	Datation hyp.
Cadre bois partie intérieure	Trous de clous inactifs témoignant de modifications du montage ou d'un réemploi possible	Trous visibles dans le bois sur les parties proches du mécanisme horloger	Indéterminée
Cadre bois	Comblement de galeries xylophages	Matériau de bouchage non identifié (couleur et texture variables)	Indéterminée
Cadre surface	Application d'une couche de bronzine sur la dorure originelle	Bronzine visible : poudre de laiton / cuivre en suspension dans résine polyuréthane (Passaretti, 2026)	1950-1990
	Application d'une seconde couche de bronzine	Même liant que le vernis, gomme laque	1960-2000
	Application d'un vernis de finition sur la bronzine	Vernis organique jauni	

Plaque peinte vernis	Application d'un vernis postérieur (application hétérogène)	Vernis jauni, application inégale	1870-1990
Plaque peinte support	Découpe ou modification du support métallique	Découpages différents, outil différent utilisé	Indéterminée
Décor 3D général	Reprises localisées de surface et applications d'adhésifs	Résine époxy	Après 1950
	Reprises localisées de surface et applications d'adhésifs	PVAc	Après 1950
Décor 3D papier mer	Collage d'une fissure	Colle non identifiée	Indéterminée
Décor 3D bateau (cordages)	Collage aux extrémités des ficelles	Adhésif blanc rigide PVAc	Indéterminée
Décor 3D liseré	Indéterminée : possiblement ajoutés - liseré en papier	Papier, objet de comparaison au MuAM en vente aux enchères Rouillac	Après 1900
Mécanisme automates	Recollage d'une poulie fracturée	Adhésif blanc appliqué en couche épaisse (semblable PVAc)	XX ^e siècle
Mécanisme horloger	Repositionnement (trous non utilisés)	Trous inactifs visibles dans la zone de fixation	Indéterminée
	Bouchonnage du mobile fourchette-échappement	Bouchon laiton visible sous microscope	Indéterminée

Tableau 2 Interventions antérieures identifiées

2. Étude technique de l'objet

L'étude technique est organisée selon l'ordre supposé de fabrication, du composant le plus structurel aux surfaces et mécanismes. Pour chaque composant, la description des matériaux constitutifs et des techniques de fabrication est présentée conjointement. La nomenclature complète de l'objet figure en [Annexe A](#).

Légende des encadrés :

- ◆ Substrat / support primaire (bleu)
- ◆ Couche ou élément de surface toutes couches confondues (vert)
- Assemblage entre composants (orange)

2.0 Vue d'ensemble

La compréhension de l'objet nécessite d'en distinguer les grandes composantes avant d'en décrire les détails (Figure 4 et 5). L'objet se présente sous la forme d'un tableau encadré, dont les dimensions sont de 73 × 98 × 20 cm.

Les grandes composantes de l'objet sont les suivantes :

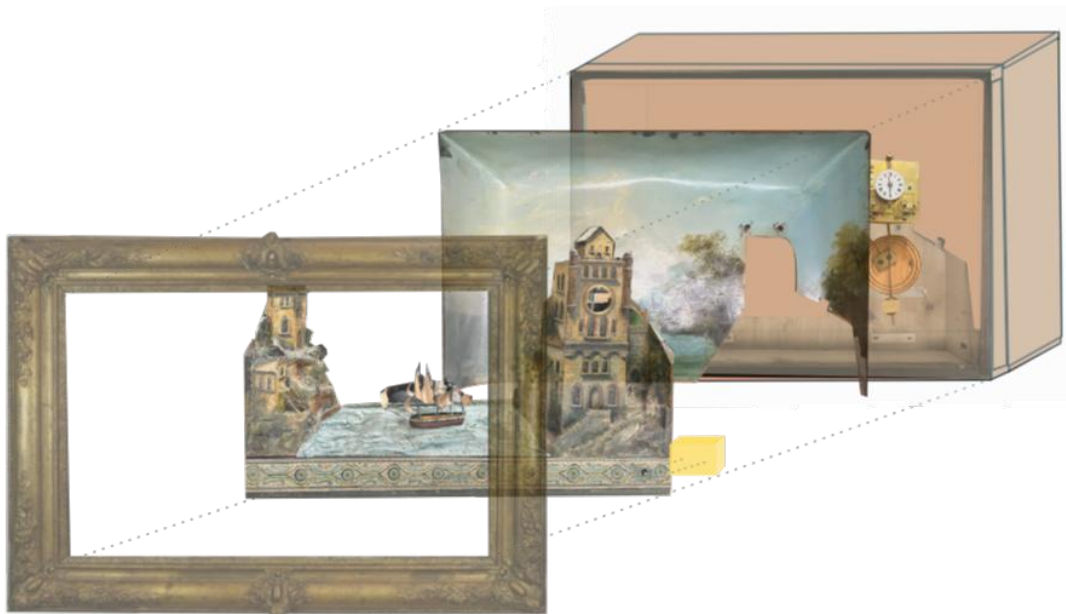


Figure 3 schéma éclatée vue isométrique

Élément / Couche	Matériau identifié / supposé	Mode d'assemblage
Cadre en bois doré	Bois, dorure, bronzine, vernis	Assemblage sur la boîte par clouage
Boîte en bois (caisson)	Bois (5 planches), alliage ferreux	Structure porteuse de l'ensemble
Plaque métallique peinte	Alliage de zinc, peinture à l'huile, vernis	Encaissée dans la boîte, fixée par clous
Décor tridimensionnel	Carton, papier, bois, adhésifs, métal, polychromie, verre	Fixé sur la plaque et les parois de la boîte
Mécanisme horloger	Laiton, acier, verre (cadran émaillé)	Vissé sur la structure bois (3 vis)
Mécanisme d'automates	Laiton, acier, bois (poulies), cordes	Vissé à l'arrière du décor

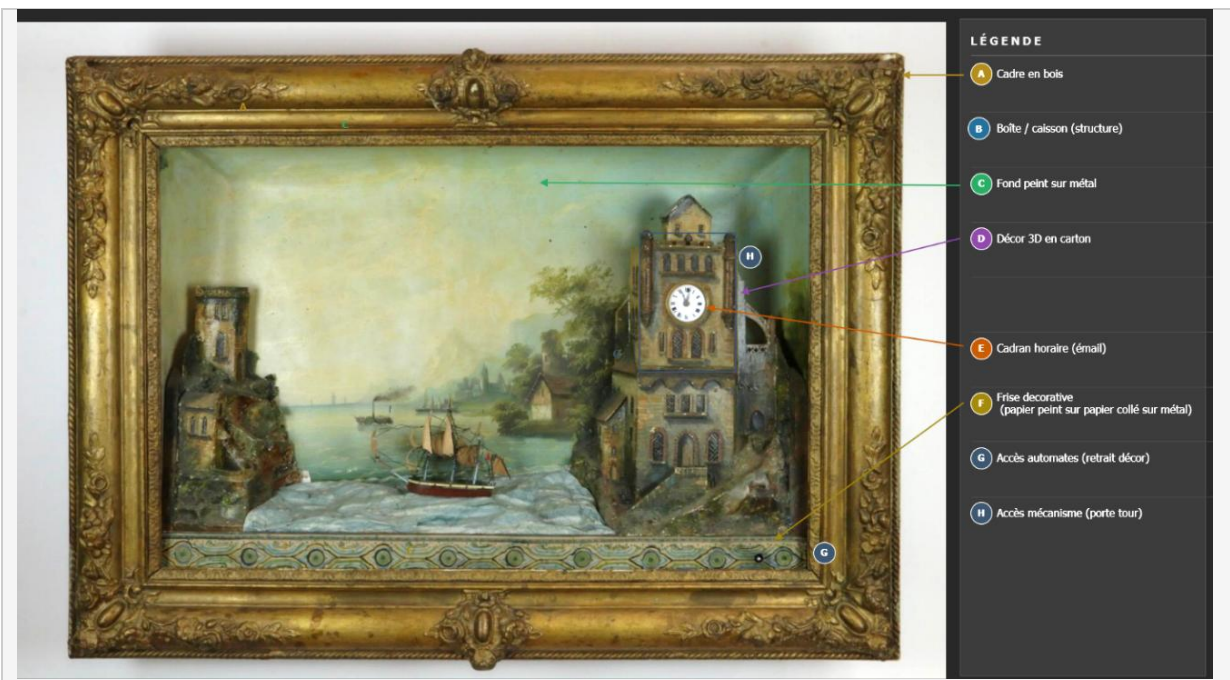


Figure 4 Nomenclature : avers



Figure 5 Nomenclature revers

Tableau 3 éléments principaux de l'objet

2.1 Boîte en bois (caisson) : structure porteuse

La boîte en bois constitue le premier élément fabriqué dans l'ordre de montage. Elle forme la structure porteuse de l'ensemble : elle accueille la plaque métallique, les décors tridimensionnels et les mécanismes.

♦ Bois du caisson

La boîte est composée de cinq planches de bois, probablement du tilleul (Annexe L) assemblées pour former les quatre faces latérales et le fond du caisson, quatre baguettes de bois sont présente sur la partie avant clouées et assemblées devant les planches principales.

○ Assemblage des planches et assemblage cadre / boîte : charnières et clouage

Les planches sont assemblées par mi-bois en L par clouage aux jonctions, la planche du fond du caisson a été glissée grâce aux rainures des planches latérales. Deux charnières sont fixées avec des vis sur la partie supérieure (Figure 6).

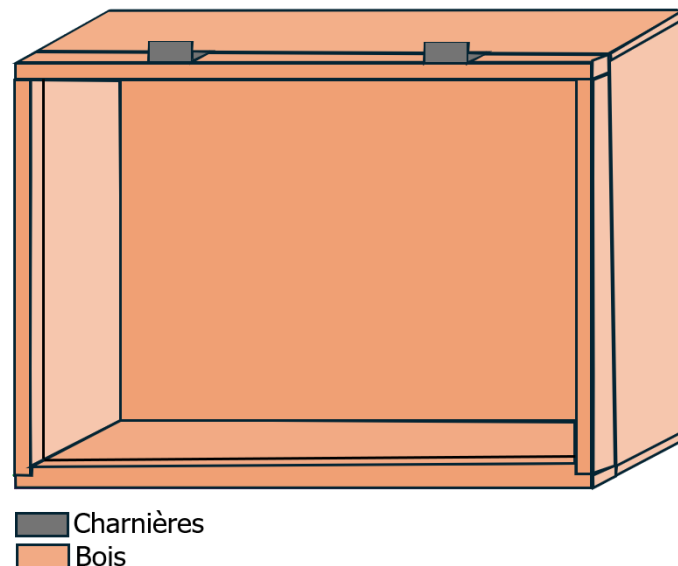


Figure 6 Schéma du placement des charnières sur la boîte en bois

2.2 Cadre en bois doré

Le cadre est fabriqué séparément puis fixé sur la boîte par deux charnières sur partie supérieure de la boîte. Ordre de fabrication supposé : structure en bois → assemblage des 4 bords → motifs décoratifs rapportés → couche de préparations → dorure → bronzines (intervention postérieure) → vernis (intervention postérieure). Les rainures intérieures du cadre ou les feuillures sont destinées à accueillir un verre protecteur. la stratigraphie de la bronzine et dorure ne permet pas d'établir le taux de couverture réel des deux couches sur l'ensemble du cadre.

Couche (surface → profondeur)	Description / matériau supposé
Vernis	7 - Vernis de finition Couche organique superficielle, hétérogène
Bronzine	6 - Bronzine 2 Application hétérogène, liant organique, couleur or
Bronzine	5 - Bronzine 1 Poudre métallique en suspension dans un liant, couleur or
Feuille dorée (Au ou Cu,Zn)	4 - Feuille dorée (dorure originelle) Feuille d'or appliquée à la mixtion ou à l'eau en fine couche (affirmation faite suite à la faible teneur en or mesuré au XRF)
Préparation rouge	3 - Bol rouge (assiette) Argile colorée rouge-ocre, préparation pour la feuille d'or
Préparation blanche	2 - Préparation blanche Carbonate de calcium + colle animale
Bois	1 - Bois (substrat)

Figure 7 Schéma de la stratigraphie de l'avvers du cadre

Tableau 4 Stratigraphie de l'avvers du cadre

2.3 Plaque métallique peinte

La plaque métallique peinte constitue le fond de la composition picturale. Elle est insérée dans la boîte après fabrication du caisson. Ordre de fabrication supposé : support métallique → brasure à l'étain → insertion et clouage dans la boîte en bois → couche de préparation → couche picturale → vernis.

♦ Support métallique

La plaque constitue le fond du diorama. Elle n'est pas réactive à l'aimant, orientant d'abord vers un alliage non ferreux. L'analyse XRF (Annexe B : Fluorescence X (FRX portable)) a confirmé un alliage de zinc, cohérent avec une production vers 1850. Des traces d'étain mesurées aux angles indiquent la présence d'une brasure réalisée lors de la mise en forme de la tôle et que celle-ci puisse s'insérer correctement dans la boîte en bois. Le zinc était un support de peinture courant au XIX^e siècle en France : peu coûteux, disponible en grandes plaques laminées, plus résistant à la corrosion que les alliages ferreux et d'accroche suffisante pour une couche picturale (Barclay, 2007).

♦ Couche 2 Préparation à la céruse (FTIR)

La présence d'une couche de préparation entre le métal et la couche picturale a été confirmée par FTIR (Passaretti, 2026). Elle s'apparente à de la céruse (carbonate de plomb), couche d'apprêt pour la peinture au XIX^e siècle.

♦ Couche 3 Couche picturale

La peinture est appliquée au pinceau sur la préparation. La surface est globalement lisse avec des empâtements localisés (Figure 8) dans les zones de végétation. La composition représente un paysage maritime : à gauche une colline boisée surmontée d'un bâtiment, à droite une tour intégrant le cadran horloger, et au centre un plan d'eau sur lequel évoluent plusieurs embarcations dont un bateau à voiles portant des drapeaux tricolores français. De l'arsenic a été détecté par analyse XRF principalement sur la partie inférieure de la plaque ainsi que sur les zones contenant de la verdure (Figure 9). La présence de cet élément peut indiquer l'utilisation d'un pigment vert arséniqué, parmi lesquels on trouve : le vert de Scheele (arsénite de cuivre, $\text{Cu}(\text{AsO}_2)_2$), le vert de Paris (acétoarsénite de cuivre, $\text{Cu}(\text{C}_2\text{H}_3\text{O}_2)_2 \cdot 3\text{Cu}(\text{AsO}_2)_2$)



Figure 8 Empâtement de la couche picturale



Figure 9 Peinture verdâtre sous microscope USB

♦ Couche 4 Vernis

La surface picturale est protégée par une couche de vernis appliquée au pinceau. L'application est hétérogène : la couche est plus épaisse dans les zones en creux et plus fine en relief, ce qui suggère une application au pinceau. Sous lumière ultraviolette (Annexe B), le vernis présente une fluorescence verdâtre à jaunâtre. L'aspect général de la surface en lumière naturelle présente une tonalité ambrée. (Figure 10)

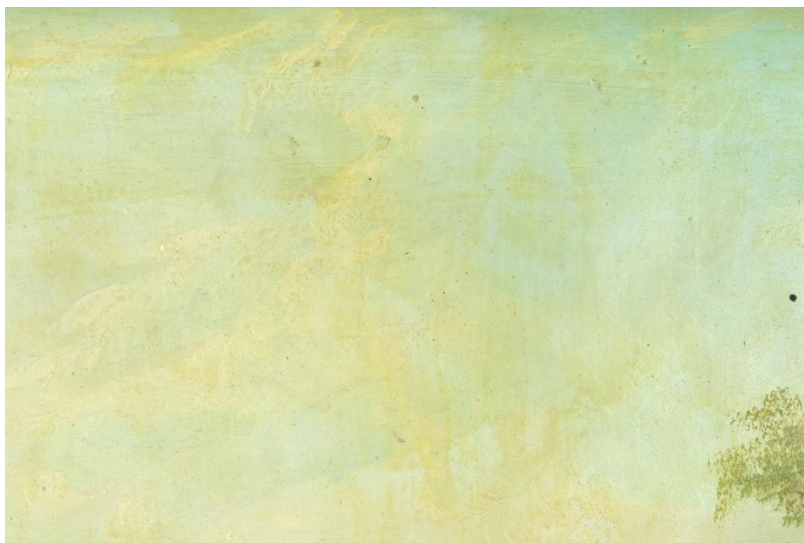


Figure 10 Vue du centre de la plaque métallique

○ Assemblage plaque / boîte

La plaque est maintenue par clouage sur l'ensemble du pourtour intérieur, sur la partie inférieure la plaque est découpée. La plaque métallique ne recouvre pas l'intégralité du fond du caisson : elle est découpée de manière à suivre approximativement le contour du décor tridimensionnel, laissant les zones masquées par ce dernier dépourvues de métal (Figure 11).



Figure 11 Objet sans cadre ni décor : découpe de la tôle

2.4 Décor tridimensionnel

Le décor tridimensionnel est une structure à part entière, composée d'éléments déposés dans la boîte dans l'ordre supposé suivant (du fond vers le premier plan) : Structure principale en bois → fabrication des décors architecturaux latéraux → ajout des mécanismes (mouvement bateau et chute d'eau) → élément en papier (peint) puis froissé → positionnement bateau animé et chute d'eau → plaque en alliage ferreux → pose du liséré en papier sur la plaque en alliage ferreux.

2.4.1 Liséré inférieur

♦ **Substrat : support métallique ferreux (fer étamé)**

Le liséré inférieur est fixé sur un support métallique ferreux longitudinal courant sur toute la largeur inférieure du diorama. L'analyse XRF (Annexe B) a identifié la présence d'étain (Sn) en surface du substrat métallique, avec une teneur mesurée de 9,2 %, indiquant un étamage.

♦ Surface : papier collé et peint

La surface du liseré est recouverte d'un papier présentant un motif répétitif exécuté à la main (non imprimé) associant teintes orange, vertes et noir. Il est tout à fait possible que plusieurs médiums différents ont été employés (encre ou acrylique par exemple).

Figure 12 Papier du liseré sous microscope USB

Ce liseré est une frise à répétition modulaire sur fond clair, délimitée par deux filets horizontaux (Figure 13). Le module, répété environ dix fois, est composé d'un motif ocellé ; cercle concentrique à pupille centrale, cerné de trois à quatre anneaux dont le dernier s'hexagonalise légèrement. Il est inscrit dans une amande (forme en vesica) aux pointes acérées, à contour doublé. Les modules sont reliés entre eux par un entrelacs en nœud de sablier puis double arc convexe opposé, lui-même cerné de lignes concentriques. Dans les écoinçons supérieurs et inférieurs, il y a de petites volutes en crosse à spire ouverte. Une rangée de points ponctue les bandes marginales haute et basse. C'est une exécution à la main levée, polychrome (noires, vert, bleu, oranges) (Figure 12). Sur l'avant dernier motif un trou arrondi à la fois dans le papier et le métal laisse dépasser l'arbre de barillet du mécanisme des automates.

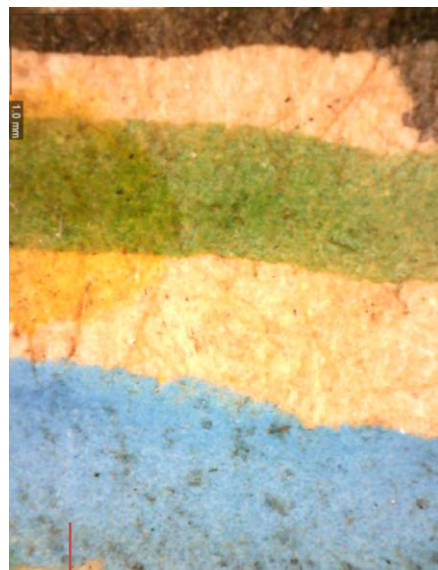


Figure 13 Liseré

○ Assemblage liseré / décor

L'élément est fixé par clouage et collage sur le support ferreux, lui-même cloué aux parois en bois du décor.

2.4.2 Décors architecturaux latéraux

♦ Substrat : carton, plâtre et papier mis en forme

Les éléments architecturaux (colline à gauche avec bâtiment, tour à droite avec cadran) sont réalisés en carton, plâtre et papier assemblés, pliés et encollés pour former des volumes. Sur le bâtiment de gauche

(Figure 14), une baguette en verre, ondulée et transparente, simule une chute d'eau en rotation lors du fonctionnement des automates. La tour de droite (Figure 15) présente une ouverture « porte » fonctionnelle, qui se retire permettant l'accès au cadran, au pendule et au mécanisme.



Figure 14 Décor latéral gauche

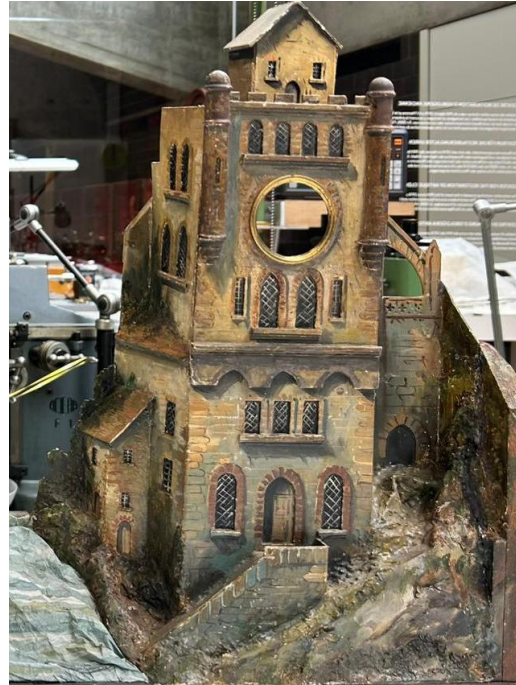


Figure 15 Décor latéral droite

♦ Préparation et polychromie

La polychromie est appliquée sur au moins une préparation intermédiaire (Figure 16). On retrouve une palette variée (bruns, ocres, verts, gris) simulant des textures architecturales, végétales et minérales. Surface brillante par endroits (Figure 17), un vernis est visible sous lumière ultraviolette (Figure 18).

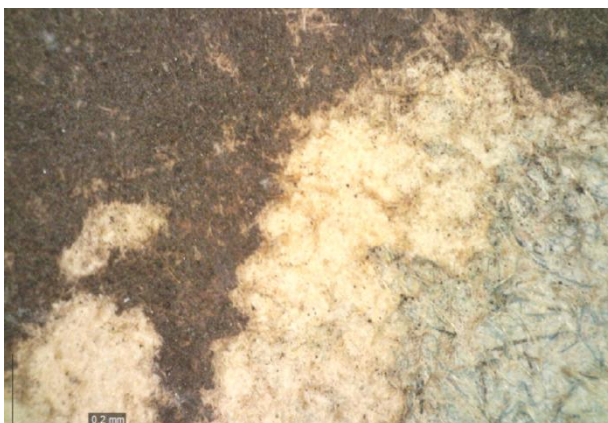


Figure 16 Revers du décor : différentes couches de préparations, microscope USB



Figure 17 Avers du décor : surface brillante, microscope USB

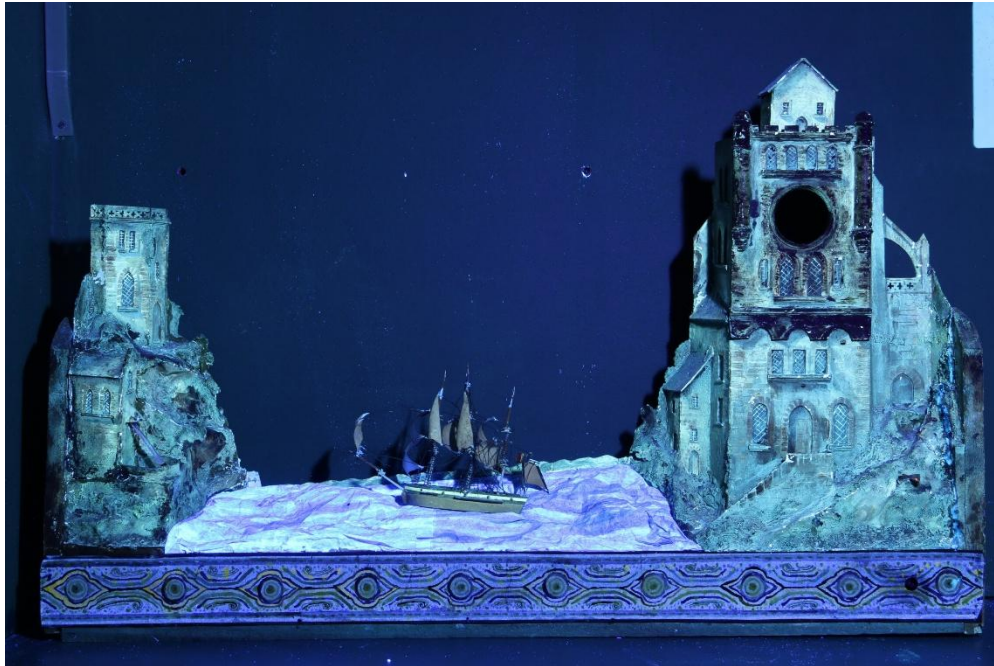


Figure 18 Décor tridimensionnel sous lumière ultraviolette 250nm

2.4.3 Élément « eau »

♦ Structure : papier froissé

La surface de l'eau est figurée par un papier froissé et plié de manière à créer un relief simulant des vagues. L'observation sous lumière UV a révélé la présence de deux papiers collés ensemble, présentant des fluorescences légèrement différentes.

♦ Surface : polychromie bleue et blanche

Le papier a été peint en bleu, avec des rehauts blancs, ce qui permet d'imiter le mouvement de l'eau. La couleur de l'élément en papier pourrait être une encre, cela est suggéré par son insolubilité à l'eau et son intégration dans les fibres du papier plutôt qu'en surface (Figure 19).

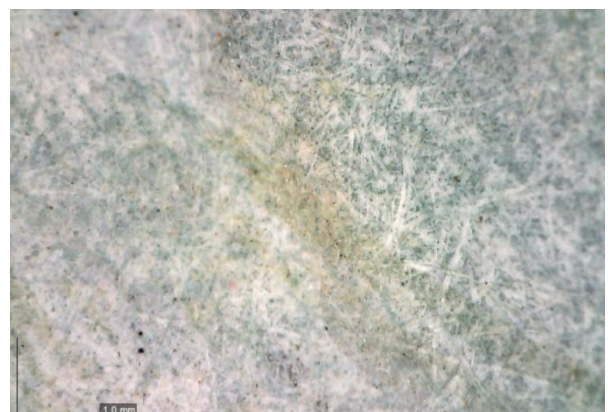


Figure 19 Papier simulant l'eau sous microscope USB

○ Assemblage papier eau / support bois du bateau

L'ensemble du décor est fixé sur un support en bois, sur lequel est également monté le bateau. Le papier quant à lui est collé et cloué sur le pourtour de sa surface (Figure 20). Lors du fonctionnement du mécanisme, le mouvement vertical du bateau entraîne une déformation cyclique du papier suivant les froissures du papier de haut en bas.



Figure 20 Vue générale : élément mer

2.4.4 Bateau (élément mobile)

♦ Coque et mâts en bois polychrome

La coque et les mâts sont réalisés en bois peint de différentes couleurs (Figure 21) (rouge, noir, blanc ; mâts bleus). Un drapeau tricolore français en papier fin est représenté sur la partie arrière du bateau (Figure 22).



Figure 21 Polychromie de la coque du bateau sous microscope USB



Figure 22 Drapeau à l'arrière du bateau

♦ Voiles : papier

Les voiles sont réalisées en papier rigide fin maintenues entre les mâts et les vergues (Figure 23). La surface est non peinte.



Figure 23 Vue globale bateau

♦ Cordages : ficelles et revêtement

Les cordages du gréement sont constitués de fils torsadés en S. À grossissement optique x50, la structure en réseau des échelles (Figure 24) présente des mailles carrées régulières, formées par le croisement orthogonal de cordages verticaux et horizontaux. Les points de liaison entre cordages sont liés par un enroulement de fil fin. La surface des cordes présente un aspect duveteux, avec de nombreuses fibrilles libres se détachant des torons. La couleur d'ensemble est beige à brun grisâtre.

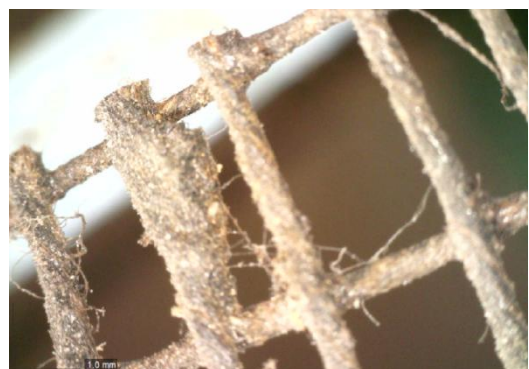


Figure 24 échelle de corde du bateau sous microscope USB

En grossissement x250 (Figure 25), les fibres élémentaires apparaissent longues et parallèles au sein du toron, avec une striation longitudinale marquée et un aspect lustré à reflets brun-dorés. Des dépôts granuleux sont présents en surface. Ces caractéristiques morphologiques, fibres longues, raides, à surface striée, sont compatibles avec une fibre libérienne, vraisemblablement du chanvre (*Cannabis sativa*) ou du lin (*Linum usitatissimum*).



Figure 25 Cordage bateau sous microscope USB

◊ Assemblage bateau / système de transmission

Le bateau est monté sur une tige en laiton reliée aux mécanismes permettant un déplacement vertical. Le mouvement vertical d'environ 2 cm simule le tangage sur un lac légèrement agitée (Figure 27).



Figure 26 Bateau vue de l'avant



Figure 27 Bateau vue revers avec les mécanismes

2.5 Mécanismes

2.5.1 Mécanisme horloger

♦ Mouvement de Paris carré

Le mécanisme est un mouvement de Paris de forme carrée, portant la signature « Vincenti & Cie, médaille d'argent » (Figure 28). Les platines sont en laiton. Il assure l'indication de l'heure via deux aiguilles et la sonnerie des heures et demi-heures. La suspension du pendule est de type Brocot (type IV) (Figure 29), brevetée vers 1852 *terminus post quem* de fabrication (Chavigny, 1991).



Figure 28 Platine arrière : poinçon sous microscope USB

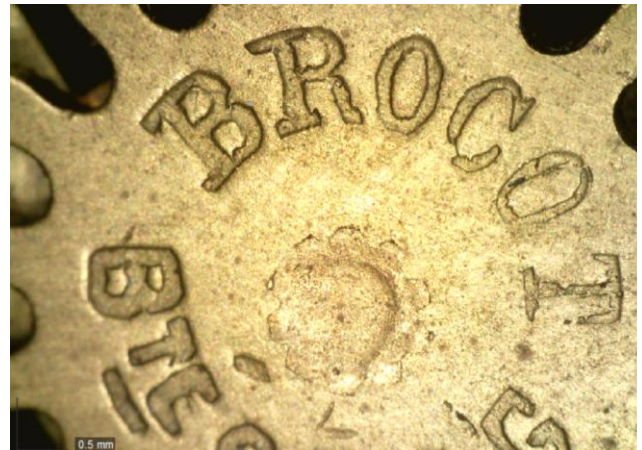


Figure 29 Suspension : étampage Brocot sous microscope USB

Le barillet contient un ressort en acier laminé en spirale (grand ressort), c'est la source d'énergie. Le train de rouage transmet cette énergie vers l'échappement. Le pendule oscille à une fréquence propre ce qui permet d'actionner l'échappement en distribuant l'énergie en impulsions régulières, fréquence constante de 1 Hertz (calculs en annexes J). La suspension Brocot permet de modifier la longueur effective du pendule sans démontage, ce qui constitue un avantage pratique en limitant la nécessité d'accéder fréquemment au mouvement horloger (pendule) à travers le décor. Le mécanisme de sonnerie à chaperon est déclenché par les goupilles de la chaussée qui commande le nombre de coups à sonner sur la roue de compte (Figure 30). Le mouvement de Paris est produit selon une organisation en division du travail entre ateliers spécialisés (platines, roues, ressorts, échappements) selon des gabarits standardisés.

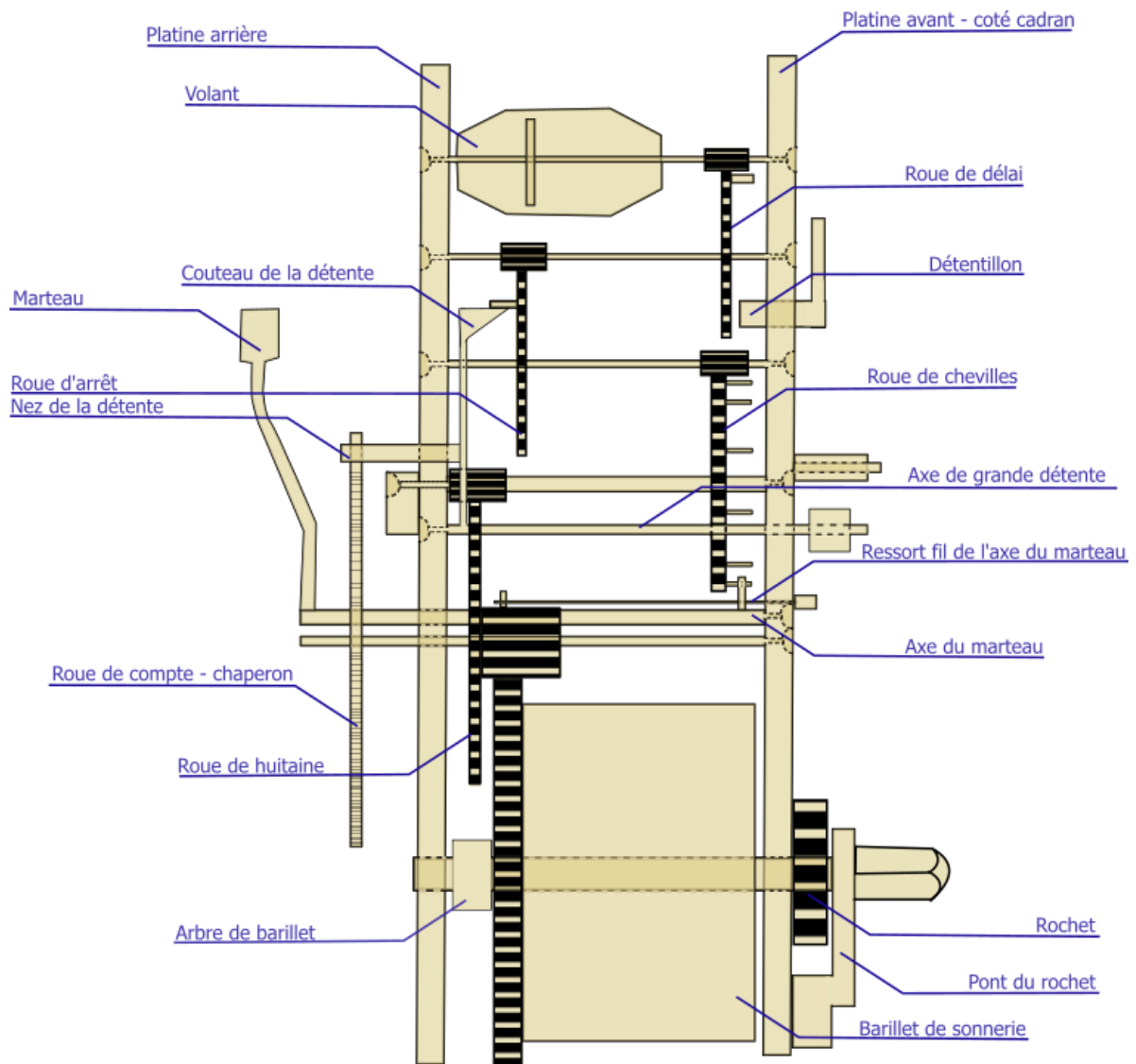


Figure 30 Schéma de la partie sonnerie du mécanisme horloger avec nomenclature

○ Fixation mécanisme horloger / boîte

Le mouvement est fixé par trois vis (deux sur la partie supérieure, une en partie inférieure) et transperce la plaque métallique pour se visser dans le bois de la caisse (Figure 31).



Figure 31 Schéma de fixation du mouvement horloger dans la boîte en bois

2.5.2 Affichage : Cadran

Le cadran, de forme circulaire, présente un fond blanc orné de chiffres romains et est enchâssé dans la tour droite du décor, entouré d'une lunette en laiton. Deux aiguilles indiquent les heures et les minutes. (Figure 32)



Figure 32 Vue générale du cadran et lunette

2.5.3 Mécanisme d'automates

♦ Barillet et volant régulateur

Le mécanisme d'automates transmet l'énergie d'un barillet indépendant par un enchaînement de roues associé à un volant régulateur. Ce volant peut être arrêté ou libéré manuellement via un dispositif accessible depuis l'extérieur de l'objet. Le déclenchement est entièrement manuel : une fois le ressort remonté, l'actionnement du volant déclenche le fonctionnement jusqu'à dissipation de l'énergie ou arrêt manuel (pour un total de quelques minutes, variant en fonction du remontage du ressort). Les deux mécanismes, horloger et automates, fonctionnent sur des barillets entièrement indépendants.

♦ Poulies en bois et cordes de transmission

L'énergie est transmise aux automates (bateau et baguette en verre) par un système de poulies en bois et de cordes (Figure 33), transformant le mouvement rotatif en mouvement vertical pour le bateau et en rotation pour la baguette en verre (Figure 34). Une pièce en bois de fonction non identifiée est présente à proximité du barillet.

Les fils passent par des poulies fixées sur la structure interne de la boîte. Ce système constitue l'interface entre la mécanique et les éléments décoratifs animés.

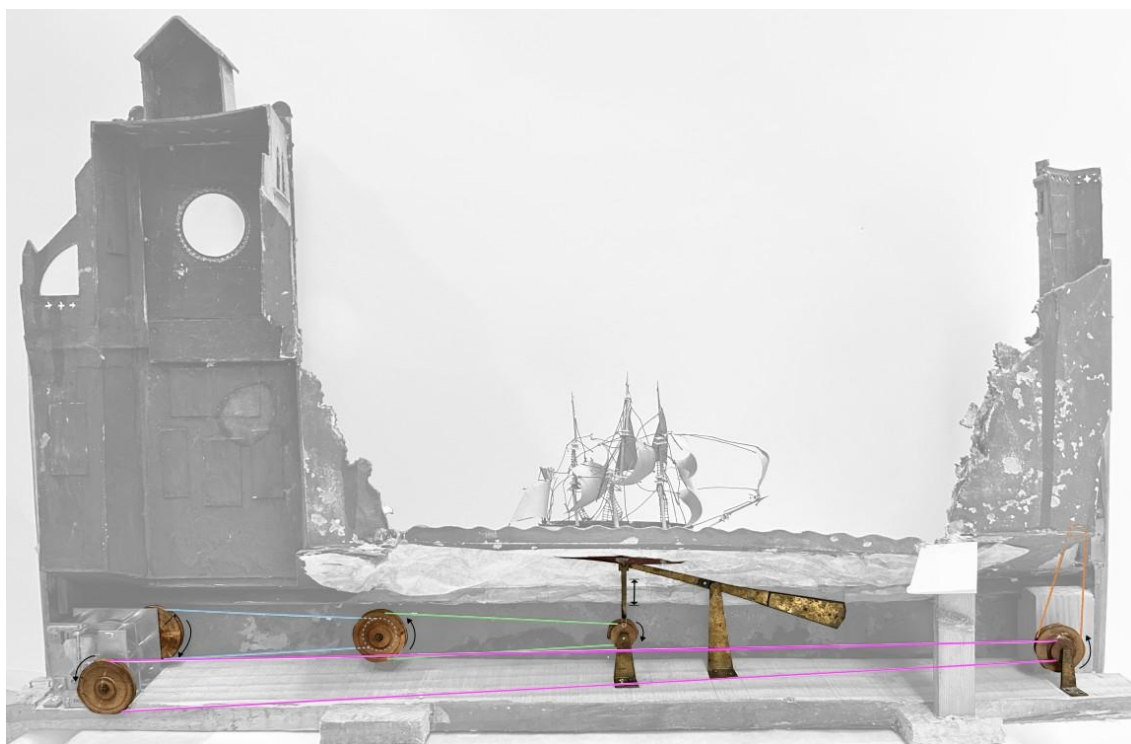


Figure 33 Schéma du mécanisme automates 1/2

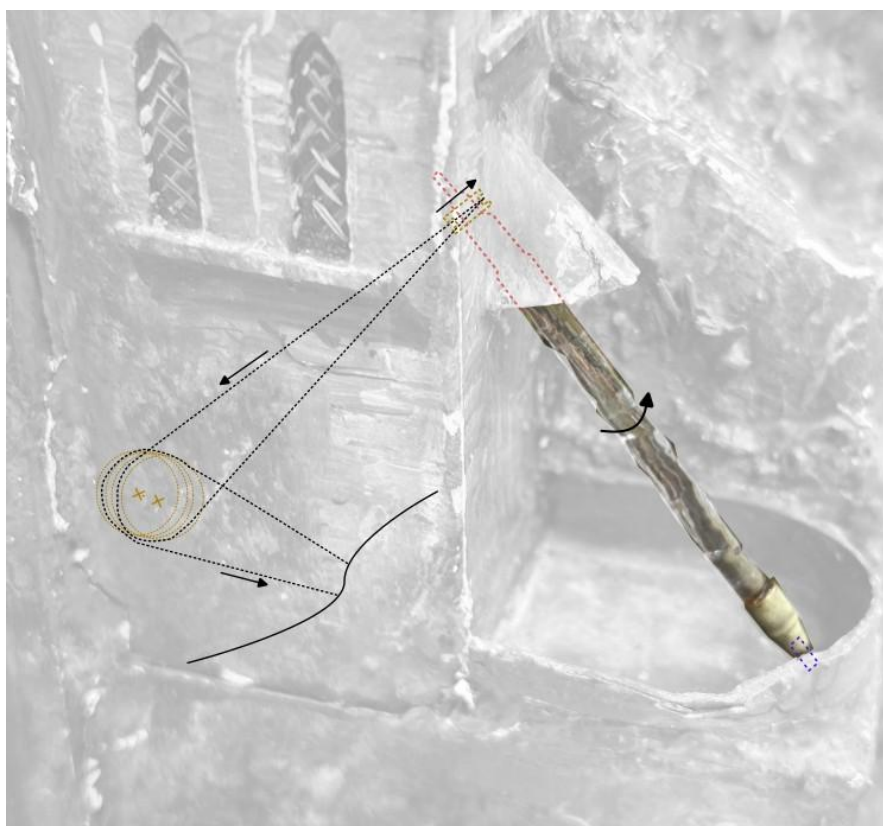


Figure 34 Schéma du mécanisme automates (baguette en verre) 2/2

2.6 Synthèse des assemblages et phasage de fabrication supposé

Liaison	Mode d'assemblage identifié / supposé
Cadre → Boîte	Charnières (2) + maintenus par crochets aux bords latéraux
Plaque de fond → Boîte	Clouage sur les bords intérieurs (sauf inférieurs)
Lisééré → Support ferreux	Clouage + collage
Support ferreux liséré → Décors 3D	Clouage aux parois en bois
Décors architecturaux → Boîte	Posé, maintenu entre boîte et cadre
Papier eau → Support bois du bateau	Le tout est maintenu solidairement
Papier eau → Pourtour décor	Adhésifs + clous périphériques
Bateau → Cordages → Voiles → Mâts	Adhésifs blancs
Mécanisme horloger → Boîte	Vissage (3 vis actives)
Mécanisme automates → Décors 3D	Chaque élément vissé au revers

Tableau 5 Synthèse des assemblages

3. Constat d'état des altérations

Les altérations sont décrites factuellement et par stratigraphie. Les hypothèses sur les causes sont réservées au diagnostic (bloc 5). Les interventions antérieures sont consignées en bloc 1 (section 1.2.2) ; seules leurs conséquences visibles sur l'état actuel sont mentionnées ici. L'ensemble des altérations du constat d'état sont reprises et détaillées dans [l'Annexe F : tableaux détaillés des altérations](#).

3.1 Boîte en bois (caisson)

La boîte présente un encrassement de surface généralisé. Des lacunes de matière du support bois sont observées au revers. La surface extérieure présente des taches, coulures et traces de manipulation.

3.2 Cadre en bois doré

Les trous d'envol sont circulaires, concentrés au revers. Des comblements anciens sont visibles. Les assemblages d'angle présentent un désalignement perceptible. De nombreuses lacunes et fissures sont présentes sur le revers en surface (Figure 35). Sur l'avvers du cadre, plusieurs lacunes sont visibles permettant d'observer les couches constitutives (**Erreur ! Source du renvoi introuvable.**), on observe également un manque de plusieurs centimètres dans les motifs dans le coin en haut à droite.

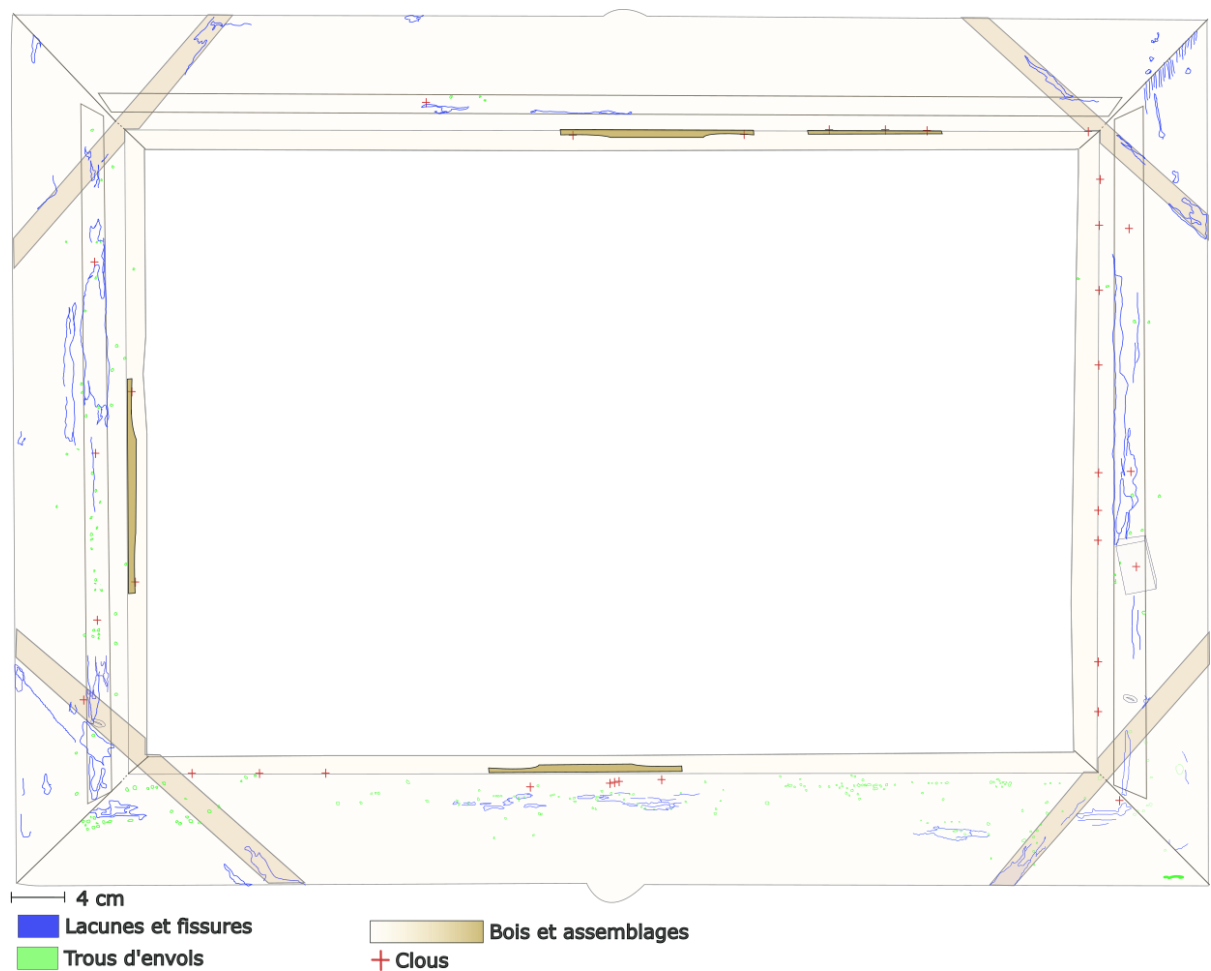


Figure 35 Schéma des altérations du revers du cadre

Couche	Altérations observées sur l'avvers du cadre
1 Bois (substrat)	-
2 Préparation blanche	Visible dans les lacunes profondes ; aspect mat, bon état apparent
3 Bol d'Arménie	Visible dans les lacunes profondes
4 Feuille dorée	Lacunes localisées
5 Bronzine	Application hétérogène ; couleur foncée brune
6 Bronzine	Traces de coups de pinceau, taches, couleur foncée, produits de corrosion verdâtres ponctuels.
7 Vernis de finition	Application hétérogène ; projections sombres ; coulures blanchâtres ou brillantes localisées

Tableau 6 Altérations de surface de l'avvers du cadre



Figure 36 Lacune du cadre sous microscope USB

3.3 Plaque métallique peinte

Couche / Élément	Altérations observées
1 Support métallique	Gondolement convexe vers l'avant (visible en lumière rasante) ; phénomènes de fluage
2 Préparation	Visible dans les lacunes, légères lacunes
3 Couche picturale	Lacunes aux points de fixation par clous aux extrémités
4 Vernis	Jauni, hétérogène ; projections sombres ponctuelles, empoussièrément

Tableau 7 Altérations de la tôle de métal

La plaque présente une déformation centrale visible en lumière rasante (Figure 37). La couche picturale est stable et ne présente pas de soulèvements (Figure 38). Le vernis est fortement jauni, modifiant la perception chromatique de manière significative.



Figure 37 Fluage de la tôle de zinc



Figure 38 Lacunes aux points de fixation de la plaque

3.4 Décor tridimensionnel

3.4.1 Liséré inférieur

Le substrat métallique présente des produits de corrosion (aspect brunâtre à rougeâtre) au revers (Figure 39). Le papier de surface présente un jaunissement généralisé et est légèrement plié aux bords latéraux.



Figure 39 Revers de la plaque du liséré

3.4.2 Décors architecturaux latéraux

Les éléments en carton et papier présentent des décollements et clivages localisés aux jonctions et aux angles (Figure 42). L'ensemble des décors est recouvert d'une couche de poussières (Figure 40). Des lacunes picturales localisées laissent apparaître des couches préparatoires blanchâtres ou brunâtres sous-jacentes (Figure 41).



Figure 40 Détail du décor : couche de poussière



Figure 41 Détail du décor : lacunes



Figure 42 Décollement du papier multi-couche/carton sous microscope USB

3.4.3 Elément papier froissé imitant l'eau

Une déchirure verticale est présente à l'avant droit de l'élément ainsi que sur le fond arrière (Figure 44, Figure 45). L'élément présente un empoussièrement généralisé (Figure 43).



Figure 43 Détail papier : empoussièrement



Figure 44 Détail : déchirure partie arrière droite du papier



Figure 45 Détail : déchirure partie avant centre du papier

Le papier et carton représentant l'eau et le carton de fond n'adhèrent plus. Le décollement de l'adhésif a entraîné la perte du maintien de cette partie de l'élément. En conséquence, la partie gauche de la représentation de l'eau est désolidarisée du support et s'affaisse sous son propre poids (Figure 46). Cette rupture est aussi visible sur la Figure 43.

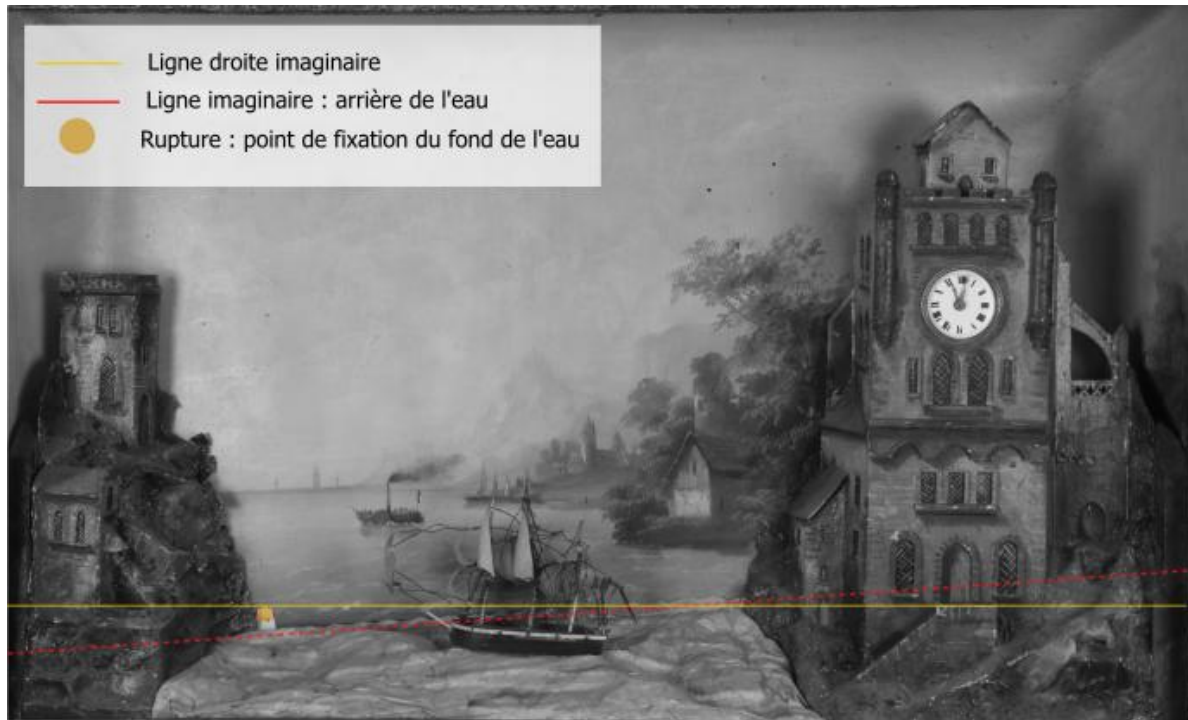


Figure 46 Schéma de la rupture du papier cartonné

3.4.4 Bateau

La coque et les mâts présentent un empoussièrement généralisé. Les voiles en papier présentent un jaunissement. Il semble y avoir plusieurs types d'adhésifs plus ou moins anciens ayant perdu une grande partie de leurs pouvoirs collants. Le mât central de la maquette présente une rupture ou qui a déjà subi une tentative de réparation par collage (Figure 47). Les cordages montrent une organisation alambiquée perturbée. Les extrémités sont collées à un adhésif blanc rigide (Figure 48).

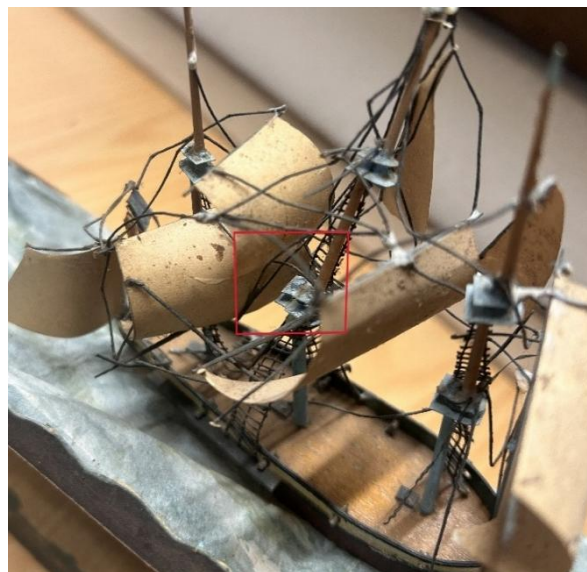


Figure 47 Rupture du mât centrale



Figure 48 Détail maintien des cordages et adhésifs blancs

3.5 Mécanisme horloger

Les platines ne présentent pas d'importantes corrosions visibles. L'ancien lubrifiant est noirci à verdâtre sur les pivots et paliers ainsi que dans les dentures des barillets (Figure 49). La roue de compte présente un dépôt de corrosion vert localisé (Figure 50). Les têtes de certaines vis présentent une corrosion rougeâtre. Le mécanisme de sonnerie est fonctionnel : il sonne les heures et les demi-heures.

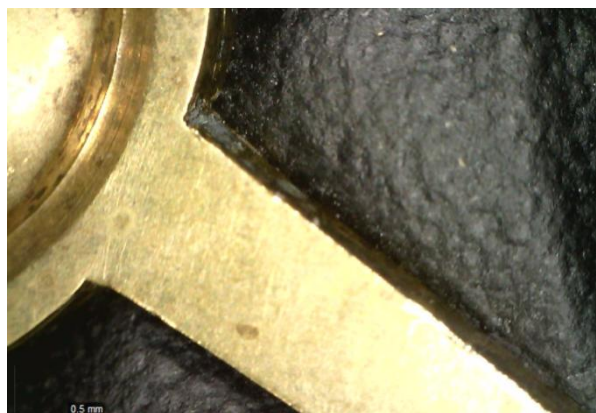
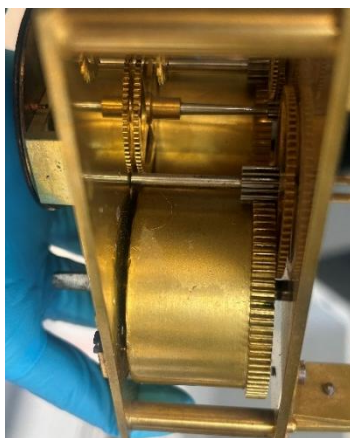


Figure 49 Lubrification noir Figure 49 Roue de compte sous microscope USB corrosion verdâtre

3.6 Mécanisme d'automates

L'ensemble est empoussiéré. Les ficelles de transmission semblent en bon état structurel malgré les nombreux raccommodages/nœuds. Le mécanisme est fonctionnel.

4. Valeurs culturelles et intérêt patrimonial

4.1 Identification des valeurs

L'identification des valeurs culturelles s'appuie sur les données réunies dans les sections précédentes. Elle conditionne à la fois la lecture des altérations et la hiérarchisation des priorités d'intervention : ce qui est choisi de préserver dépend de ce qui est identifié comme porteur de sens dans un contexte donné (Muñoz Viñas, 2005), mais aussi, la notion de propriétés significatives, tangibles et intangibles (Giebler et al., 2019). Cela permet ici de distinguer les propriétés matérielles des propriétés fonctionnelles et immatérielles.

L'objet présente une valeur historique à plusieurs niveaux : il est représentatif des productions françaises du XIX^e siècle mêlant arts décoratifs, horlogerie et mécanique de spectacle. La signature « Vincenti & Cie » constitue un marqueur documenté, la présence de drapeaux tricolores est indice d'origine géographique, et les interventions matérielles successives font elles-mêmes partie de la trajectoire historique de l'objet. La valeur technique tient à l'association de savoir-faire distincts au sein d'un même objet, horlogerie, mécanique d'animation, peinture sur métal, décor papier-carton, dont le système de transmission par poulies et cordes constitue une illustration particulièrement significative.

La valeur esthétique repose sur l'illusion scénique construite sur plusieurs plans de profondeur : fond peint sur zinc, décor tridimensionnel, bateau animé au premier plan, cadre doré. Elle est indissociable du fonctionnement, l'animation participant de l'effet recherché à la production. La valeur fonctionnelle est double : indication de l'heure avec sonnerie et animation du diorama. La politique patrimoniale du MIH, fondée sur la valorisation par le fonctionnement, renforce son poids, contrairement à beaucoup d'autres institutions qui conservent ces objets de manière statique ([Annexe G](#)). L'objet présente enfin une valeur de rareté et d'unicité confirmée par l'enquête institutionnelle ([Annexe G](#)), et une valeur monétaire attestée par son acquisition en 2012 estimée entre 4 000 € et 6 000 € (Auktionen Dr. Crott, lot n° 306).

4.2 Impact sur les choix d'intervention

Le modèle CICS (Giebeler et al., 2019) permet d'articuler ces valeurs en une hiérarchie opératoire. Le non-fonctionnement constitue la discordance centrale entre l'état actuel de l'objet et ses propriétés significatives constitutives, ce qui fonde la remise en état de marche comme priorité absolue. La valeur d'authenticité matérielle ne prime pas sur la fonctionnalité : les interventions antérieures ayant substantiellement modifié l'état des surfaces dans un but aussi de fonctionnement, l'objet ne se trouve plus dans un état d'origine dont la préservation stricte serait l'objectif central. Ce constat légitime des choix s'écartant du principe de minimalité, validés par consensus avec l'institution mandante. La valeur esthétique et le contexte d'exposition 2027 justifient notamment le retrait de la bronzine ancienne, dont l'exploitabilité de l'objet au sens de Reviewing Significance 3.0 (Reed), renforce la pertinence. La valeur de rareté fonde quant à elle l'exigence de réversibilité : chaque intervention doit ménager la possibilité d'une future reprise.

5. Diagnostic

Le diagnostic établit les causes et mécanismes d'altération pour chaque composant. Il s'appuie sur les observations de la description, du constat d'état et les données des analyses, ainsi que sur la littérature spécialisée.

5.1 Boîte en bois

Les altérations de la boîte sont liées au vieillissement naturel du bois (variations hygrométriques, tensions internes) et aux contraintes mécaniques induites par son propre poids. Les lacunes correspondent à des pertes mécaniques accumulées au cours de manipulations, chocs et des variations dimensionnelles. L'identification de l'essence du bois ([Annexe L](#)) pourrait être du tilleul.

5.2 Cadre en bois doré

Les trous d'envol et les vermoulures résultent d'une infestation xylophage ancienne, compatible avec une attaque de termites du bois sec à cause de la forme caractéristique des vermoulures (Sauvagnargues, communication personnelle, 2026) comme détaillé au début de l'intervention de conservation-restauration (7.2.1).

Le désalignement des assemblages résulte des mouvements hygroscopiques cumulés du bois au fil du temps, amplifiés par la perte de cohésion mécanique dans les zones perforées. Le jaunissement de surface n'est pas imputable au vernis mais à l'oxydation du cuivre contenu dans la poudre de laiton constitutive de la bronzine. Les lacunes de dorure correspondent à des pertes mécaniques liées aux manipulations.

L'analyse XRF (Schenkel, 2026) a confirmé la présence d'or en couche sous-jacente, cohérente avec l'observation microscope de préparation rouge et blanche dans les zones lacunaires, caractéristique d'une dorure sur assiette. L'absence d'argent dans l'ensemble des mesures XRF suggère une dorure à teinte chaude, l'argent ayant pour effet de refroidir la tonalité de l'alliage.

L'examen stratigraphique de la bronzine révèle deux interventions distinctes. La couche inférieure, appliquée directement sur la dorure, présente un liant de type résine polyuréthane, matériau très difficilement soluble, commercialisé à partir des années 1950 et dont l'emploi situe cette intervention approximativement entre les années 1960 et 1980. La couche supérieure, identifiée comme une gomme laque non blanchie par comparaison sous lumière UV (fluorescence orange, 365nm), constitue une seconde application de bronzine. Son état de vieillissement au moment de l'acquisition par le MIH en 2012 suggère qu'elle pourrait dater d'une dizaine d'années au moins avant cette date, soit les années 1990 à 2000, le temps nécessaire au vieillissement de la première couche (polyuréthane) ayant vraisemblablement motivé cette reprise.

La comparaison avec des objets similaires, (ci-dessous fig 50 à 53 : MuAM et ventes aux enchères) porte un élément supplémentaire quant à l'origine du cadre. Sur cet exemplaire, contrairement à l'objet de cette étude, il n'y a pas de liseré en papier : cette zone est à la place constituée d'une fine plaque en bois, comparable à la plaque métallique présente sur l'objet du MIH, et se trouve recouverte par le cadre. On retrouve également

cette disposition dans le tableau mis aux enchères chez Rouillac en 2019. Cette disposition pourrait indiquer que le cadre de l'objet du MIH ne serait pas d'origine et aurait été ajouté postérieurement à la fabrication de l'ensemble. Les points de fixation des charnières ne permettent pas de confirmer ou d'infirmer un remplacement, ceux-ci pouvant être dissimulés derrière les charnières, qui n'ont pas été démontées afin de ne pas fragiliser davantage les trous de vissage, chaque cycle de dévissage et de revissage altérant progressivement le filetage du bois.



Figure 51 Tableau mécanique du MuAM



Figure 52 Tableau mécanique du MuAM
: cadre relevé



Figure 53 Tableau automate avec montgolfière © Rouillac, 2019. Source : <https://www.rouillac.com/fr/lot-492-...>



Figure 54 Tableau automate avec montgolfière : cadre relevé © Rouillac, 2019. Source : <https://www.rouillac.com/fr/lot-492-...>

Le cadre et la boîte en bois du tableau-horloge à automates présentent tous deux des traces d'attaque xylophage ; si le cadre constitue un élément de remplacement postérieur à la construction originale de l'objet, l'infestation serait plutôt postérieure à cette substitution.

5.3 Plaque métallique peinte

La plaque présente un gondolement, cela résulte des contraintes exercées par le système de fixation rigide par clouage périphérique, combinées aux déformations thermiques et hygrométriques différentielles entre le zinc et le bois environnant. Ce phénomène de fluage est caractéristique des supports métalliques minces contraints dans des structures rigides (Barclay, ICC, 2007). La stabilité de la couche picturale indique que les interactions physico-chimiques entre le zinc, la céruse et le liant huileux n'ont pas encore produit d'effets de dégradation majeurs visibles, contrairement à ce que les travaux sur les savons métalliques permettraient d'anticiper à terme (Russo et al. 2023 ; Hermans et al. 2019) ou encore l'exemple observé sur le tableau mécanique présent au MuAM. Le vernis jauni étant oxydé, celui-ci peut induire des interactions chimiques avec la couche picturale.

5.4 Décor tridimensionnel

Les décollements et déformations des éléments en carton et papier résultent des variations hygrométriques cycliques et du vieillissement des adhésifs. La déchirure du papier du lac est vraisemblablement liée à un choc, son orientation perpendiculaire aux plis constituant une zone de faiblesse structurelle ; les sollicitations mécaniques répétées lors du fonctionnement constituent un facteur aggravant potentiel (Wei, 2021).

Les pourcentages obtenus par XRF (Annexe B) permettent d'identifier la nature du matériau, à savoir un fer étamé, sans toutefois renseigner davantage sur les caractéristiques de cet étamage (épaisseur, mode de pose). La plaque en fer étamé semble constituer un élément d'origine, comparable à la disposition observée sur l'exemplaire du MuAM (Figure 52). La corrosion du substrat ferreux est attribuable à l'action de l'humidité, favorisée par le confinement de l'objet et comme facteur aggravant, la présence potentielle de composés acides émanant du bois dégradé (Selwyn, 2004), hypothèse corroborée par la concentration des altérations en partie inférieure du liséré, zone en contact direct avec le bois qui a pu jouer un rôle d'accélérateur favorisant la corrosion. L'essence du bois a été identifiée comme un résineux, vraisemblablement du sapin ou de l'épicéa (annexe L). Or les résineux, bien que généralement moins acidogènes que les feuillus, peuvent émettre des quantités d'acide acétique et d'acide formique, acides carboxyliques (Gibson et Watt, 2010).

L'origine du papier posé sur cette plaque est en revanche plus difficile à établir. Un contact prolongé entre un substrat ferreux corrodé et un matériau cellulosique entraîne généralement une migration des produits de corrosion vers ce dernier (Selwyn et al., 2013) ; l'absence de telles traces sur le papier pourrait suggérer une pose postérieure au développement de la corrosion, bien que cet argument reste fragile en l'absence de sources complémentaires. La présence d'une tâche de résine époxy (analyses FTIR, Passaretti, 2026) sur le

liseré, également observée sur le décor, témoigne quant à elle d'une intervention postérieure à la fabrication de l'objet.

La perturbation du gréement résulte vraisemblablement d'un décollement partiel des cordages, ayant donné lieu à une intervention de réadhésion postérieure à la fabrication de l'objet. La présence de plusieurs adhésifs de nature distincte, dont un adhésif identifié comme PVAc (analyses FTIR, Passaretti, 2026), aux points de fixation des cordages témoigne d'au moins une reprise adhésive.

5.5 Mécanismes

Le noircissement des lubrifiants peuvent résulter de leur vieillissement par oxydation du cuivre présent dans le laiton d'où l'aspect vert de ceux-ci. La corrosion verte de la roue de compte résulte d'une oxydation chimique localisée du laiton. Cette altération est probablement favorisée par la présence d'humidité résiduelle dans cette zone, un creux difficilement accessible où la pièce a pu être insuffisamment séchée après un nettoyage antérieur, l'humidité étant l'un des principaux facteurs accélérant la corrosion des alliages cuivreux (ICC, note 9/2, 2007). Elle peut également résulter d'un rinçage incomplet des produits de nettoyage employés, ceux-ci ayant tendance à s'accumuler dans les creux et zones peu accessibles lors du rinçage (ICC, note 9/3, 2007).

5.6 Hiérarchisation des risques

Court terme

Risque principal : fragilité structurelle du cadre lors des manipulations nécessaires à l'intervention. L'aggravation des déchirures du papier en cas d'actionnement des automates sans consolidation préalable. L'absence de verre de protection expose l'ensemble de l'objet dont les mécanismes et les lubrifiants à la poussière.

Moyen terme

Jaunissement progressif du vernis et empoussièrement généralisé compromettant la cohérence esthétique ainsi que la stabilité chimique. Noircissement des bronzines les rendant de moins en moins soluble.

Long terme

Si les conditions climatiques de conservation ne sont pas contrôlées, les variations thermo-hygrométriques peuvent continuer d'induire des mouvements différentiels entre les matériaux (bois, métal, papier). La dégradation des lubrifiants peut, si elle n'est pas traitée, entraîner des blocages mécaniques.

Priorité	Objectif	Risque identifié	Justification
Urgence	Stabiliser la déchirure de l'élément eau/papier avant actionnement des automates	Aggravation immédiate en cas d'actionnement des automates	Risque d'aggravation immédiate
Urgence	Sécuriser la manipulation du cadre (fragilité xylophage)	Risque lors des manipulations nécessaires à l'intervention	Risque lors des interventions
Important	Nettoyer et consolider le bois du cadre	Perte de cohésion progressive	Stabilisation structurelle et pérennité
Important	Nettoyer la couche picturale	Altération esthétique et chimique	Esthétisme
Important	Nettoyer et lubrifier les mécanismes	Blocage, usure, dégâts	Permettre le fonctionnement
Souhaitable	Réintégration picturale légère aux lacunes de la plaque et décor	Altération esthétique. Stabilisation : les lacunes altèrent la stabilité des couches entre elles.	Cohérence esthétique minimale
Souhaitable	Harmonisation du cadre doré / bronzine	Incohérence visuelle	Selon résultats des tests

Tableau 8 Priorité d'intervention

6. Proposition d'intervention

La proposition d'intervention a été soumise au MIH et validée avant intervention. Elle est présentée ici sous forme d'un tableau récapitulatif détaillé dans l'ordre de fabrication. Les tests préalables ayant orienté les choix sont renvoyés à l'Annexe H.

Composant	Zone / couche	Intervention proposée	Justification
Boîte	Surface	Dépoussiérage mécanique	Élimination dépôts
Cadre (revers)	Structure : galeries d'insectes	Injection consolidante en ajoutant le minimum de quantité de matériaux de restauration	Renforcement cohésion interne du bois
Cadre surface (avers)	Surface : vernis + bronzine	Tests de nettoyages de la surface, si les tâches et brunissement de la surface ne disparaissent pas alors retrait vernis et bronzine ancienne (tests préalables) Retrait de la résine polyuréthane insoluble à tout les tests réalisés.	Cohérence esthétique, altération chimique
Cadre surface (avers)	Surface	Application nouvelle bronzine	Homogénéisation visuelle en vue de l'exposition 2027
Cadre surface (avers)	Surface	Vernis de protection final	Protection surface traitée
Plaque peinte	Surface	Nettoyage mécanique à sec	Élimination dépôts de surface
Plaque peinte	Surface, vernis	Dévernissage	Application du vernis hétérogène ; jaunissement altère les couleurs de la polychromie sous-jacente.
Plaque peinte	Surface	Vernis intermédiaire isolant	Isoler avant retouches pour la saturation des couleurs
Plaque peinte	Surface, lacunes picturales	Retouches picturales illusionnistes	Cohérence esthétique
Plaque peinte	Surface	Vernis final	Protection et cohérence esthétique, saturation des couleurs
Décor 3D élém. archi.	Surfaces	Nettoyage mécanique à sec	Méthode douce adaptée aux matériaux fragiles

Décor 3D élém. archi.	Structure	Consolidation + Comblement + retouche	Manques, zone de rupture : Cohérence esthétique et stabilité structurelle
Décor 3D élém. archi.	Surfaces	Retouches légères	Homogénéité de surface
Décor 3D liséré (revers)	Surface Corrosion ferreuse	Traitement de la corrosion	Stabilisation et protection de la corrosion rouge, éviter une propagation trop rapide notamment sur le papier
Décor 3D papier mer	Surfaces	Nettoyage mécanique à sec	Méthode douce
Décor 3D papier mer	Structure Déchirure	Consolidation, « doublage » localisé (pièce de renfort)	Stabilisation : risque d'aggravation avant fonctionnement
Décor 3D bateau	Surfaces	Nettoyage mécanique à sec	Méthode adaptée aux surfaces irrégulières fragiles
Décor 3D bateau	Structure : cordages	Remise en forme des fils déformé, retrait de l'adhésif blanc	Cohérence esthétique
Mécanisme automates	Fonctionnement	Démontage + nettoyage + remontage + lubrification	Remise en fonctionnement
Mécanisme horloger	Fonctionnement	Démontage + nettoyage + remontage + lubrification	Remise en fonctionnement
Protection	Structure de l'objet et fonctionnement	Pose d'une plaque de plexiglas à la place du verre manquant	Protection décor, limiter l'empoussièrement, poids réduit adapté à la fragilité du cadre

Tableau 9 Proposition d'intervention

7. Traitement de conservation-restauration

Le traitement est décrit dans l'ordre de fabrication des composants, identique à celui des blocs 2 à 6. Pour chaque composant, les étapes sont documentées avec les produits employés (fiches techniques en [Annexe D](#)) et les résultats des tests préalables ([Annexe H](#)).

7.0 Tests préalables au traitement de conservation-restauration

Avant toute intervention, une phase de tests est conduite afin de sélectionner les produits et méthodes adaptés à chaque composant de l'objet. Les tests portent sur la solubilité des encrassements vernis et adhésifs, les consolidants, le nettoyage de la bronzine et les approches mécaniques pour les éléments en papier. Les résultats sont consignés dans des tableaux récapitulatifs, tableaux de critères de sélection des interventions et fiches de tests par matériau renvoyés en [annexe](#), et constituent la base documentaire des choix d'intervention développés dans les sections suivantes.

7.1 Boîte en bois (caisson)

L'ensemble de la boîte et du revers du cadre a fait l'objet d'un nettoyage mécanique à sec au pinceau doux et à l'aspirateur, afin d'éliminer les dépôts de poussière accumulés sur les surfaces accessibles. Le retrait de la poussière permet d'éviter qu'elles captent l'humidité environnante.

7.2 Cadre en bois doré

7.2.1 Diagnostic de l'infestation xylophage

Avant d'envisager toute intervention sur le cadre, la question d'une éventuelle infestation active a été traitée en priorité. L'objet présentait un bois particulièrement fragile avec de nombreuses galeries et des vermoulures dont la nature (déjections ou œufs) restait incertaine à l'examen visuel initial, cependant certains trous d'envol présentaient les traces d'intervention antérieure (Figure 55), un matériau de restauration ayant été introduit dans une partie d'entre eux, tandis que d'autres demeuraient vides.



Figure 55 Revers du cadre sous microscope USB : trous d'envol comblés



Figure 56 Revers du cadre sous microscope USB :
Vue depuis l'intérieure du cadre



Figure 57 Coin intérieur gauche de la boîte en bois
sous microscope USB

Une première observation de l'espace de réserve n'a révélé aucun indice d'activité en cours sur les objets voisins. De plus les photographies de l'objet ont été soumises à Fabrice Sauvagnargues (Musée du quai Branly - Jacques Chirac). Son analyse a conclu plutôt à l'absence d'infestation active : les éléments observés correspondent à des vermoulures caractéristiques d'une ancienne activité biologique, non à des œufs (Figure 56, Figure 57).

Afin de confirmer ce diagnostic, une campagne d'émission acoustique a été menée (protocole et résultats complets en [Annexe B](#)). Des tests préalables de configuration des capteurs ont été réalisés sur différents supports (établie, sol avec blocs de bois) pour identifier le montage le moins bruyé. Trois capteurs ont été positionnés sur l'objet (avers du cadre à gauche, arrière du cadre à droite, boîte à droite) et un quatrième, en contact avec le support sur lequel est posé l'objet, a enregistré le bruit ambiant. Les capteurs ont été fixés au cyclododécane, sécurisés par des rubans de coton pour le cadre et par une mousse pour la boîte. Des tests à

l'émetteur de mine ont été effectués sur chaque capteur en début et en fin de mesure. Les paramètres ont été définis selon le protocole établi par Cécile Costa (Annexe: mesure d'émission acoustique). La mesure s'est déroulée du vendredi à 15 h au lundi à 8 h sans interruption.

L'analyse n'a pas mis en évidence d'activité. Quelques pics acoustiques ont été enregistrés ponctuellement au niveau du cadre, interprétés comme des micro-craquements mécaniques du bois liés à sa fragilité, phénomène pouvant corroborer les observations visuelles. La boîte s'est révélée comparativement plus stable. L'ensemble des données converge vers une infestation ancienne. Cette conclusion a permis d'écarter la nécessité d'un traitement anoxique.

7.2.2 Traitement du revers du cadre

La stabilisation du cadre a constitué une priorité d'intervention. Afin de consolider les galeries sans apport excessif de matière, une injection consolidante a été réalisée à la seringue de 1 mm d'ouverture. Le produit retenu est une dispersion de Plexigum PQ 611® en injection dans du White Spirit 100/140 associée à des perles creuses en résine phénolique, avec ajout de Claytone (argile organophile). Ce dernier empêchant la mise en suspension des perles dans la préparation et assure une distribution plus homogène du mélange dans les galeries (réf. méthodologique : Monika Bürger, 2008) (Figure 58). Cette approche renforce la cohésion interne en limitant l'apport de matière nouvelle. Le solvant a été choisi en raison de sa faible teneur en composants aromatiques pour un solvant apolaire ainsi que son bas point d'ébullition favorisant une évaporation plus rapide dans le bois.



Figure 58 Injection de Plexigum PQ 611

7.2.3 Traitement de l'avvers : surface dorée

Le traitement de l'avvers a débuté par un nettoyage à sec avec une soufflette pour désencombrer les résidus présents dans les creux.

Les tests préalables, de solubilité ([Annexe](#)), la documentation et les analyses ont permis d'évaluer les produits adaptés au retrait des couches superficielles. Le retrait du seul vernis de finition ou encore un simple nettoyage s'est révélé insuffisant pour améliorer l'esthétique de la surface du cadre : les taches issues de la bronzine demeuraient visibles après l'opération, rendant le résultat incompatible avec les objectifs convenus avec le musée. En accord avec le MIH, la décision a été prise de retirer également la couche de bronzine la plus superficielle (la gomme-laque). Ce choix implique un apport de matière lors du re-bronzinage.

Une nouvelle bronzine (poudre de laiton) utilisant le Plexigum PQ611® comme liant a été appliquée. Ce liant présente une bonne adhérence sur la dorure et une relative stabilité chimique. (Figure 59).



Figure 59 Cadre avant intervention ; Cadre après retrait de la première couche de bronzine ; Cadre après l'ajout de bronzine

7.2.4 Traitement structurel de l'avvers : Fabrication moulage d'un nouveau coin

La lacune de moulure (Figure 60) a été comblée par moulage à partir d'une zone analogue conservée du cadre. Une empreinte a été réalisée à l'aide d'une pâte à empreinte dentaire, dans laquelle a été coulé un mélange de craie de Champagne et de colle de peau à 12 % en proportion 50/50. Après démoulage, le comblement a été poncé afin d'ajuster précisément sa forme au profil manquant, puis mis en place à l'aide d'un mastic de craie-colle de consistance épaisse permettant de masquer la jonction. Le comblement a ensuite été encollé à la colle de peau et laissé à sécher 48 heures avant toute application de surface. La bronzine a été appliquée selon le même protocole que sur le reste du cadre, avec un liant Plexigum PQ611®, puis recouverte une fois sèche d'une couche de vernis de protection de Plexigum PQ611® en solution (Figure 61).



Figure 60 Manque sur le cadre avant intervention

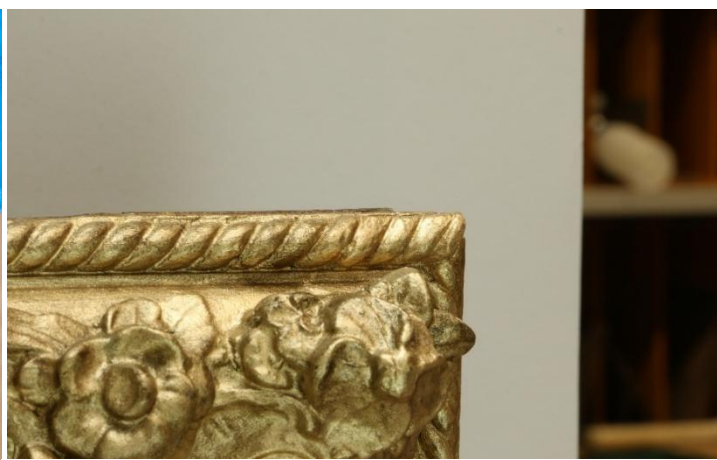


Figure 61 Comblement après réintégration

7.3 Plaque métallique peinte

Le nettoyage de la plaque a été réalisé mécaniquement au pinceau doux et aspirateur, afin d'éliminer les dépôts (Figure 62).

Le dévernissage a été conduit après tests de solubilité préalables ([Annexe H](#)), permettant de sélectionner un solvant adapté à la nature du vernis sans solubiliser la couche picturale. L'opération a été réalisée progressivement, par zone au coton-badigeon. Le vernis a seulement été allégée sur les couleurs sensibles (terres, verts) avec un mélange de solvant moins polaire. Un témoin d'un demi-centimètre a été laissé non dévernissé, il est situé sur la partie gauche de la tôle, il est caché par le décor latéral gauche. (Figure 63)

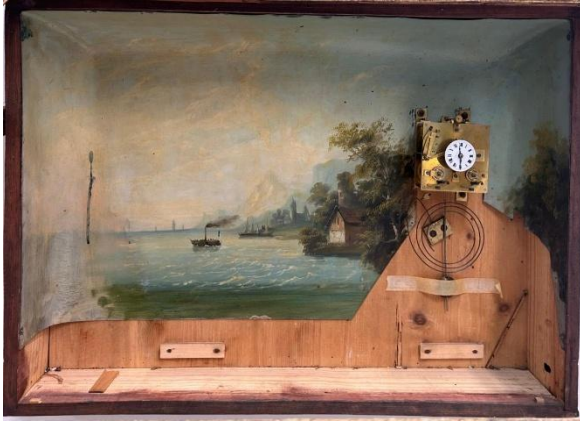


Figure 62 Tôle de zinc avant retrait du vernis et après nettoyage à sec



Figure 63 Tôle de zinc après retrait du vernis

Un vernis intermédiaire Laropal A81® (15%) (dans du Kremer solvant D40 et A (60:40)) a été appliqué au pinceau pour isoler la couche picturale, avoir une meilleure perception visuelle et servir de couche d'accroche aux retouches. Les retouches illusionnistes ont été réalisées avec des pigments broyés Sennelier® naturels dans le Laropal A81® (20%), limitées aux lacunes les plus visibles présentes sur la partie supérieure du tableau (Figure 64). Un vernis final Laropal A81® (20%) a été appliqué au pinceau.



Figure 64 Retouches avant (gauche), après (droite), de la partie supérieure de la plaque

7.4 Décor tridimensionnel

7.4.1 Eléments architecturaux latéraux

Le nettoyage des éléments architecturaux a été réalisé à la sponge smoke (éponge fumégène), méthode douce adaptée aux matériaux fragiles en carton et papier, permettant d'éliminer les dépôts de poussière en surface sans apport d'humidité.

La partie en carton qui maintient les vagues sur la gauche, présentait un décollement (Figure 65). De l'amidon de blé a été appliqué sur les deux faces à coller, puis l'assemblage a été maintenu en pression à l'aide d'un pique en bois fendu dans le sens des fibres pour maintenir le collage, un second bâtonnet a été utilisé pour maintenir le décor durant la prise de l'amidon (Figure 66). Ce dispositif de circonstance *ad hoc* a été privilégié en raison de la fragilité, et de la légèreté de l'élément, qui ne permettaient pas le recours à un serre-joint classique.



Figure 65 Décollement et rupture du carton anciennement maintenu par les décors architecturaux

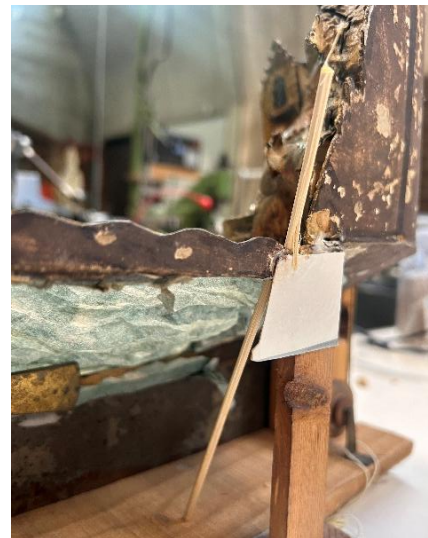


Figure 66 Collage à l'amidon avec un bâtonnet servant de pince et de maintien de la zone



Figure 67 Résultat du collage et zone lacunaire

En un point de rupture lacunaire localisée dans le décor architectural (Figure 67), un comblement a été mis en œuvre. Un support de papier japon enduit de laropal A81® (20%) a été posé. Après cela, a été appliqué un mastic craie-colle en fine couche sur le papier japon afin d'imiter la texture de décor. Ce même mastic, a été appliqué et sculpté de manière à restituer la forme manquante, les bords du comblement ont été nettoyés. La zone a ensuite été isolée par une couche de vernis Laropal A81® (20%), puis retouchée également au Laropal A81® (20%) pour réintégrer chromatiquement la zone, un vernis final a été posé également pour protéger la surface avec le même produit. (Figure 68)

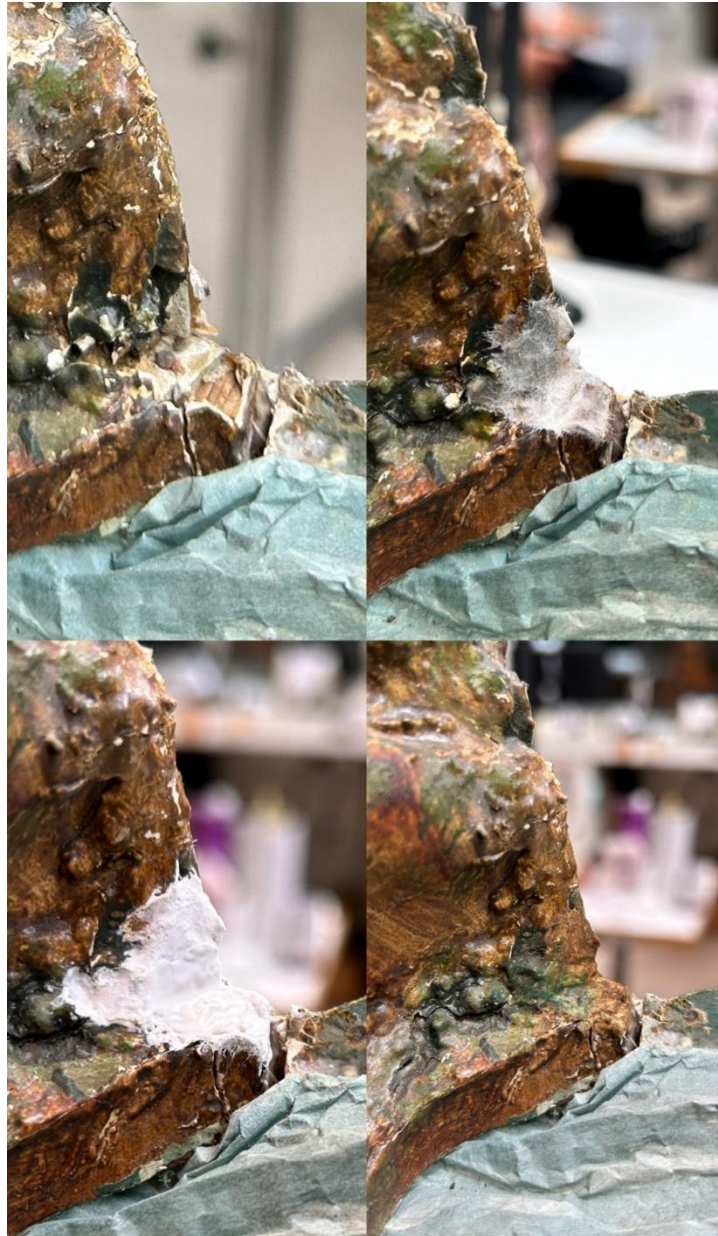


Figure 68 Lacune du décor ; Pose de papier japon sur la lacune ; Ajout de craie-colle sur le papier japon ; couche d'isolation, réintégration picturale et vernis finale du comblement

7.4.2 Liséré inférieur

Les oxydes ferreux rouges visibles au revers du liséré (Figure 69) ont été traités à l'acide tannique (2,5%, pH 2, recommandation de l'ICC) appliqué localement au pinceau après dégraissage de la surface à l'éthanol. L'acide tannique réagit avec les oxydes de fer pour former des tannates de fer (Selwyn, 2004), complexes stables, qui stabilisent chimiquement la corrosion et limitent sa progression temporairement. Afin de protéger et isoler ces surfaces, une cire cosmoloïd H80® chauffée au bain marie et diluée dans du Kremer solvant D40 a été appliquée au pinceau (Figure 70).



Figure 69 Revers du liséré avant intervention



Figure 70 Revers du liséré après intervention

7.4.3 Élément « eau » papier froissé

Le nettoyage de l'élément représentant l'eau a été réalisé à la smoke sponge, comme pour les éléments architecturaux.

La consolidation des déchirures était l'intervention prioritaire, impérativement avant tout actionnement des automates (Figure 71). Un renfort localisé a été mis en œuvre au revers de la déchirure (Figure 72) : des bandelettes de papier japon encollées à la colle d'amidon de blé ont été appliquées de manière à solidariser les bords sans rigidifier excessivement le papier froissé environnant. Ce dernier doit en effet conserver sa capacité de déformation lors du mouvement cyclique de l'automate.



Figure 71 Déchirure à l'avant du papier



Figure 72 Doublage localisé de la déchirure

7.4.4 Bateau

Le nettoyage du bateau (Figure 73) a présenté des difficultés spécifiques liées à la fragilité et à l'organisation des matériaux. La sponge smoke s'est révélée inadaptée aux surfaces irrégulières et encombrées du gréement. Un gel à base de PVA-OH et de borax, appliqué par tamponnement, a permis d'attraper les dépôts de poussière et de crasse de surface, sans risques pour les matériaux fragiles.

Une série de tests a été menée pour tenter d'intervenir sur les cordages et les dépôts d'adhésif blanc rigide ([Annexe H](#)). Les solvants testés, de l'eau à l'acétone en passant par l'ensemble du spectre de polarité intermédiaire, n'ont pas permis de ramollir suffisamment l'adhésif sans fragiliser les cordages. L'application de chaleur à la spatule chauffante, testée seule puis en combinaison avec des solvants, a produit un ramollissement partiel insuffisant pour permettre le retrait ou le repositionnement des fils. Des tentatives combinant approche thermiques et mécaniques ont été menées, sans résultat satisfaisant. L'ensemble de ces essais a révélé que toute intervention structurelle comportait un risque de fragilisation irréversible des cordages et des voiles adjacentes, jugé incompatible avec l'objectif de conservation.

L'intervention a donc été limitée au recollage, à la BEVA film 371, d'une échelle de corde décollée de son point d'attache ainsi que le collage du mât central du bateau avec de la colle de peau à 20% dans de l'eau déminéralisée (Figure 74, Figure 76). Aucun cordage n'a été modifié. La conservation en l'état de l'esthétique sur ce composant est assumée et documentée (Figure 75).



Figure 73 Bateau avant intervention



Figure 74 Bateau pendant le collage du mât central



Figure 75 Bateau après intervention



Figure 76 Revers du bateau pendant le collage du mât central

7.4.5 Résultat des interventions sur le décor



Figure 77 Décor tridimensionnel avant intervention

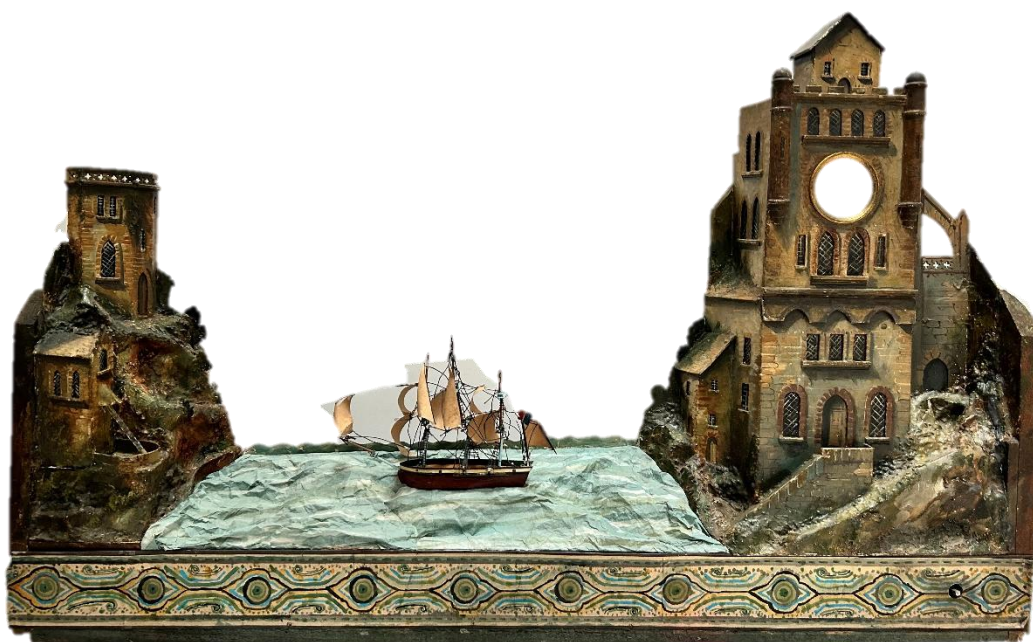


Figure 78 Décor tridimensionnel après intervention de conservation-restauration

7.5 Mécanisme d'automates

Le mécanisme d'automates a été démonté (Figure 79, Figure 80) et chaque pièce a été documentée par photographie avant, pendant le démontage. Le nettoyage a été réalisé au bain à ultrasons dans de l'isopropanol, en vue d'éliminer les résidus d'anciens lubrifiants dégradés sans risque d'abrasion des pièces métalliques. L'ensemble a été remonté après séchage.

La lubrification a été effectuée avec des produits de la gamme Moebius : huile synthétique 1300 (9104) sur les axes, pivots, trains de rouage et vis sans fin ; graisse synthétique sur les leviers et les zones de contact (goupilles enclenchées par leviers). Les ficelles de transmission des poulies, en bon état structurel général, n'ont pas été remplacées.

Le volant du mécanisme automate présentait déjà une légère déformation. Lors du remontage, il est apparu qu'en remontant le barillet, ce dernier reculait légèrement, venant bloquer le volant. Afin de remédier à ce problème, le volant a été très légèrement replié davantage, de manière à dégager suffisamment d'espace pour que le recul du barillet ne vienne plus l'entraver (Figure 82).



Figure 79 Mécanismes automates après démontage



Figure 80 Mécanismes automates
après démontage



Figure 81 Mécanisme automates avant intervention



Figure 82 Mécanisme automates après
intervention

7.6 Mécanisme horloger

Le mécanisme horloger a été démonté entièrement (Figure 83), suivi d'un nettoyage au bain à ultrasons dans l'isopropanol pour les parties en laiton, puis d'une lubrification selon la gamme Moebius adaptée à chaque zone fonctionnelle. L'huile synthétique 9104 (SYNTH-HP 1300, 1300 cSt) a été appliquée sur les axes, pivots et trains de rouage ; l'huile 9010 (SYNTH-A-LUBE, 10 cSt) sur les zones à haute vitesse de rotation telles que la vis sans fin et le volant ; l'huile synthétique 9415 sur les palettes et la roue d'ancre de l'échappement ; la graisse synthétique 9501 (176 cSt) sur les leviers, goupilles de chaussée et ressorts de cliquet.



Figure 83 Mouvement horloger après démontage

Les têtes de vis présentant une corrosion rouge ont été traitées à l'acide tannique appliqué localement au pinceau puis avec une fine couche de cire microcristalline, afin de limiter la corrosion de surface et la foncer afin que la couleur se rapproche davantage de sa teinte noirâtre initiale. La roue de compte présentait un dépôt de corrosion verte localisé (Figure 84) qui a été éliminé (Figure 85) par légère abrasion à la laine d'acier 000 sur un coton-badigeon et huile de paraffine. Ce choix de traitement spécifique a été motivé par la localisation du dépôt ainsi que par la faible surface concernée.

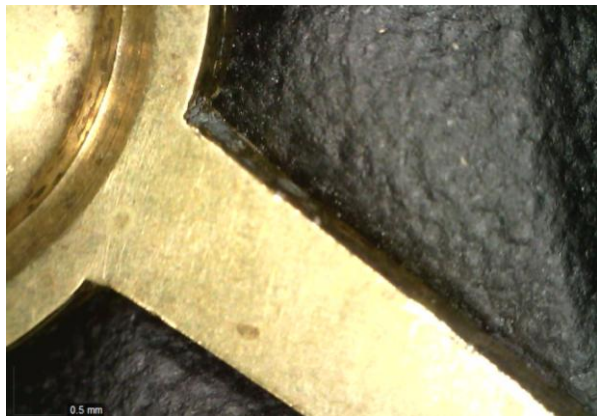


Figure 84 Roue de compte : corrosion verdâtre



Figure 85 Roue de compte : après retrait mécanique de la corrosion

Lors du remontage, le bouchon présent en butée sur la fourchette a été chanfreiné, les frottements excessifs qu'il générerait empêchant la bonne transmission d'énergie jusqu'à l'échappement (Figure 86). Après remontage de la fourchette, le mouvement du pendule s'est révélé trop lent. La réglette de l'échappement Brocot étant déjà en position de desserrage maximal, elle a été ramenée en position médiane afin de conserver une marge de réglage dans les deux sens pour d'éventuels ajustements ultérieurs. La vis du pendule a ensuite été ajustée pour raccourcir la longueur effective du pendule et accélérer la fréquence d'oscillation.

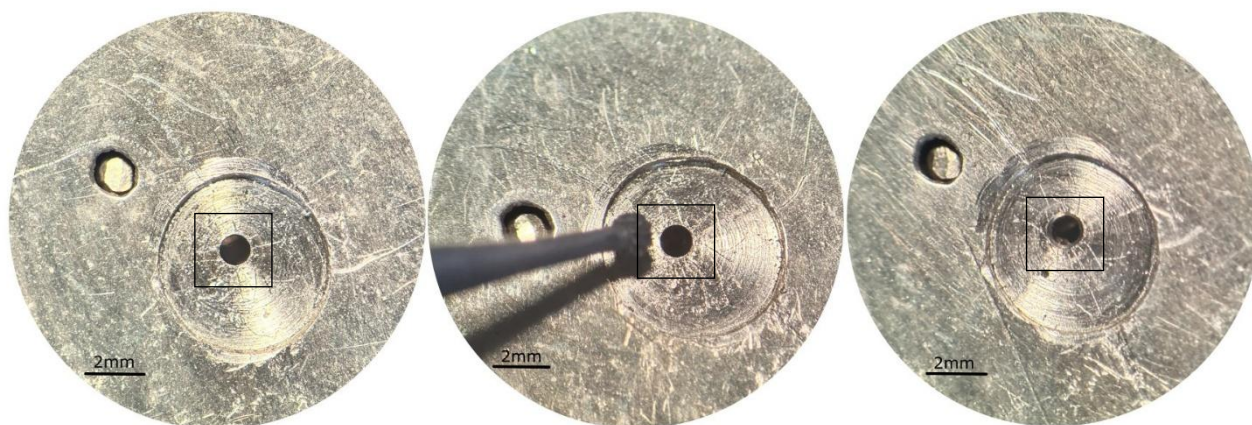


Figure 86 Vue sous microscope : bouchon sans chanfrein ; réalisation du chanfrein avec une fraise ; après chanfreinage

Lors du remontage du mouvement après restauration, le contrôle au niveau à bulle a révélé un défaut d'aplomb. Le mouvement n'étant pas parfaitement vertical, l'échappement et le pendule se trouvaient hors de la perpendiculaire au sol, ce qui compromettrait non seulement la régularité de la marche mais plus immédiatement le fonctionnement même du mécanisme.

La correction a été effectuée en exploitant le jeu existant entre les vis de fixation et leurs logements dans les platines, ces dernières présentant des trous suffisamment larges pour autoriser un léger débattement angulaire. En serrant davantage la vis supérieure gauche tout en relevant le mouvement de ce côté, puis en ajustant les deux vis restantes de façon à induire une inclinaison compensatrice, il a été possible de rétablir la verticalité du mouvement. Le pendule bat désormais perpendiculairement au sol avec une amplitude régulière et suffisante.



Figure 87 Contrôle de la vitesse d'oscillation du pendule

Le réglage a été contrôlé à l'aide d'un appareil de mesure électronique (Microset Precision Clock and Watch Timer) : le mouvement devant fonctionner à 1 Hz, la valeur cible affichée par l'appareil est de 0,5 seconde par alternance (Figure 87). Le mouvement a ensuite été testé en fonctionnement continu pendant huit jours dans son caisson, durée correspondant à la durée de marche d'un mouvement de Paris. Aucun arrêt n'a été constaté au cours de cette période.



Figure 88 Mécanisme horloger avant intervention ; mécanisme horloger après nettoyage et lubrification

7.7 Dispositif de protection : Poly (méthacrylate de méthyle) (PMMA, communément *plexiglas*)

La rainure intérieure du cadre était destinée à une plaque de verre protectrice, actuellement absente. Le remplacement par du verre standard a été écarté en raison du poids qu'il représenterait pour un cadre fragilisé. Une plaque de PMMA est à poser (Figure 89), sa mise en place est décrite dans l'[Annexe I : 4.2 Pose de la plaque de plexiglas](#). Le PMMA présente un poids nettement inférieur au verre pour des dimensions équivalentes, tout en assurant la protection mécanique du décor contre les contacts accidentels et l'accumulation de poussières.

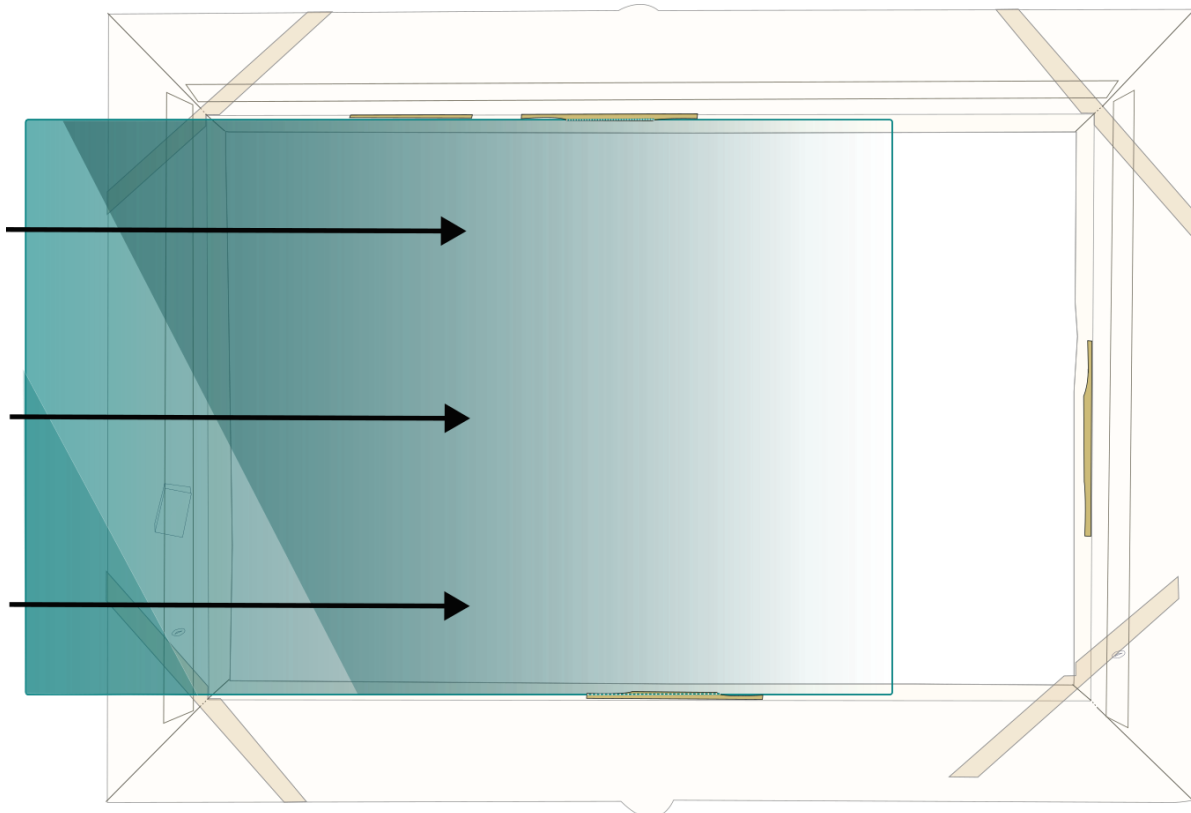


Figure 89 Schéma pour la mise en place du plexiglas de protection

7.8 Résultats de l'intervention



Figure 90 Tableau-horloge à automates avant restauration



Figure 91 Tableau-horloge à automates après restauration

8. Discussion

La discussion revient de manière critique sur les résultats obtenus, les choix opérés et leurs limites, ainsi que sur les apports de ce travail pour la compréhension de l'objet et pour la conservation des tableaux-horloges à automates.

8.1 Bilan du traitement et atteinte des objectifs du mandat

Le traitement a permis d'atteindre deux des trois objectifs fixés par le mandat : la remise en état de marche des deux mécanismes et la stabilisation matérielle de l'objet, sans quoi le premier objectif n'aurait pas pu être atteint. Le mouvement horloger fonctionne de manière autonome sur une durée d'environ huit jours, avec un balancier régulier. Le mécanisme des automates a également été remis en fonction avec une nouvelle lubrification. L'amélioration de l'esthétique a été atteinte sur la majorité des composants : plaque peinte, cadre doré, décors architecturaux, élément papier de la mer, mais n'a pu être que partiellement réalisée sur le bateau, dont les cordages ont fait l'objet d'une intervention minimale.

La décision de procéder au retrait de la bronzine ancienne en plus du vernis constitue un choix significatif de cette intervention. Elle implique un apport de matière nouvelle sur l'ensemble de la surface du cadre et s'écarte du principe d'intervention minimale : cette décision s'est appuyée sur l'évaluation des valeurs culturelles de l'objet et sur le contexte muséographique : la cohérence visuelle du cadre en vue de l'exposition de 2027 constituait un dessein se voulant légitime, validé avec le musée, dans la mesure où le retrait du seul vernis ne permettait pas d'éliminer les taches inhérentes à la couche de bronzine polyuréthane.

Ne disposant pas du matériel nécessaire à l'usage de l'aérographe, seule solution alors connue pour obtenir une couche fine de bronzine, l'application a été réalisée au pinceau, ce qui impose une épaisseur plus importante afin de masquer les traces du geste. L'EcoSpray, dont l'existence n'était pas connue au moment de l'intervention, aurait pourtant constitué une alternative pertinente, permettant d'obtenir une couche plus fine et donc plus réversible sans recourir à un matériel coûteux et volumineux.

La caractérisation de l'alliage de dorure (couche sous-jacente de l'avvers du cadre) aurait nécessité une analyse au MEB-EDS, permettant de déterminer la pureté de l'or et la composition exacte de l'alliage. En l'absence de stratigraphie exploitable, cette analyse aurait pu être conduite sur poudre prélevée dans les zones lacunaires, fixée sur bande adhésive carbone. La nature de la finition d'origine de la dorure, mate ou brillante, aurait également pu être déterminée par cette voie.

Le recours au laser pour le retrait de la résine polyuréthane aurait constitué une approche plus appropriée. Cette option n'a cependant pu être envisagée dans le cadre de la présente intervention, pour plusieurs raisons convergentes : contraintes de temps, coût potentiel de la prestation, et nécessité d'une phase préalable d'élaboration des paramètres de traitement qui aurait dû être anticipée dès, voire avant, la définition du mandat. La couche de Plexigum PQ 611® appliquée comme liant de la bronzine laisse néanmoins une fenêtre

d'intervention future ouverte : étant soluble dans les solvants organiques courants, elle pourrait être retirée si les conditions d'une intervention laser venaient à être réunies ultérieurement. Il convient toutefois de noter que cette couche est vouée à se ternir de nouveau sous l'effet de l'oxydation des pigments métalliques de la bronzine.

Par ailleurs, l'incorporation de 3 % de blanc de titane dans le mélange de comblement (gros blanc) colle de peau et carbonate de calcium, aurait permis de distinguer analytiquement les zones refaites des zones originales lors de futures analyses (Serio, 2025). Cette pratique, qui n'a pas été mise en œuvre dans la présente intervention, constitue une recommandation pour des traitements ultérieurs.

Une analyse par fluorescence X (XRF) a été réalisée sur la plaque en fer étamé du décor, confirmant la nature étamée du support. Les pourcentages obtenus restent toutefois à interpréter avec prudence : il s'agit d'une réponse qualitative, en l'absence de calibration spécifique ou d'échantillons de référence à épaisseurs connues, et le mode d'analyse sélectionné sur l'appareil influence également les concentrations affichées. Une analyse en mode « coating », si l'appareil est calibré à cet effet, aurait permis d'estimer l'épaisseur de l'étamage et ainsi d'orienter vers l'un des deux modes de pose possibles : par trempage à chaud, produisant généralement une couche plus épaisse, ou par électrolyse, procédé donnant une couche plus fine.

L'impossibilité d'intervenir sur les cordages du bateau représente la principale limite esthétique de ce traitement. Malgré des tests couvrant l'ensemble des approches disponibles (voir [annexe des tests](#)), aucune intervention n'a pu être menée sans risque pour l'objet. Cette situation illustre une contrainte fondamentale des objets composites : ce qui est techniquement réalisable sur un composant peut s'avérer destructeur sur un composant adjacent ou fragilisé. La décision de non-intervention, bien qu'insatisfaisante sur le plan esthétique, est conforme au principe déontologique de primauté de l'intégrité physique de l'objet sur l'amélioration de son apparence.

Quant au fonctionnement de l'objet, il n'est pas prévu en continu, mais activé ponctuellement à l'occasion de visites guidées par exemple, à l'aide d'une clé de remontage. Ce mode de fonctionnement intermittent limite les sollicitations mécaniques cumulées sur les matériaux les plus fragiles de l'objet, en particulier le décor tridimensionnel en papier et carton, de plus, outre le mouvement horloger, le type de mécanisme de l'objet ne permet pas qu'il fonctionne en continu. Comme détaillé en Annexe I, il revient toutefois au personnel du musée d'assurer un suivi régulier de l'état de l'objet lors de ces mises en fonctionnement, notamment un contrôle visuel du papier et du grément après chaque actionnement des automates, afin de détecter rapidement tout signe d'altération ou de dysfonctionnement.

8.2 Apports pour la conservation des tableaux-horloges à automates

Ce travail constitue, à la connaissance de l'auteure, l'une des premières études de conservation-restauration portant spécifiquement sur un tableau-horloge dans sa double dimension à la fois picturale et mécanique.

L'enquête institutionnelle ([Annexe G](#)) a mis en évidence qu'une grande partie des institutions conservent ces objets de manière statique. L'approche du MIH, qui privilégie le fonctionnement comme vecteur de médiation, constitue une orientation distincte dont ce travail a cherché à évaluer les conditions et les limites matérielles. La consolidation du papier/eau comme préalable indispensable à la mise en fonctionnement constitue un exemple concret de cette articulation entre conservation et fonctionnement.

8.3 Limites et perspectives

Les analyses post-restauration prévues, mesures vibratoires par émission acoustique et accéléromètre lors du fonctionnement des mécanismes restaurés n'ont pas pu être réalisées dans le cadre de ce travail, en raison des travaux de construction en cours au MIH rendant impossible toute mesure instrumentée en conditions stables.

9. Conclusion

9.1 Réponse à la problématique

Ce travail s'est construit autour d'une double question : comment définir une stratégie de conservation-restauration cohérente pour un objet composite dont l'authenticité matérielle est disséminée entre plusieurs couches d'interventions successives, et comment assurer la cohérence de l'ensemble sans effacer une histoire matérielle constitutive de l'identité de l'objet ?

La réponse apportée ne prend pas la forme d'un principe unique, mais d'une hiérarchie construite au cas par cas, à partir de l'identification des valeurs et de la reconstitution de l'histoire matérielle. Cette reconstitution n'était pas que documentaire : elle a conditionné les choix d'intervention. Face à un objet dont les surfaces avaient déjà été modifiées par des interventions antérieures successives, bronzine polyuréthane, gomme laque, adhésifs divers, certaines décisions qui auraient été exclues face à un état d'origine préservé se sont révélées légitimes. Le retrait de la bronzine ancienne et l'application d'une nouvelle couche en est l'exemple le plus significatif : ce choix s'est appuyé non sur une préférence esthétique, mais sur le constat que la trajectoire matérielle de l'objet avait déjà rendu caduque toute logique de stricte minimalité.

La valeur fonctionnelle, identifiée comme centrale dans ce cas précis, a fondé la remise en état de marche comme une priorité. Le non-fonctionnement constituait la discordance principale entre ce qu'est l'objet et ce qu'il est censé être. Cette conclusion rejoint la position du MIH sur le patrimoine horloger comme patrimoine vivant, dont la transmission inclut la dimension immatérielle du fonctionnement et des savoir-faire, position que l'enquête institutionnelle menée dans ce travail ([Annexe G](#)) révèle comme minoritaire parmi les institutions conservant des objets comparables, qui privilégient majoritairement la conservation statique. Cette tendance majoritaire est compréhensible d'un point de vue de gestion des risques et de coûts, mais elle prive ces objets d'une part constitutive de leur sens.

9.2 Apports et ouvertures

Le projet de conservation-restauration autour du tableau-horloge à automates a atteint l'objectif d'intervenir sur l'objet dans son ensemble, dans le respect de ses multiples significations. Cependant les travaux de conservation-restauration portant sur ce type d'œuvre, les tableaux-horloges à automates dans leur double dimension picturale et mécanique restent peu nombreux dans la littérature. Le rapport de l'atelier ACR, Fribourg sur la collection Sandoz constitue une référence documentée, mais porte principalement sur les aspects picturaux et décoratifs, sans aborder les mécanismes ([Annexe E.4](#)). Ce travail cherche à contribuer à combler cette lacune en traitant l'objet dans l'ensemble de ses composantes, depuis la stabilisation des matériaux les plus fragiles jusqu'à la remise en fonctionnement des deux mécanismes.

Sur le plan de la connaissance de l'objet, la reconstitution de la chronologie des interventions antérieures, l'identification des alliages et pigments sur la plaque peinte, la caractérisation des deux couches de bronzine et de leurs liants respectifs, et la datation du mouvement entre 1852 et 1855 par le poinçon Vincenti constituent des données qui enrichissent la documentation de cet objet et sa typologie. La comparaison avec des objets similaires conservés au MuAM et mis aux enchères chez Rouillac a par ailleurs permis de formuler des hypothèses sur l'origine du cadre et du liséré, illustrant l'apport de l'analyse comparative pour des objets dont l'histoire matérielle est largement inconnue.

Sur le plan méthodologique, la démarche développée illustre la nécessité d'une approche pluridisciplinaire pour les objets composites, de plus à fonction mécanique. Dès lors qu'une tâche semblait pouvoir être examinée par quelqu'un de plus qualifié, cette option a été explorée afin d'obtenir la meilleure solution possible. Ce travail n'aurait pas pu être mené à bien sans les personnes qui ont apporté leurs conseils et expertises, que ce soit concernant les matériaux, les techniques, ou par le regard aiguisé de restaurateurs qui sont, avant tout, des transmetteurs de savoir-faire et de connaissances. Savoir identifier les limites de sa propre compétence et constituer une équipe en conséquence constitue en ce sens une compétence méthodologique à part entière, particulièrement nécessaire face à des objets dont la complexité dépasse le champ d'une seule spécialité.

La structure adoptée dans ce travail : de l'étude historique au traitement, en passant par l'identification des valeurs et le diagnostic, s'est avérée pertinente pour aborder un objet composite dont chaque composant obéit à des logiques de conservation distinctes. Cette démarche, pourrait constituer un cadre pour des interventions futures sur des objets de nature similaire, à condition d'être ajustée aux spécificités de chaque cas.

Plusieurs perspectives restent ouvertes. Les mesures vibratoires par émission acoustique et accéléromètre lors du fonctionnement des mécanismes restaurés constituent une priorité analytique. Au-delà du cas de cette étude, l'application de cette méthode à un corpus d'objets mécaniques comparables, en fonctionnement et à l'arrêt, permettrait de disposer de données comparatives objectives sur les contraintes réelles exercées sur les matériaux lors du fonctionnement. De telles données pourraient contribuer à mieux documenter et argumenter les décisions de remise en fonctionnement, en permettant de distinguer les objets pour lesquels le fonctionnement ne présente pas de risque significatif de ceux pour lesquels une conservation statique s'impose pour des raisons matérielles démontrées, et non par défaut ou par précaution non étayée. La caractérisation précise de l'alliage de dorure par MEB-EDS, la détermination de l'essence du bois de la coque du bateau constituent des identifications matérielles restées ouvertes, qui pourraient faire l'objet d'analyses complémentaires lors d'une future intervention. Enfin, le suivi de l'objet lors de l'exposition prévue en 2027 au MIH représente une opportunité de documenter le comportement des matériaux en conditions réelles

d'exposition et de fonctionnement régulier, une donnée précieuse pour la conservation à long terme du tableau mécanique et, plus largement, pour la compréhension de cette catégorie d'objets patrimoniaux.

Le traitement a par ailleurs fait l'objet d'une estimation de son empreinte carbone (Annexe K), de l'ordre de 25 kg CO₂e, les déplacements et transports en constituant la part prépondérante devant les produits de conservation-restauration. Cela ouvre une piste de documentation du coût environnemental des interventions sur ce type d'objets poly-matériaux.

Bibliographie

ANCAHA, n° 81. Tableaux animés au CNAM à Paris, printemps 1998. Paris : ANCAHA.

Auktionen Dr. Crott 85th 12 th May 2012 Sheraton Frankfurt Hotel p.292 objet n°306, 2012 [en ligne]. Mannheim, Germany. Disponible à l'adresse : https://uhren-muser.de/catalogues/en/Crott_85_US.pdf

BARCLAY, Robert L. et INSTITUT CANADIEN DE CONSERVATION, 2007. Le soin des objets en zinc – Notes de l'Institut canadien de conservation (ICC) 9/9. [en ligne]. 14 septembre 2007. Disponible à l'adresse : <https://www.canada.ca/fr/institut-conservation/services/publications-conservation-preservation/notes-institut-canadien-conservation/soin-zinc.html> [consulté le 2 juillet 2026]. Last Modified: 2019-02-22

BERTHOLON, Régis, 2012. *Documentation des valeurs culturelles : le rôle du conservateur-restaurateur*.

BOSSHART, Nicole et al., 2013. *MESSAGE AmisMIH n°39*. Catalogue nouvelles acquisitions. La chaux-de-fonds.

BOON, J.J. et al., 2002. *Mechanical and chemical changes in Old Master paintings: dissolution, metal soap formation and remineralisation crystallization processes in lead pigmented ground/intermediate paint layers of 17th century paintings*. In : Preprints of the ICOM Committee for Conservation, 13th Triennial Meeting, Rio de Janeiro, 22–27 septembre 2002. pp. 401-406.

BÜRGER, Monika, 2008. Entwicklung injizierbarer Kittmassen zur Unterfüllung von stark durch Insektenfraß geschädigtem und destabilisiertem Holz. *Kölner Beiträge zur Restaurierung und Konservierung von Kunst- und Kulturgut 18*. 2008. pp. 147-226.

CAMEO, 2026. Coating: Polyurethane. In : *CAMEO – Conservation and Art Material Encyclopedia Online* [en ligne]. Boston : Museum of Fine Arts. Mis à jour le 8 juin 2026. Disponible à l'adresse : https://cameo.mfa.org/wiki/Coating:_Polyurethane [consulté le 17 juillet 2026].

Catalogue vente du 10 mars 2018, *calameo.com* [en ligne]. Disponible à l'adresse : <https://www.calameo.com/read/0007462183df9af82887c> [consulté le 24 avril 2026].

CATILLON, Rémi, 2012. Au temps des moulins. Conservation-restauration d'un modèle réduit de moulin à vent hollandais pour scier le bois (musée des Arts et Métiers, Paris). Étude et compréhension du mécanisme : la modélisation, une alternative à la remise en mouvement ? [en ligne]. Médiathèque numérique de l'Inp, 21

novembre 2012. [Consulté le 12 septembre 2026]. Disponible à l'adresse : <https://mediatheque-numerique.inp.fr/documentation-oeuvres/memoires-diplome-restaurateurs-patrimoine/au-temps-moulins-conservation-restauration-dun-modele-reduit-moulin-vent-hollandais-pour-scier-bois-musee-arts-metiers-paris-etude>

CHAPUIS, Alfred, 1947. *Tableaux-horloges et tableaux mécaniques*. Journal suisse d'horlogerie et de bijouterie \$g 1947, no 9-10, p. 471-477.

mp

CHAPUIS, Alfred, 1984. Le monde des automates étude historique et technique Chapitre XVIII - Les tableaux mécaniques. In : *Le monde des automates étude historique et technique*, pp. 317-333. Slatkine. ISBN 9782051005181.

CHAPUIS, Alfred et DROZ, Edmond, 1949. *Les automates, figures artificielles d'hommes et d'animaux : histoire et technique*. Éditions du Griffon.

CHAVIGNY, Richard, 1991. *Les Brocot - une dynastie d'horlogers*. Neuchâtel : Simonin. ISBN 978-2-88175-003-8

CHAVIGNY, Richard, 2004. Les tableaux-horloges franco-suisse à musique. *ANCAHA*. t 2004. Vol. 100, no 100, p. 15 à 23.

CHAVIGNY, Richard et BOULAY, Cyrille, 1983. *La pendule de Paris 1750 à 1950, sa description, sa datation, sa réparation*. France.

CHAVIGNY, Richard et FIEVEZ, Eloi, 2007. *ANCAHA Hors série : La pendule de Paris et sa cadette la pendulette de voyage*. France. ANCAHA, Hors série.

CHAVIGNY, Richard et FIEVEZ, Eloi, 2012. Datation. In : *LA PENDULE DE PARIS ET SA CADETTE LA PENDULETTE DE VOYAGE*, pp. 23-28. Saint-étienne, France. ANCAHA Hors série.

CORBINEAU, Paul et FLANDIN, Jean-Michel, 2021. Identification des bois : esthétique et singularités. Paris : Éditions Vial. 336 p. ISBN 2851012525.

COSTA, Cécile, 2025. *Acoustic Emission for active pest detection: Enhancement and integration into IPM strategy* [en ligne]. Travail de Bachelor. Neuchâtel : Haute Ecole Arc Conservation-restauration. Disponible à l'adresse : <https://sonar.ch/global/documents/333167> [consulté le 13 juillet 2026]

DANNEGGER, Monika et KÖNINGER, Barbara, 2010. Rapport de restauration simplifié. In : PIN, Bernard (dir.). *Montres & Automates. La collection Maurice Sandoz*. Vol. II. Pully : Fondation Edouard et Maurice Sandoz (FEMS), pp. 91-105.

DESROSIERS / FABRICANT DE TABLEAUX MÉCANIQUES et LAFOND. *Genre de décoration des tableaux mécaniques* [en ligne]. Brevet déposé le 30 août 1865. Paris (75056) 23, boulevard de Strasbourg. Disponible à l'adresse :

https://archives.inpi.fr/brevets?detail=533756&positionResult=2&arko_default_63f395e1547dd--filtreGroupes%5Bmode%5D=simple&arko_default_63f395e1547dd--filtreGroupes%5Bop%5D=AND&arko_default_63f395e1547dd--filtreGroupes%5Bgroupe%5D%5B0%5D%5Barko_default_6409f820a64d8%5D%5Bop%5D=AND&arko_default_63f395e1547dd--filtreGroupes%5Bgroupe%5D%5B0%5D%5Barko_default_6409f820a64d8%5D%5Bextras%5D%5Bmode%5D=input&arko_default_63f395e1547dd--filtreGroupes%5Bgroupe%5D%5B0%5D%5Barko_default_6409ada8d6374%5D%5Bop%5D=AND&arko_default_63f395e1547dd--filtreGroupes%5Bgroupe%5D%5B0%5D%5Barko_default_6409ada8d6374%5D%5Bq%5D%5B0%5D=&arko_default_63f395e1547dd--filtreGroupes%5Bgroupe%5D%5B0%5D%5Barko_default_6409ada8d6374%5D%5Bq%5D%5B1%5D=tableau%20&arko_default_63f395e1547dd--filtreGroupes%5Bgroupe%5D%5B0%5D%5Barko_default_6409ada8d6374%5D%5Bextras%5D%5Bmode%5D=input&arko_default_63f395e1547dd--filtreGroupes%5Bgroupe%5D%5B0%5D%5Barko_default_698c4792c3dc7%5D%5Bop%5D=AND&arko_default_63f395e1547dd--filtreGroupes%5Bgroupe%5D%5B0%5D%5Barko_default_698c4792c3dc7%5D%5Bq%5D%5B0%5D=desrosiers&arko_default_63f395e1547dd--filtreGroupes%5Bgroupe%5D%5B0%5D%5Barko_default_698c4792c3dc7%5D%5Bextras%5D%5Bmode%5D=input&arko_default_63f395e1547dd--from=0&arko_default_63f395e1547dd--resultSize=50&arko_default_63f395e1547dd--contenuIds%5B0%5D=838591&arko_default_63f395e1547dd--modeRestit=arko_default_63f397c19a653. [consulté le 2 juillet 2026]. Ministère de l'Agriculture, du Commerce et des Travaux publics 68549.

DOWN, Jane L., 2015a. Les poly (acétates de vinyle) et copolymères. In : *Compendium des adhésifs pour la conservation*, pp. 74-84. Ottawa, Ontario.

DOWN, Jane L., 2015b. Résine époxy. In : *Compendium des adhésifs pour la conservation*, pp. 114-124. Ottawa, Ontario.

Enchères Lot 52 - JEAN VINCENTI (Actif à Paris vers 1824 -1870). Pendule... | Gazette Drouot, [en ligne]. Disponible à l'adresse : <https://www.gazette-drouot.com/> [consulté le 3 mars 2026].

ÉTIENNE, Noémie et RADWAN, Nadia, 2018. L'art du diorama : Introduction. *Culture & Musées. Muséologie et recherches sur la culture*. décembre 2018. No 32, pp. 11-23. DOI 10.4000/culturemusees.2229.

FAVEREAUX, Raphaël, 2012. Usine d'horlogerie et de mécanique de précision Roux et Cie · Patrimoine en Bourgogne-Franche-Comté. *Patrimoine en Bourgogne-Franche-Comté* [en ligne]. 2012. Disponible à l'adresse : <https://patrimoine.bourgognefranchecomte.fr/dossiers-inventaire/usine-dhorlogerie-et-de-mecanique-de-precision-roux-et-cie-ia25001019> [consulté le 5 mars 2026].

FIRMERY, Gwendoline, 2014. Les dispersions de PVAC pour le collage des panneaux peints fragilisés. *CeROArt. Conservation, exposition, Restauration d'Objets d'Art*. février 2014. No EGG 4. DOI 10.4000/ceroart.3949.

FOHRER, Fabien, 2011. Le diagnostic des infestations en milieu patrimonial: approches techniques et méthodologiques. *La Lettre de l'OCIM. Musées, Patrimoine et Culture scientifiques et techniques*. novembre 2011. No 138, pp. 31-40. DOI 10.4000/ocim.988.

FOULKES, Nicholas, 2017. *Les automates*. Barral Xavier editions. ISBN 2365111084

GIBSON, Lorraine T. et WATT, Craig M., 2010. *Acetic and formic acids emitted from wood samples and their effect on selected materials in museum environments*. Corrosion Science. Vol. 52, n° 1, pp. 172-178. DOI 10.1016/j.corsci.2009.08.054.

GIEBELER, Julia, HEYDENREICH, Gunnar, SARTORIUS, Andrea et FISCHER, Andreas, 2019. The Decision-Making Model for Contemporary Art Conservation and Presentation. Rapport technique. Cologne Institute of Conservation Sciences (CICS), TH Köln.

GINESTET, Pierre, 1993. Une horloge-tableau. *AFAHA*. N°33. 1993. p. 152 à 153.

GUILD, Sherry, 2018. Le soin des objets de papier - Lignes directrices relatives à la conservation préventive pour les collections. *Institut canadien de conservation* [en ligne]. 27 avril 2018. Disponible à l'adresse : <https://www.canada.ca/fr/institut-conservation/services/conservation-preventive/lignes-directrices-collections/objets-papiers.html> [consulté le 18 mars 2026]. Last Modified: 2025-12-02

HATON, Augustin, 1823. *tableau mécanique servant à l'exécution des panoramas, dioramas, cosmoramas, etc* [en ligne]. Brevet d'invention 1BA1805. Paris (75056) 12, rue Regrattière : Ministère de l'intérieur. Disponible à l'adresse : https://archives.inpi.fr/brevets?detail=429705&positionResult=13&arko_default_63f395e1547dd--filtreGroupes%5Bmode%5D=simple&arko_default_63f395e1547dd--filtreGroupes%5Bop%5D=AND&arko_default_63f395e1547dd--filtreGroupes%5Bgroupe%5D%5B0%5D%5Barko_default_6409f820a64d8%5D%5Bop%5D=AND&arko_default_63f395e1547dd--filtreGroupes%5Bgroupe%5D%5B0%5D%5Barko_default_6409f820a64d8%5D%5Bextras%5D%5Bmode%5D=input&arko_default_63f395e1547dd--filtreGroupes%5Bgroupe%5D%5B0%5D%5Barko_default_6409ada8d6374%5D%5Bop%5D=AND&arko_default_63f395e1547dd--filtreGroupes%5Bgroupe%5D%5B0%5D%5Barko_default_6409ada8d6374%5D%5Bq%5D%5B0%5D=&arko_default_63f395e1547dd--filtreGroupes%5Bgroupe%5D%5B0%5D%5Barko_default_6409ada8d6374%5D%5Bq%5D%5B1%5D=tableau%20&arko_default_63f395e1547dd--filtreGroupes%5Bgroupe%5D%5B0%5D%5Barko_default_6409ada8d6374%5D%5Bextras%5D%5Bmode%5D=input&arko_default_63f395e1547dd--from=0&arko_default_63f395e1547dd--resultSize=50&arko_default_63f395e1547dd--contenuIds%5B0%5D=838591&arko_default_63f395e1547dd--modeRestit=arko_default_63f397c19a653 [consulté le 2 juillet 2026].

INSTITUT CANADIEN DE CONSERVATION (ICC). Mise en réserve des métaux. Notes de l'Institut canadien de conservation, note 9/2 [en ligne]. Ottawa : ICC, 2007.

INSTITUT CANADIEN DE CONSERVATION (ICC). Nettoyage, polissage et cirage des objets de laiton et de cuivre. Notes de l'Institut canadien de conservation, note 9/3 [en ligne]. Ottawa : ICC, 2007.

INP, 2021. Comment préserver les objets du patrimoine des vibrations? État de l'art. *Variations patrimoniales. Le carnet de l'INP*. 19 février 2021. DOI 10.58079/qd03.

Journal des artistes, 1883 Gallica [en ligne]. Disponible à l'adresse : <https://gallica.bnf.fr/ark:/12148/bpt6k45768313> [consulté le 27 mars 2025].

Journal des dames et des modes, 1826 Gallica [en ligne]. Disponible à l'adresse : <https://gallica.bnf.fr/ark:/12148/bpt6k10470844> [consulté le 27 mars 2025].

KRIEG, Helmut, 1991. Tableaux Autrichiens. *ANCAHA*. t 1991. Vol. 61, no 61, p. 69 à 76.

KSOURI, Violette, 2023. *DOSSIER D'EXAMEN et de TRAITEMENT PEINTURE Paysage avec horlogerie*.

LAVILLE DOMINIQUE DIT DAIGNAUD / HORLOGER. *pendule à tableau* [en ligne]. Brevet déposé le 14 mai 1868. Saint-Benin-d'Azy (58232). Disponible à l'adresse : https://archives.inpi.fr/brevets?detail=552984&positionResult=14&arko_default_63f395e1547dd--filtreGroupes%5Bmode%5D=simple&arko_default_63f395e1547dd--filtreGroupes%5Bop%5D=AND&arko_default_63f395e1547dd--filtreGroupes%5Bgroupe%5D%5B0%5D%5Barko_default_6409ada8d6374%5D%5Bop%5D=AND&arko_default_63f395e1547dd--filtreGroupes%5Bgroupe%5D%5B0%5D%5Barko_default_6409ada8d6374%5D%5Bq%5D%5B0%5D=tableau%20horloge&arko_default_63f395e1547dd--filtreGroupes%5Bgroupe%5D%5B0%5D%5Barko_default_6409ada8d6374%5D%5Bextras%5D%5Bmode%5D=input&arko_default_63f395e1547dd--from=0&arko_default_63f395e1547dd--resultSize=50&arko_default_63f395e1547dd--contenuIds%5B0%5D=838591&arko_default_63f395e1547dd--modeRestit=arko_default_63f397c19a653. [consulté le 2 juillet 2026]. Ministère de l'Agriculture, du Commerce et des Travaux publics 80942.

Le Charivari : publiant chaque jour un nouveau dessin, 1852 *Gallica* [en ligne]. Disponible à l'adresse : <https://gallica.bnf.fr/ark:/12148/bpt6k3052535h> [consulté le 27 mars 2025].

Les médailles et récompenses estampillées sur les mouvements de Paris, [en ligne]. Disponible à l'adresse : <https://lemouvementdeparis.e-monsite.com/pages/les-estampilles-les-medailles.html> [consulté le 3 mars 2026].

MARCHAL, Valérie, 2009. Brevets, marques, dessins et modèles. Évolution des protections de propriété industrielle au XIXe siècle en France. *Documents pour l'histoire des techniques. Nouvelle série*. mars 2009. No 17, pp. 106-116. DOI 10.4000/dht.392.

MEASDAY, Danielle, WALKER, Charlotte et PEMPERTON, Briony. 2017. A summary of ultra-violet fluorescent materials relevant to Conservation. *Australian Institute for the Conservation of Cultural Material* [en ligne]. Disponible à l'adresse : <https://aiccm.org.au/network-news/summary-ultra-violet-fluorescent-materials-relevant-conservation/> [consulté le 16 mars 2026].

MUÑOZ VIÑAS, Salvador, 2005. Contemporary Theory of Conservation [en ligne]. Oxford : Elsevier Butterworth-Heinemann. [Consulté le 12 septembre 2026]. Disponible à l'adresse : <https://www.researchgate.net/publication/283234670> Contemporary theory of conservation

PENDULE A LA CATHEDRALE D'EPOQUE LOUIS-PHILIPPE, SIGNATURE DE LA MANUFACTURE DAGOTY ET HONORE, VERS 1830 | Christie's, [en ligne]. Disponible à l'adresse : <https://www.christies.com/lot/lot-6046304?utm> [consulté le 3 mars 2026].

PASSARETTI, Arianna, 2026. Rapport d'analyse FTIR, bronzine et couches de surface, Haute Ecole Arc, Neuchâtel. Rapport interne non publié. Voir Annexe B

PEREGO, François, 2005. Dictionnaire des matériaux du peintre. Paris : Belin. 895 p. ISBN 978-2-7011-2135-2.

PERRET-GENTIL, Emeline, 2020. *Conservation-restauration d'un diorama en verre filé et perles présentant une vue de la Place Saint-Marc de Venise un jour de carnaval*. . Abegg-Stiftung, Riggisberg.

PIN, Bernard (dir.), 2010. *Montres & Automates. La collection Maurice Sandoz*. 3 vol. Pully : Fondation Edouard et Maurice Sandoz (FEMS).

REED, Caroline, 2018. Reviewing Significance 3.0. A framework for assessing museum, archive and library collections' significance, management and use. Janvier 2018.

REYMONDIN et al., Théorie de l'horlogerie, CPIH, 1998

RICHARD, Jacques, 1817. *Tableau représentant la mer agitée, où figurent des simulacres de vaisseaux ou barques, mis en mouvement par un mécanisme* [en ligne]. Brevet d'invention 1BA1032. Paris (75056) 57, boulevard Saint-Martin : Ministère de l'intérieur. Disponible à l'adresse : https://archives.inpi.fr/brevets?detail=428764&positionResult=9&arko_default_63f395e1547dd--filtreGroupes%5Bmode%5D=simple&arko_default_63f395e1547dd--filtreGroupes%5Bop%5D=AND&arko_default_63f395e1547dd--filtreGroupes%5Bgroupe%5D%5B0%5D%5Barko_default_6409f820a64d8%5D%5Bop%5D=AND&arko_default_63f395e1547dd--filtreGroupes%5Bgroupe%5D%5B0%5D%5Barko_default_6409f820a64d8%5D%5Bextras%5D%5Bmode%5D=input&arko_default_63f395e1547dd--filtreGroupes%5Bgroupe%5D%5B0%5D%5Barko_default_6409ada8d6374%5D%5Bop%5D=AND&arko_default_63f395e1547dd--filtreGroupes%5Bgroupe%5D%5B0%5D%5Barko_default_6409ada8d6374%5D%5Bq%5D%5B0%5D=&arko_default_63f395e1547dd--filtreGroupes%5Bgroupe%5D%5B0%5D%5Barko_default_6409ada8d6374%5D%5Bq%5D%5B1%5D=tableau%20&arko_default_63f395e1547dd--

filtreGroupes%5Bgroupes%5D%5B0%5D%5Barko_default_6409ada8d6374%5D%5Bextras%5D%5Bmode%5D=input&arko_default_63f395e1547dd--from=0&arko_default_63f395e1547dd--resultSize=50&arko_default_63f395e1547dd--contenuIds%5B0%5D=838591&arko_default_63f395e1547dd--modeRestit=arko_default_63f397c19a653 [consulté le 2 juillet 2026].

ROBINET, Laurianne et CORBEIL, Marie-Claude, 2003. The characterization of metal soaps. *Studies in Conservation*. 1 janvier 2003. Vol. 48, pp. 23-40.

ROBINOT, Alexandre-Camille , 1859. *tableaux mouvants représentant, des figures, objets et sujets de marine, genre mécanique produisant divers effets, pour jouets d'enfants et amusements* [en ligne]. Brevet déposé le 3 septembre 1859. Paris, Rue vieille du temple, 68. Disponible à l'adresse : https://archives.inpi.fr/brevets?detail=501837&positionResult=115&arko_default_63f395e1547dd--filtreGroupes%5Bmode%5D=simple&arko_default_63f395e1547dd--filtreGroupes%5Bop%5D=AND&arko_default_63f395e1547dd--filtreGroupes%5Bgroupes%5D%5B0%5D%5Barko_default_6409f820a64d8%5D%5Bop%5D=AND&arko_default_63f395e1547dd--filtreGroupes%5Bgroupes%5D%5B0%5D%5Barko_default_6409f820a64d8%5D%5Bextras%5D%5Bmode%5D=input&arko_default_63f395e1547dd--filtreGroupes%5Bgroupes%5D%5B0%5D%5Barko_default_6409ada8d6374%5D%5Bop%5D=AND&arko_default_63f395e1547dd--filtreGroupes%5Bgroupes%5D%5B0%5D%5Barko_default_6409ada8d6374%5D%5Bq%5D%5B0%5D=&arko_default_63f395e1547dd--filtreGroupes%5Bgroupes%5D%5B0%5D%5Barko_default_6409ada8d6374%5D%5Bq%5D%5B1%5D=tableau%20&arko_default_63f395e1547dd--filtreGroupes%5Bgroupes%5D%5B0%5D%5Barko_default_6409ada8d6374%5D%5Bextras%5D%5Bmode%5D=input&arko_default_63f395e1547dd--from=100&arko_default_63f395e1547dd--resultSize=50&arko_default_63f395e1547dd--contenuIds%5B0%5D=838591&arko_default_63f395e1547dd--modeRestit=arko_default_63f397c19a653. [consulté le 2 juillet 2026]. Ministère de l'Agriculture, du Commerce et des Travaux publics 37985.

ROUILLAC. 31ème VENTE GARDEN PARTY - Dimanche 16 juin 2019 Château d'Artigny. [en ligne]. Disponible à l'adresse : <https://www.rouillac.com/saf1000492-175> [consulté le 3 juillet 2026].

RUSSO, Silvia, 2022. Analysis and assessment of degradation of polychrome metal artworks. . 2022. DOI 10.35662/unine-thesis-2992.

RUSSO, Silvia et al., 2023. But aren't all soaps metal soaps? A review of applications, physico-chemical properties of metal soaps and their occurrence in cultural heritage studies. *Heritage Science*. 10 août 2023. Vol. 11. DOI 10.1186/s40494-023-00988-3.

SCHAEFER, Iris, 1993. Pappe und Karton als Bildträger für Ölmalerei im 19. und frühen 20. Jahrhundert. *Zeitschrift für Kunsttechnologie und Konservierung*, . 1993. Vol. 7, pp. 155-183.

SCHENKEL, Tobias, 2026. Analyse XRF, plaque métallique peinte et cadre doré, Haute Ecole Arc, Neuchâtel
Rapport interne non publié. En Annexe B.

SELWYN, Lyndsie, 2004. *Métaux et corrosion : Un manuel pour le professionnel de la conservation*. Canadian Conservation Institut. ISBN 978-0-662-77743-4

SERIN / HORLOGER. *Système de pendule-tableau à cadran oblique* [en ligne]. Brevet déposé le 9 février 1866. Paris (75056) 46, rue Sainte-Croix-de-la-Bretonnerie. Disponible à l'adresse : https://archives.inpi.fr/brevets?detail=542690&positionResult=12&arko_default_63f395e1547dd--filtreGroupes%5Bmode%5D=simple&arko_default_63f395e1547dd--filtreGroupes%5Bop%5D=AND&arko_default_63f395e1547dd--filtreGroupes%5Bgroupes%5D%5B0%5D%5Barko_default_6409ada8d6374%5D%5Bop%5D=AND&arko_default_63f395e1547dd--filtreGroupes%5Bgroupes%5D%5B0%5D%5Barko_default_6409ada8d6374%5D%5Bq%5D%5B0%5D=tableau%20horloge&arko_default_63f395e1547dd--filtreGroupes%5Bgroupes%5D%5B0%5D%5Barko_default_6409ada8d6374%5D%5Bextras%5D%5Bmode%5D=input&arko_default_63f395e1547dd--from=0&arko_default_63f395e1547dd--resultSize=50&arko_default_63f395e1547dd--contenuIds%5B0%5D=838591&arko_default_63f395e1547dd--modeRestit=arko_default_63f397c19a653. [consulté le 2 juillet 2026]. Ministère de l'Agriculture, du Commerce et des Travaux publics 70372.

SERIO, Clémence, 2025. *Étude du gros blanc et son marquage chimique pour le rebouchage des apprêts en conservation-restauration de bois doré*. Paris : Panthéon Sorbonne Paris I.

Sold at Auction: Vicenti & Cie., Figürliche Kaminuhr. Vincenti & Cie., Montbéliard. Late 19th cent., *invaluable.com* [en ligne]. Disponible à l'adresse : <https://www.invaluable.com/auction-lot/figuerliche-kaminuhr-vincent-cie-montbeliard-late-538-c-d704ab7949> [consulté le 12 mars 2026].

Système remontoir à encliquetage applicable aux tableaux mécaniques à horloge, aux pendules, etc., [en ligne]. Brevet déposé le 19 février 1867. Paris (75056) 23, boulevard de Strasbourg. Disponible à l'adresse : https://archives.inpi.fr/brevets?detail=548298&positionResult=13&arko_default_63f395e1547dd--

filtreGroupes%5Bmode%5D=simple&arko_default_63f395e1547dd--
filtreGroupes%5Bop%5D=AND&arko_default_63f395e1547dd--
filtreGroupes%5Bgroupe%5D%5B0%5D%5Barko_default_6409ada8d6374%5D%5Bop%5D=AND&arko_de
fault_63f395e1547dd--
filtreGroupes%5Bgroupe%5D%5B0%5D%5Barko_default_6409ada8d6374%5D%5Bq%5D%5B0%5D=tabl
eau%20horloge&arko_default_63f395e1547dd--
filtreGroupes%5Bgroupe%5D%5B0%5D%5Barko_default_6409ada8d6374%5D%5Bextras%5D%5Bmode
%5D=input&arko_default_63f395e1547dd--from=0&arko_default_63f395e1547dd--
resultSize=50&arko_default_63f395e1547dd--contenuIds%5B0%5D=838591&arko_default_63f395e1547dd-
-modeRestit=arko_default_63f397c19a653. [consulté le 2 juillet 2026]. Ministère de l'Agriculture, du
Commerce et des Travaux publics 75079.

WAILLIEZ, Wivine et al., 2006. Les couleurs des feuilles et poudres métalliques jaunes. In : *Les couleurs des feuilles et poudres métalliques jaunes / Wivine Wailliez, Couleur & temps: la couleur en conservation et restauration: 12es journées d'études de la SFIIC (Section française de l'Institut international de conservation), Paris, Institut national du patrimoine, 21-24 juin 2006 = Colour and time, colour in conservation and restoration: 12th conference of the SFIIC (French section, International Institute for Conservation), Paris, Institut national du patrimoine, 21-24 June 2006*. Champs-sur-Marne (France): International Institute for Conservation of Historic and Artistic Works. Section française.

WAIN, Alison, 2017. The Importance of Movement and Operation as Preventive Conservation Strategies for Heritage Machinery. *Journal of the American Institute for Conservation*. 3 avril 2017. Vol. 56, no 2, pp. 81-95. DOI 10.1080/01971360.2017.1326238.

WEI, Bill, 2021. *Art Conservation : Mechanical Properties and Testing of Materials*. ISBN 978-981-4877-68-8

Crédits photographiques

Sauf mention contraire, les images contenues dans ce document sont soumises au copyright suivant : © Haute Ecole Arc, Alice Dumon, 2026. Toute reproduction ou diffusion est soumise à l'utilisation de ce copyright.

Listes des figures

Figure 1 Honoré DAUMIER, Achat d'un tableau horloge, 1847, lithographie. Washington, National Gallery of Art, n° d'inv. 2015.143.378, Corcoran Collection. Domaine public.....	17
Figure 2 Mécanisme d'animation du bateau dans un tableau mécanique de la collection P. A. Muller, Pau. Source : Chapuis, 1984, p. 328.	20
Figure 3 schéma éclatée vue isométrique	22
Figure 4 Nomenclature : avers	24
Figure 5 Nomenclature revers	24
Figure 6 Schéma du placement des charnières sur la boîte en bois.....	25
Figure 7 Schéma de la stratigraphie de l'avers du cadre	26
Figure 8 Empâtement de la couche picturale.....	27
Figure 9 Peinture verdâtre sous microscope USB.....	27
Figure 10 Vue du centre de la plaque métallique	28
Figure 11 Objet sans cadre ni décor : découpe de la tôle.....	28
Figure 12 Papier du liseré sous microscope USB.....	30
Figure 13 Liseré	30
Figure 14 Décor latéral gauche	31
Figure 15 Décor latéral droite.....	31
Figure 16 Revers du décor : différentes couches de préparations, microscope USB	31
Figure 17 Avers du décor : surface brillante, microscope USB	31
Figure 18 Décor tridimensionnel sous lumière ultraviolette 250nm.....	32
Figure 19 Papier simulant l'eau sous microscope USB	32
Figure 20 Vue générale : élément mer.....	33
Figure 21 Polychromie de la coque du bateau sous microscope USB.....	33
Figure 22 Drapeau à l'arrière du bateau.....	33
Figure 23 Vue globale bateau	34
Figure 24 échelle de corde du bateau sous microscope USB.....	34
Figure 25 Cordage bateau sous microscope USB	35
Figure 26 Bateau vue de l'avers	36
Figure 27 Bateau vue revers avec les mécanismes	36
Figure 28 Platine arrière : poinçon sous microscope USB	36

Figure 29 Suspension : étampage Brocot sous microscope USB.....	36
Figure 30 Schéma de la partie sonnerie du mécanisme horloger avec nomenclature.....	37
Figure 31 Schéma de fixation du mouvement horloger dans la boîte en bois.....	38
Figure 32 Vue générale du cadran et lunette.....	39
Figure 33 Schéma du mécanisme automates 1/2	40
Figure 34 Schéma du mécanisme automates (baguette en verre) 2/2.....	40
Figure 35 Schéma des altérations du revers du cadre	43
Figure 36 Lacune du cadre sous microscope USB	44
Figure 37 Fluage de la tôle de zinc	45
Figure 38 Lacunes aux points de fixation de la plaque	45
Figure 39 Revers de la plaque du liseré	45
Figure 40 Détail du décor : couche de poussière	46
Figure 41 Détail du décor : lacunes	46
Figure 42 Décollement du papier multi-couche/carton sous microscope USB.....	46
Figure 43 Détail papier : empoussièrement.....	47
Figure 44 Détail : déchirure partie arrière droite du papier.....	47
Figure 45 Détail : déchirure partie avant centre du papier	47
Figure 46 Schéma de la rupture du papier cartonné	48
Figure 47 Rupture du mât centrale.....	48
Figure 48 Détail maintien des cordages et adhésifs blancs	49
Figure 49 Lubrification noir Figure 50 Roue de compte sous microscope USB corrosion verdâtre	49
Figure 51 Tableau mécanique du MuAM	53
Figure 52 Tableau mécanique du MuAM : cadre relevé	53
Figure 53 Tableau automate avec montgolfière © Rouillac, 2019. Source : https://www.rouillac.com/fr/lot-492- [...]	53
Figure 54 Tableau automate avec montgolfière : cadre relevé © Rouillac, 2019. Source : https://www.rouillac.com/fr/lot-492- [...]	53
Figure 55 Revers du cadre sous microscope USB : trous d'envol comblés	60
Figure 56 Revers du cadre sous microscope USB : Vue depuis l'intérieure du cadre.....	60
Figure 57 Coin intérieur gauche de la boîte en bois sous microscope USB.....	60
Figure 58 Injection de Plexigum PQ 611	61
Figure 59 Cadre avant intervention ; Cadre après retrait de la première couche de bronzine ; Cadre après l'ajout de bronzine	63
Figure 60 Manque sur le cadre avant intervention	64
Figure 61 Comblement après réintégration	64
Figure 62 Tôle de zinc avant retrait du vernis et après nettoyage à sec	65
Figure 63 Tôle de zinc après retrait du vernis.....	65

Figure 64 Retouches avant (gauche), après (droite), de la partie supérieure de la plaque.....	66
Figure 65 Décollement et rupture du carton anciennement maintenu par les décors architecturaux.....	67
Figure 66 Collage à l'amidon avec un bâtonnet servant de pince et de maintien de la zone.....	67
Figure 67 Résultat du collage et zone lacunaire.....	67
Figure 68 Lacune du décor ; Pose de papier japon sur la lacune ; Ajout de craie-colle sur le papier japon ; couche d'isolation, réintégration picturale et vernis finale du comblement.....	68
Figure 69 Revers du liseré avant intervention.....	69
Figure 70 Revers du liseré après intervention.....	69
Figure 71 Déchirure à l'avant du papier	69
Figure 72 Doublage localisé de la déchirure	69
Figure 73 Bateau avant intervention.....	70
Figure 74 Bateau pendant le collage du mât central	70
Figure 75 Bateau après intervention	70
Figure 76 Revers du bateau pendant le collage du mât central.....	70
Figure 77 Décor tridimensionnel avant intervention	71
Figure 78 Décor tridimensionnel après intervention de conservation-restauration	71
Figure 79 Mécanismes automates après démontage	73
Figure 80 Mécanismes automates après démontage	73
Figure 81 Mécanisme automates avant intervention	73
Figure 82 Mécanisme automates après intervention	73
Figure 83 Mouvement horloger après démontage.....	74
Figure 84 Roue de compte : corrosion verdâtre.....	74
Figure 85 Roue de compte : après retrait mécanique de la corrosion	74
Figure 86 Vue sous microscope : bouchon sans chanfrein ; réalisation du chanfrein avec une fraise ; après chanfreinage.....	75
Figure 87 Contrôle de la vitesse d'oscillation du pendule.....	75
Figure 88 Mécanisme horloger avant intervention ; mécanisme horloger après nettoyage et lubrification....	76
Figure 89 Schéma pour la mise en place du plexiglas de protection	77
Figure 90 Tableau-horloge à automates avant restauration.....	78
Figure 91 Tableau-horloge à automates après restauration.....	78
Figure 92 Détermination de l'épaisseur du ressort D'après Reymondin et al., <i>Théorie de l'horlogerie</i> , CPIH, 1998, p307	250
Figure 93 Détermination de la longueur théorique du ressort D'après Reymondin et al., <i>Théorie de l'horlogerie</i> , CPIH, 1998, p308.....	251
Figure 94 Détermination de la longueur pratique du ressort D'après Reymondin et al., <i>Théorie de l'horlogerie</i> , CPIH, 1998, p309.....	252

Liste des tableaux

Tableau 1 Fiche d'identité de l'objet	14
Tableau 2 Interventions antérieures identifiées	21
Tableau 3 éléments principaux de l'objet	24
Tableau 4 Stratigraphie de l'avvers du cadre	26
Tableau 5 Synthèse des assemblages	41
Tableau 6 Altérations de surface de l'avvers du cadre	43
Tableau 7 Altérations de la tôle de métal	45
Tableau 8 Priorité d'intervention.....	56
Tableau 9 Proposition d'intervention.....	58
Tableau 10 Nomenclature.....	107
Tableau 11 Glossaire	113
Tableau 12 Abréviations	114
Tableau 13 Identifications des échantillons au FTIR	118
Tableau 14 Analyses XRF en mode mining	122
Tableau 15 Analyse XRF en mode general metals.....	129
Tableau 16 Photos UV à 250nm	132
Tableau 17 Réglage appareil photo UV à 250nm	133
Tableau 18 Photos UV à 365nm	135
Tableau 19 Réglage appareil photo UV à 365nm	136
Tableau 20 équipement utilisé émission acoustique.....	137
Tableau 21 Réglages paramétriques AE.....	138
Tableau 22 Paramètres de discrimination des salves.....	138
Tableau 23 Données physiques.....	143
Tableau 24 Calculs réfraction molaire	145
Tableau 25 Validation croisée	145
Tableau 26 comparaison.....	146
Tableau 27 argumentaire d'identification et de datation des interventions antérieures	185
Tableau 28 objets comparables du MuAM, d'après les fiches de la base documentaire du musée. © Musée des arts et métiers.	193
Tableau 29 Altérations de la boîte	201
Tableau 30 Altérations du cadre en bois doré.....	203
Tableau 31 Altérations de la plaque métallique peinte en zinc	204
Tableau 32 Altérations décors architecturaux	205
Tableau 33 Altérations élément eau	206

Tableau 34 Altérations du bateau	207
Tableau 35 Altérations du liseré	208
Tableau 36 Altérations du mouvement horloger	209
Tableau 37 Altérations du mécanisme automates	210
Tableau 38 Tests de solubilité du métal peint.....	216
Tableau 39 Tests de solubilité de la bronzine gomme-laque du cadre doré	217
Tableau 40 Tests de nettoyage du décor	217
Tableau 41 Propriétés des résines	219
Tableau 42 Retouche picturale : carton peint	221
Tableau 43 Comblement des lacunes.....	223
Tableau 44 Retouche et vernis de protection du métal peint	224
Tableau 45 Synthèse des interventions retenus.....	225
Tableau 46 Tests sur les cordages du bateau.....	227
Tableau 47 Conditions environnementales de conservation en réserve	228
Tableau 48 Condition d'exposition	229
Tableau 49 Principe pour la manipulation de l'objet.....	230
Tableau 50 Orientations de conservation	231
Tableau 51 Conditionnement en réserve.....	232
Tableau 52 Comment accéder aux mécanismes ?.....	234
Tableau 53 Retrait du PMMA.....	236
Tableau 54 Pose de la plaque de PMMA.....	237
Tableau 55 Condition préalable au fonctionnement	239
Tableau 56 Mise en fonction du mouvement horloger	240
Tableau 57 Mise en fonction des automates.....	240
Tableau 58 Suivi des interventions d'entretiens	242
Tableau 59 Mouvement horloger : lubrifiants	243
Tableau 60 Mouvement automates : lubrifiants	243
Tableau 61 Signaux d'alerte.....	244
Tableau 62 Nombre de dents du train de rouage du barillet jusqu'à l'échappement	245
Tableau 63 Nombre de dents de la minuterie	246
Tableau 64 nombre de dents de la sonnerie du barillet au volant	246
Tableau 65 Données des calculs.....	247
Tableau 66 Données mesurés pour le calcul des ressorts.....	248
Tableau 67 Résultat par rapport aux graphes.....	249
Tableau 68 Résultats : longueur pratique et comparaison à la mesure	249
Tableau 69 Empreinte carbone : produits chimiques et matériaux	258
Tableau 70 Empreinte carbone : commandes fournisseurs.....	258

Tableau 71 Empreinte carbone : énergie et équipements.....	260
Tableau 72 Empreinte carbone : transports et déplacements	261
Tableau 73 Empreinte carbone : total général estimé	261

Annexes

Les annexes regroupent l'ensemble de la documentation complémentaire produite dans le cadre de ce travail. Elles ne sont pas comptabilisées dans les caractères du corps du mémoire (introduction à conclusion incluse).

Annexe A : Nomenclature de l'objet et glossaire

La présente annexe réunit la nomenclature de l'objet et le glossaire des termes employés dans le mémoire. La nomenclature recense les termes propres à l'objet dans l'ordre de fabrication supposé, en précisant leur emplacement et, pour le constat d'état, le code couleur associé aux tableaux d'altérations ([Annexe F](#)). Le glossaire définit les termes techniques et méthodologiques utilisés dans le corps du texte.

Nomenclature de l'objet

La nomenclature est organisée selon le même ordre que le corps de texte du travail.

Légende des codes couleur :

Substrat / support	Couche de surface / élément de surface	Assemblage / jonction structurelle
--------------------	--	------------------------------------

Terme utilisé	Composant / emplacement dans l'objet	Couche concerné
Boîte en bois / caisson	Structure porteuse de l'ensemble. Cinq planches de tilleul (Annexe L) assemblées par clouage formant les quatre faces latérales et le fond.	Substrat / support
Fond du caisson	Planche présente sur le fond du caisson, support indirect du mécanisme horloger.	
Cadre en bois doré	Cadre ornemental rapporté sur le caisson, assemblé par deux charnières sur la partie supérieure de la boîte en bois. Bois sculpté, couche de	Surface / élément de surface

Terme utilisé	Composant / emplacement dans l'objet	Couche concerné
Bronzine	préparation blanche et rouge, dorure, bronzines, vernis. Couche de finition dorée appliquée sur le cadre lors d'une intervention postérieure. Poudre métallique (laiton/cuivre) en suspension dans un liant résine polyuréthane (couche inf.) surmonté d'une couche à liant gomme laque.	Surface
Dorure originelle	Couche d'origine sous la bronzine. Nature et technique non déterminées avec certitude (or en feuille supposé).	Surface
Plaque métallique peinte	Support de la peinture à l'huile. Alliage de zinc laminé, assemblé par soudure à l'étain aux coins. Inséré dans le caisson après sa fabrication.	Substrat
Couche de préparation	Couche intermédiaire entre le support métallique et la couche picturale.	
Couche picturale	Peinture à l'huile sur la plaque de zinc. Pigments identifiés par XRF incluant vert de Paris / vert de Scheele (arsenic), bleu de Prusse.	Surface
Vernis (plaque)	Couche de protection de la peinture. Vernis terpénique (résine naturelle), revernissage au Laropal A81® lors du traitement.	Surface
Décor tridimensionnel / diorama	Ensemble des éléments en relief rapportés dans la boîte, devant la plaque peinte. Du fond vers le premier plan : liséré inférieur, décors	Assemblage

Terme utilisé	Composant / emplacement dans l'objet	Couche concerné
Lisééré inférieur	architecturaux latéraux, élément mer, bateau. Bande décorative inférieure fixée sur un support métallique ferreux longitudinal (fer étamé). Surface recouverte d'un papier à motif répétitif peint à la main.	Assemblage
Décors architecturaux latéraux	Colline gauche (avec bâtiment et chute d'eau simulée) et tour droite (avec cadran et porte amovible). Carton et papier découpés, pliés et encollés en volumes.	Assemblage
Baguette en verre (chute d'eau)	Baguette en verre transparent fixée sur la colline gauche, animée en rotation lors du fonctionnement du mécanisme d'automates pour simuler une chute d'eau.	Assemblage
Élément lac / papier eau	Papier froissé fixé sur un support en bois, simulant la surface de la mer. Déformé cycliquement par le mouvement vertical du bateau lors du fonctionnement.	Assemblage
Bateau (élément mobile)	Coque en bois polychrome (rouge, noir, blanc ; mâts bleus) portant un drapeau tricolore français. Monté sur un système de fils et poulies permettant un déplacement vertical simulant le tangage.	Assemblage / mobile
Cordages / gréement	Fils de transmission reliant le bateau au mécanisme d'automates via des poulies en bois.	Assemblage

Terme utilisé	Composant / emplacement dans l'objet	Couche concerné
Poulies en bois	Pièces de transmission du mécanisme d'automates convertissant le mouvement rotatif en déplacement vertical du bateau et en rotation de la baguette.	Assemblage
Cadran	Cadran de l'horloge, accessible via la porte amovible de la tour droite. Nature et matériau à préciser.	Surface
Mécanisme horloger / mouvement horloger	Mouvement de Paris de forme carrée, signature Vincenti & Cie, médaille d'argent. Platines en laiton. Assure l'indication de l'heure et la sonnerie des heures et demi-heures.	Substrat / mécanique
Platine (avant / arrière)	Pièces en laiton formant l'armature du mouvement horloger, portant les pivots des roues et les inscriptions du fabricant.	
Coq	Pièce de la platine arrière couvrant et supportant l'échappement et le balancier (ou spiral du pendule). Porte parfois la signature du fabricant.	
Barillet (mécanisme horloger)	Boîte cylindrique contenant le grand ressort en spirale, accumulateur d'énergie du mouvement horloger. Le mouvement IV-913 comporte deux barillets : un pour le rouage de finissage (indication de l'heure) et un pour le mécanisme de sonnerie.	
Grand ressort	Ressort en acier laminé en spirale contenu dans le barillet, constituant la source d'énergie du mécanisme.	

Terme utilisé	Composant / emplacement dans l'objet	Couche concerné
Rouage de finissage	Ensemble de roues dentées transmettant l'énergie du barillet vers l'échappement par multiplication de la vitesse.	
Rouage de minuterie	Ensemble de roues dentées transformant le mouvement rotatif en indication de l'heure via les aiguilles.	
Mécanisme de sonnerie	Sous-ensemble du mouvement horloger déclenchant la frappe sur timbre ou tige aux heures et demi-heures.	
Roue de compte	Roue du mécanisme de sonnerie comptant le nombre de coups à frapper.	
Échappement	Dispositif distribuant l'énergie en impulsions régulières permettant au pendule d'osciller à période constante. Type Brocot supposé.	
Fourchette (mobile fourchette-échappement)	Pièce de l'échappement transmettant l'impulsion au pendule. Un bouchon en laiton avait été appliqué en butée sur cette fourchette (intervention antérieure identifiée).	
Suspension Brocot (type IV)	Dispositif de suspension du pendule breveté vers 1852 Permet de modifier la longueur effective du pendule sans démontage par une réglette de réglage.	
Pendule	Organe régulateur du mouvement horloger oscillant à période constante.	

Terme utilisé	Composant / emplacement dans l'objet	Couche concerné
Pivot	Sa longueur effective détermine la fréquence. Extrémité amincie d'un axe de roue, tournant dans un palier ou une pierre de la platine.	
Timbre / tige-timbre	Pièce sur laquelle frappe le marteau du mécanisme de sonnerie pour produire le signal sonore.	
Ressort de cliquet	Petit ressort empêchant le rochet de revenir en arrière lors du remontage.	
Mécanisme d'automates	Mécanisme indépendant du mécanisme horloger, animant le bateau et la baguette en verre. Comprend un barillet propre, un volant régulateur, et un système de transmission par poulies et cordes.	Substrat / mécanique
Barillet (mécanisme d'automates)	Barillet indépendant du mécanisme horloger, source d'énergie du mécanisme d'animation. Remontage manuel.	
Volant régulateur	Pièce rotative limitant la vitesse de dissipation de l'énergie du barillet d'automates par le frottement de ces ailettes. Peut être arrêté ou libéré manuellement pour contrôler le déclenchement du mécanisme.	
Mouvement de Paris	Type de mécanisme horloger standardisé, produit industriellement au XIX ^e siècle par des manufactures spécialisées (dont Vincenti & Cie).	

Terme utilisé	Composant / emplacement dans l'objet	Couche concerné
	Platines de forme carrée en laiton, fabrication par division du travail.	

Tableau 10 Nomenclature

Glossaire

Le glossaire est organisé en deux sections : termes de conservation-restauration et termes horlogers et matériaux. Les termes sont classés par ordre alphabétique au sein de chaque section. Les définitions sont adaptées au contexte de l'objet IV-913 ; les sources de référence sont indiquées en dernière colonne.

Termes de conservation-restauration, horlogerie et matériaux

Terme	Définition	Source
Altération	Modification physique, chimique ou mécanique d'un objet patrimonial affectant son intégrité, sa stabilité ou son aspect. Distinguée en deux sous-catégories : dégradation (processus actif en cours) et détérioration (résultat stabilisé d'un processus passé).	ICOM-CC, 2008
Automate	Dispositif mécanique reproduisant par son fonctionnement le mouvement d'un être vivant ou d'un phénomène naturel. Dans le présent mémoire, désigne le mécanisme d'animation indépendant animant le bateau et la baguette en verre.	Chapuis, 1984
Carton	<i>Feuille assez épaisse et rigide constituée de pâte à papier ou de feuilles de papier superposées. Un emballage de gros carton. Carton dur, épais. Carton léger, mince. Carton de collage, obtenu par superposition de feuilles de papier collées. Carton ondulé, constitué de cannelures enserrées entre deux feuilles de papier kraft.</i>	Dictionnaire de l'académie française

Terme	Définition	Source
Céruse/Blanc de plomb/Blanc d'argent	<i>Carton bitumé, imperméabilisé par un enduit de bitume.</i> Pigment blanc à base de carbonate de plomb, insoluble dans l'eau, toxique, traditionnellement utilisé dans les couches de préparation en peinture pour son fort pouvoir couvrant et sa siccativité.	Dictionnaire des matériaux du peintre
Clivage	Dans un assemblage par couches superposées, le clivage ou dédoublement est une séparation plus ou moins importante entre deux couches.	Europap
Composite (objet)	Objet patrimonial constitué de plusieurs matériaux ou composants de natures physico-chimiques distinctes, relevant de domaines techniques différents et pouvant imposer des exigences de conservation contradictoires.	Définition de travail, ce mémoire
Constat d'état	Document écrit ou électronique qui décrit en détail l'état d'un tableau et de son cadre d'après un examen minutieux.	ICC, 1993
Consolidation	Traitement visant à stabiliser ou renforcer la cohésion structurelle d'un matériau fragilisé, sans modifier son aspect de surface.	ICOM-CC, 2008
Diagnostic	Il a pour objectif d'établir les causes probables d'altération d'un bien, d'une collection ou d'un monument, à partir de la connaissance de ses matériaux constitutifs, de leur état et de leur environnement	FFCR
Diorama	Représentation en perspective associant un fond peint et des éléments tridimensionnels disposés dans un espace scénique, créant une illusion de profondeur. Dans le présent mémoire, désigne l'ensemble du décor tridimensionnel de l'objet.	Larousse ; ce mémoire

Terme	Définition	Source
Déchirure	Rupture aux bords irréguliers affectant un support souple ou malléable, sur toute son épaisseur, sous l'effet de chocs, ou de tensions latérales importantes.	Europap
Empoussièrement	Dépôt de particules solides en suspension dans l'air (poussières) sur les surfaces d'un objet, susceptible de favoriser des processus d'altération physico-chimiques.	ICOM-CC ; Ewaglos
Fonctionnement (remise en)	Restitution de la capacité d'un mécanisme patrimonial à effectuer le cycle opératoire pour lequel il a été conçu, dans le respect de l'intégrité matérielle de l'objet.	MIH, mandat ; ce mémoire
Infestation xylophage	Attaque d'un support bois par des insectes xylophages (capricornes, vrillettes, lyctus, etc.) se développant dans le bois, provoquant des galeries et un affaiblissement structurel.	CAMEO ; ICOM-CC
Lacune	Perte localisée de matière constitutive d'un objet patrimonial, visible en surface ou affectant l'épaisseur du matériau.	ICOM-CC, 2008
Lubrification	Application d'un lubrifiant en quantité minimale et ciblée sur les zones de contact mobile d'un mécanisme patrimonial, afin de réduire le frottement et l'usure sans provoquer de migration vers les matériaux adjacents.	FHS; ce mémoire
Mandat	Cadre institutionnel définissant les objectifs, les contraintes et les limites d'une intervention de conservation-restauration sur un objet patrimonial.	Définition de travail, ce mémoire
Objet composite à fonction mécanique	Objet patrimonial combinant plusieurs matériaux hétérogènes et intégrant un ou plusieurs mécanismes dont le fonctionnement	Définition de travail, ce mémoire

Terme	Définition	Source
Retouche	constitue une dimension de la valeur patrimoniale. Nouvelle peinture dont l'application est strictement limitée aux lacunes et aux endroits où la peinture d'origine du tableau montre de l'usure.	ICC
Retouche illusionniste	Technique de reintegration chromatique visant à rendre une lacune invisible à distance de vision normale, sans reconstitution totale et sans dépasser les bords de la lacune.	ICOM-CC
<i>Terminus post quem</i>	Date avant laquelle un objet ne peut pas avoir été fabriqué, déterminée par la présence d'un élément datable avec certitude (ici : suspension Brocot type IV, brevetée vers 1852).	Terminologie archéologique et historique
Vernis de finition	Couche de protection appliquée en surface d'une peinture ou d'un décor, modifiant l'aspect (brillance, saturation) et assurant une barrière partielle contre les agents d'altération. Dans ce mémoire : Laropal A81® (résine aldéhyde).	CAMEO ; ICOM-CC
XRF (fluorescence X)	La fluorescence des rayons X (XRF) est une technique analytique permettant d'identifier les éléments chimiques présents dans les matériaux de l'objet analysé. L'imagerie XRF réalise le balayage de la surface d'intérêt afin d'obtenir la distribution des éléments chimiques dans cette zone. (exemple ici : confirmation de l'alliage de zinc, détection de l'arsenic dans les couches picturales).	CRC, 2020
Barillet	Boîte cylindrique contenant le grand ressort en spirale, source d'énergie motrice d'un mécanisme horloger.	FHS dictionary (Berner) ; Europap

Terme	Définition	Source
Bronzine	Tout métal ou revêtement métallique imitant l'aspect du bronze ou de l'or. Par exemple : la peinture métallisée hollandaise et la peinture dorée.	CAMEO, 2022
Coq	Pièce fixée sur la platine arrière d'un mouvement horloger pour couvrir et soutenir l'échappement et l'organe régulateur (balancier ou pendule). Porte souvent l'identité du fabricant.	FHS dictionary (Berner)
Échappement	Dispositif horloger distribuant l'énergie du rouage en impulsions régulières entretenant les oscillations de l'organe régulateur (pendule ou balancier).	FHS dictionary (Berner) ;
Mouvement de Paris	Désigne un calibre d'horlogerie à rouages maintenus entre deux platines circulaires, développé collégialement par les maîtres horlogers parisiens vers 1750. Sa particularité réside dans ses proportions réduites, permettant son intégration dans des boîtiers décoratifs élaborés, tout en maintenant un niveau de qualité d'exécution qui en a fait la référence mondiale de l'horlogerie de moyen volume.	Chavigny et Fievez, 2012 ; ANCAHA
Pendule (organe régulateur)	Corps oscillant à période constante dont le mouvement régule la marche d'un mécanisme horloger. Distinct de la pendule (horloge de table ou murale).	FHS dictionary (Berner)
Platine	Pièce principale de l'armature d'un mouvement horloger, en laiton, portant les paliers des pivots des roues. Le mouvement de Paris en compte deux (avant et arrière).	FHS dictionary (Berner) ;

Terme	Définition	Source
Pivot	Extrémité amincie et polie d'un axe de roue, tournant dans un palier ménagé dans la platine ou dans une pierre.	FHS dictionary (Berner)
Rouage	Ensemble de roues dentées constituant la transmission d'un mécanisme horloger. Distingué en rouage de finissage (du barillet à l'échappement) et rouage de minuterie (des aiguilles).	FHS dictionary (Berner)
Sonnerie (mécanisme de)	Sous-ensemble du mouvement horloger déclenchant automatiquement la frappe d'un marteau sur un timbre ou une tige aux heures et demi-heures.	FHS dictionary (Berner)
Suspension Brocot	Dispositif de suspension du pendule d'une horloge, inventé par Achille Brocot, permettant de modifier la longueur effective du pendule (et donc la fréquence d'oscillation) sans démontage, par rotation d'une réglette. Le type IV est breveté vers 1852.	FHS dictionary (Berner)
Tableau-horloge à automates	Objet composite associant une composition picturale (peinture sur panneau), un mécanisme horloger (indication de l'heure, sonnerie) et un ou plusieurs dispositifs mécaniques d'animation. Appellation retenue dans ce mémoire venant de l'appellation Museum+ de l'objet. Autres dénominations attestées dans les sources du XIX ^e siècle : tableau mécanique, pendule à tableau, tableau mouvant.	Chapuis, 1984 ; Chavigny, Fievez, 2007 ; ce mémoire
Volant régulateur	Pièce rotative limitant la vitesse de dissipation de l'énergie du barillet du mécanisme d'automates, agissant comme frein inertiel. Sur	FHS dictionary (Berner) ; ce mémoire

Terme	Définition	Source
Arsenic (pigments arsenicaux)	l'IV-913, il peut être arrêté ou libéré manuellement de l'extérieur. Élément chimique présent dans plusieurs pigments du XIX ^e siècle. Détecté par XRF dans les couches picturales de l'objet (6 à 10 %). Source identifiée : pigments verts (vert de Paris / vert de Scheele). Nécessite des précautions lors des manipulations (masque FFP2, gants).	CAMEO
Laropal A81®	Résine aldéhyde de condensation synthétique utilisée comme vernis et comme liant de retouche. Indice de réfraction adapté aux surfaces peintes	CAMEO ; Fiches techniques
Plexigum PQ611®	Résine acrylique utilisée comme consolidant, comblement et comme liant de retouche.	CAMEO ; Fiches techniques
Vert de Paris / vert de Scheele	Pigments verts arsenicaux couramment utilisés au XIX ^e siècle. Le vert de Scheele est un arsenite de cuivre ; le vert de Paris (vert émeraude) est un acéto-arsenite de cuivre. Tous deux présentent une toxicité aiguë par inhalation ou ingestion.	CAMEO
Zinc (alliage de)	Alliage métallique à base de zinc constituant le support de la peinture de l'objet. Identifié par XRF (Schenkel, 2026).	Ce mémoire

Tableau 11 Glossaire

Liste des abréviations

Abréviation	Signification
EDTA	Acide Éthylène Diamine Tétracétique
MIH	Musée internationale d'horlogerie
MuAM	Musée des Arts et Métiers

Abréviation	Signification
MEB-EDS	Microscope électronique à balayage spectroscopie à dispersion d'énergie
XRF (ou FRX en anglais)	Spectrométrie de fluorescence des rayons X
FTIR (ou IRTF en anglais)	Spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier
ANCAHA	Association National des Collectionneurs et Amateurs d'Horlogerie Ancienne
AFAHA	Association Française des Amateurs d'Horlogerie Ancienne
HE-Arc CR	Haute Ecole Arc Conservation-Restauration
HES-SO	Haute Ecole spécialisée de Suisse occidentale
AE	Emission Acoustique
UV	Ultraviolette

Tableau 12 Abréviations

Sources de référence pour la nomenclature et le glossaire

Les définitions du présent document s'appuient sur les ressources terminologiques de référence suivantes. Pour les termes horlogers, la priorité a été donnée au dictionnaire FHS (Fédération de l'industrie horlogère suisse), corpus de référence en horlogerie patrimoniale. Pour les termes de conservation-restauration, le vocabulaire ICOM-CC, CAMEO et les ressources du portail Europap constituent les sources principales.

Terminologie horlogère

ASSOCIATION NATIONALE DES COLLECTIONNEURS ET AMATEURS D'HORLOGERIE ANCIENNE ET D'ART (ANCAHA). *La pendule de Paris et sa cadette, la pendulette de voyage* [bulletin hors-série]. 2e éd. Paris : ANCAHA, 2012.

Dictionnaire FHS / Berner (Fédération de l'industrie horlogère suisse) : <https://dictionary.fhs.swiss/?l=>.
Corpus terminologique multilingue de référence pour l'horlogerie.

Europap, Vocabulaire général de la conservation-restauration (portail national des métiers d'art et du patrimoine) : <https://europap.inp.fr/vocabulaire-general>. Inclut une section horlogerie.

ANCAHA, Bulletin d'information (Chavigny, 2004 ; Krieg, 1991) ; AFAHA (Ginestet, 1993) : sources primaires pour la terminologie des tableaux mécaniques.

Terminologie de conservation-restauration

ICOM-CC, Terminologie pour la conservation-restauration du patrimoine culturel matériel, 2008 : document de référence du Conseil international des musées.

INSTITUT CANADIEN DE CONSERVATION (ICC). Constat d'état pour les tableaux. Partie I : Introduction.

Notes de l'Institut canadien de conservation, note 10/6 [en ligne]. Ottawa : ICC, 2017. [consulté le 23 juin 2026]. Disponible à l'adresse : <https://www.canada.ca/fr/institut-conservation/services/publications-conservation-preservation/notes-institut-canadien-conservation/constat-etat-tableaux-introduction.html>

INSTITUT CANADIEN DE CONSERVATION (ICC). Constat d'état pour les tableaux. Partie III : Glossaire.

Notes de l'Institut canadien de conservation, note 10/11 [en ligne]. Ottawa : ICC, 2017. [consulté le 23 juin 2026]. Disponible à l'adresse : <https://www.canada.ca/fr/institut-conservation/services/publications-conservation-preservation/notes-institut-canadien-conservation/constat-etat-tableaux-glossaire.html>

Europap, Vocabulaire général : <https://europap.inp.fr/vocabulaire-general>.

CAMEO (Conservation and Art Materials Encyclopedia Online), Museum of Fine Arts Boston :

http://cameo.mfa.org/wiki/Main_Page. Encyclopédie des matériaux de conservation et d'art.

CENTRE DE RECHERCHE SUR LA CONSERVATION (CRC). Spectro-imageur de fluorescence des rayons X [en ligne]. Paris : CRC, CNRS-MNHN-Ministère de la Culture, s. d. [consulté le 23 juin 2026]. Disponible à l'adresse : <https://crc.mnhn.fr/fr/spectro-imageur-de-fluorescence-des-rayons-x-9016>

Ewaglos, Glossaire européen illustré multilingue des principaux termes de la conservation des peintures murales et des surfaces architecturales : <http://openarchive.icomos.org/id/eprint/1706/>.

FÉDÉRATION FRANÇAISE DES PROFESSIONNELS DE LA CONSERVATION-RESTAURATION (FFCR).

L'abécédaire de la conservation-restauration [en ligne]. Paris : FFCR, 2025. [consulté le 23 juin 2026]. Disponible à l'adresse : <https://ffcr.fr/wp-content/uploads/2025/07/abcWeb.pdf>

Glossaire illustré des formes d'altération de la pierre, ICOMOS :

<http://openarchive.icomos.org/id/eprint/434/>. Version franco-anglaise.

PEREGO, François, 2005. Dictionnaire des matériaux du peintre. Paris : Belin. 895 p. ISBN 978-2-7011-2135-2.

Préserv'Art, Centre de conservation du Québec : <https://preservart.ccg.gouv.qc.ca/LexiqueResult.aspx>.
Lexique de conservation-restauration.

Terminologie des matériaux spécifiques

Schenkel, T., 2026, Rapport d'analyse XRF (Annexe B) : source primaire pour la caractérisation des alliages métalliques et la détection de l'arsenic.

Passaretti, A., 2026, Rapport d'analyse de la bronzine : source primaire pour la caractérisation des liants de la bronzine (polyuréthane, gomme laque).

Fiches techniques produits : Laropal A81® (Kremer Pigmente), Plexigum PQ611® (Röhm GmbH), gamme Moebius (références 9010, 9104, 9415, 9501). Disponibles en Annexe E.

Ressources complémentaires (reliure, papier, conservation des livres)

Roberts, M. T. et Etherington, D., Bookbinding and the conservation of books :

<https://cool.culturalheritage.org/don/don.html>. Dictionnaire de référence pour la terminologie de la reliure et de la conservation des livres.

Glossaire de la reliure (franco-anglais / anglo-français), Association Les amis de la reliure d'art du Canada :

http://www.aracanada.org/references_glossaire_fr.html.

Muzerelle, D., 1985, Vocabulaire codicologique : répertoire méthodique des termes français relatifs aux manuscrits : <http://codicologia.irht.cnrs.fr/>. Réalisé dans le cadre de l'IRHT (CNRS).

ACADÉMIE FRANÇAISE, 2024. In : *Dictionnaire de l'Académie française* [en ligne]. 9e éd. Paris : Académie française. [Consulté le 17 juillet 2026]. Disponible à l'adresse : <https://www.dictionnaire-academie.fr>

Note d'usage

Les définitions données dans ce glossaire sont adaptées au contexte de l'objet et de la démarche de conservation-restauration documentée dans le présent mémoire. Pour les termes horlogers, la source de référence principale est le dictionnaire FHS ; en cas de divergence entre sources, la définition retenue est celle qui correspond le mieux à l'usage attesté dans la littérature spécialisée consultée. Les termes non couverts par les ressources citées ont fait l'objet d'une définition de travail propre à ce mémoire, signalée comme telle.

Annexe B : Protocoles analytiques et résultats détaillés

Spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier (FTIR-ATR)

Analyses réalisées par : Arianna Passaretti (APA, Haute Ecole Arc)

Appareil : Thermo Scientific Nicolet iN10MX -- Mode ATR, plage 4000-675 cm^{-1} , résolution 4 cm^{-1} , 64 scans -- Logiciel : Thermo Scientific OMNIC

Six microéchantillons prélèvement ont été analysés. Les spectres ont été confrontés à la bibliothèque de référence OMNIC. La limite de détection est d'environ 5 % pour l'ensemble des composants.

Plusieurs tentatives d'analyse en mode réflectance directe sur une zone noire de l'artefact n'ont pas permis d'obtenir des spectres diagnostiques exploitables (opacité et couleur sombre de la surface).

La spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier repose sur l'absorption du rayonnement infrarouge par les liaisons chimiques d'un matériau, chaque liaison absorbant à des fréquences caractéristiques qui produisent une empreinte moléculaire. En mode ATR (réflectance totale atténuée), l'échantillon est mis au contact d'un cristal ; l'analyse nécessite un micro-prélèvement et reste donc invasif. Le FTIR est une méthode qualitative d'identification des composés, adaptée aux matériaux organiques (liants, résines, vernis, adhésifs) ainsi qu'à certains composés inorganiques et produits d'altération. Complémentaire du XRF, elle en

précise la forme chimique : la première indique quels éléments sont présents, la seconde sous quelle forme moléculaire.

Tableau synthétique des identifications FTIR

N° éch.	Localisation	Matériaux identifiés	Référence bibliothèque OMNIC
Alice_1	Plaque zinc métal peint	Céruse (carbonate de plomb basique) ; cellulose	<i>Cérussite ; Cellulose</i>
Alice_2	Bronzine du cadre doré	Matériau à base de polyuréthane (liant de la bronzine) ; kaolinite (charge minérale)	<i>Polyurethane-based material ; Kaolinite</i>
Alice_3	Coulures blanches sur bronzine du cadre	Carbonate de calcium ; cellulose (fibres de papier)	<i>Calcium Carbonate ; Cellulose</i>
Alice_4	Papier des vagues (décor 3D)	Carbonate de calcium ; acétate de polyvinyle (probable encollage/adhésif)	<i>Calcium Carbonate ; Poly(vinyl acetate)</i>
Alice_5	Adhésif blanc (décor 3D)	Carbonate de calcium ; acétate de polyvinyle (spectre identique à Alice_4)	<i>Calcium Carbonate ; Poly(vinyl acetate)</i>
Alice_6	Adhésif transparent liseré et décor 3D	Résine époxyde réticulée	<i>Epoxy resin (cured)</i>

Tableau 13 Identifications des échantillons au FTIR

Spectres FTIR rapports Passaretti 2026

Les spectres présentent, pour chaque échantillon, le spectre mesuré (rouge, cyan) superposé aux références bibliothèques les plus proches (bleu, vert). L'axe des ordonnées exprime l'absorbance ; l'axe des abscisses les nombres d'onde (cm⁻¹).

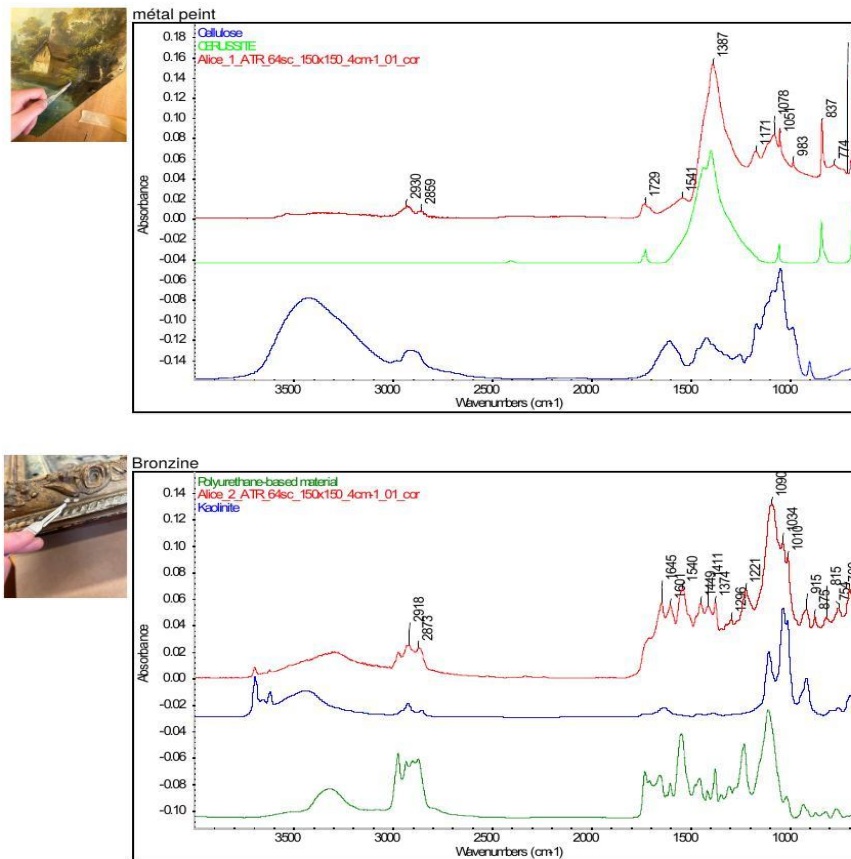


Fig. FTIR-1 : Alice_1 (metal point) identification cerussite et cellulose ; Alice_2 (bronzine du cadre) -- identification polyurethane et kaolinite.
 Source : Passaretti 2026, rapport FTIR.

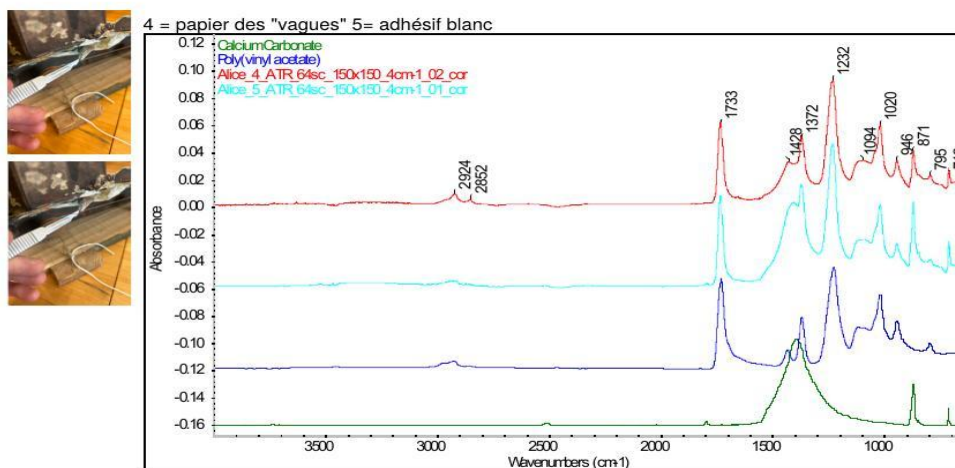
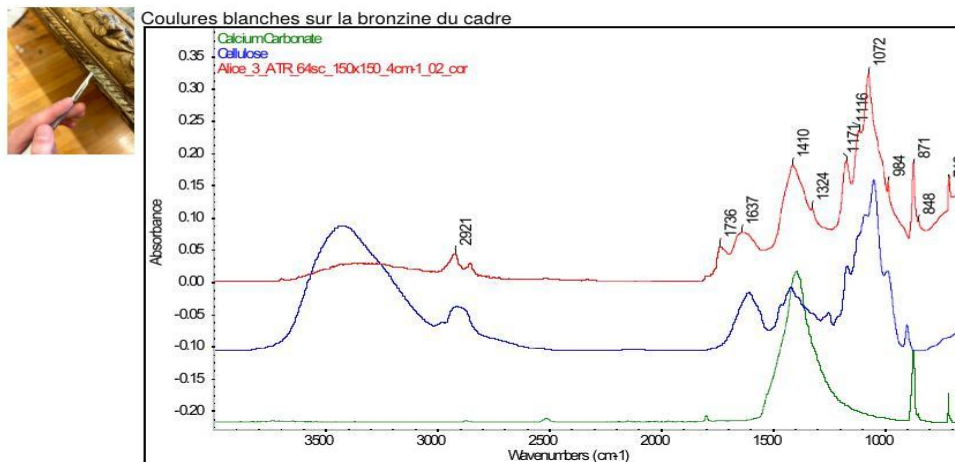


Fig. FTIR-2 : Alice_3 (coulures blanches sur bronzine) -- carbonate de calcium et cellulose ; Alice_4 (papier des vagues) et Alice_5 (adhésif blanc) -- carbonate de calcium et poly(acétate de vinyle). Source : Passaretti 2026, rapport FTIR.

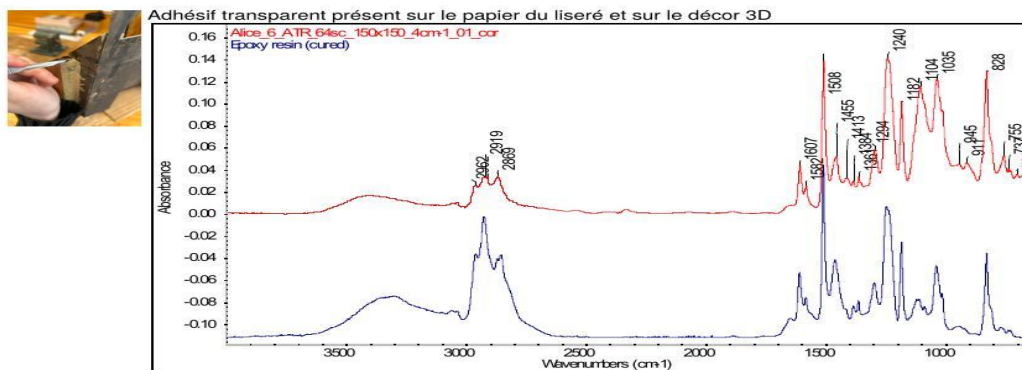


Fig. FTIR-3 : Alice_6 (adhésif transparent du liseré et du décor 3D) -- identification résine époxyde réticulée. Source : Passaretti 2026, rapport FTIR.

Fluorescence X (FRX portable)

Analyses réalisées par : Tobias Schenkel (Haute Ecole Arc)

Appareil : FRX portable handheld -- Modes : Mining (couches picturales, cadre, alliage Zn/Pb) et General Metals (identification d'alliages métalliques) -- Durée de mesure : 50-65 s par point

La spectrométrie de fluorescence des rayons X est une méthode d'analyse élémentaire non invasive et non destructive. Un faisceau de rayons X excite les atomes du matériau, qui émettent en retour un rayonnement de fluorescence dont l'énergie est caractéristique de chaque élément chimique. En version portable, l'appareil est amené au contact de l'objet, sans prélèvement ni préparation. La technique fournit une information qualitative, l'identification des éléments présents, avec une estimation semi-quantitative de leurs proportions relatives. Elle renseigne sur les éléments chimiques, non sur les composés dans lesquels ils sont combinés, et s'applique principalement aux matériaux inorganiques

Note: les valeurs obtenues par FRX portable (mode Mining) sont des concentrations massiques approximatives (% masse). La technique FRX portable présente une limite de détection d'environ 0,1 % et une incertitude relative de l'ordre de 2 à 5 % pour les éléments majoritaires. Les valeurs sont données avec leur incertitude +/- 2 sigma telle qu'affichée par le logiciel de l'appareil. La mention "n.d." indique un élément non détecté ou inférieur au seuil de détection. La mention "Bal" désigne la fraction estimée par différence pour un total de 100 %.

Mesures en mode Mining -- couches picturales et alliage Zn/Pb

Le mode Mining est adapté à la détection et semi-quantification d'éléments traces et majeurs dans des matériaux de composition mixte (couches picturales, alliages zinc/plomb). Il permet ici de caractériser la composition élémentaire des pigments et de l'alliage constitutif de la plaque peinte.

N° mes.	Localisation	Photo localisation	Zn (%)	Pb (%)	As (%)	Ba (%)	Sn (%)	Autres éléments notables
#1195	Plaque zinc - coin droit (fond/prepa)		0,8 +/- 0,025	57,5 +/- 0,6	4,1 +/- 0,1	5,0 +/- 0,2	8,8 +/- 0,1	Bal 22,7 ; Ca 0,20 ; Bi 0,20 ; Nb 0,16 ; K 0,14 ; Sr 0,14 ; Mn 0,13 ;
#1192	Plaque zinc - zone nu		48,2 +/- 0,6	30,1 +/- 0,4	2,1 +/- 0,1	0,85 +/- 0,04	n.d.	Ca 17,9 +/- 0,2 ; Cl 0,07 ; Nb 0,08 ; K 0,13 ; Cl 0,07
#1191	Plaque zinc - paysage (vegetation)		4,0 +/- 0,1	67,8 +/- 1,1	10,0 +/- 0,2	6,5 +/- 0,2	n.d.	Cu 3,61 +/- 0,09 ; Si 1,05 ; Cl 1,71 ; K 0,64 ; Cr 0,63 ; Al 0,56 ; Fe 0,45

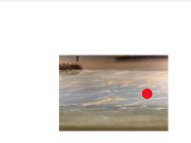
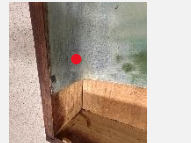
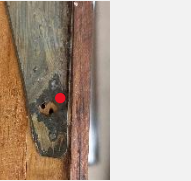
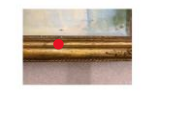
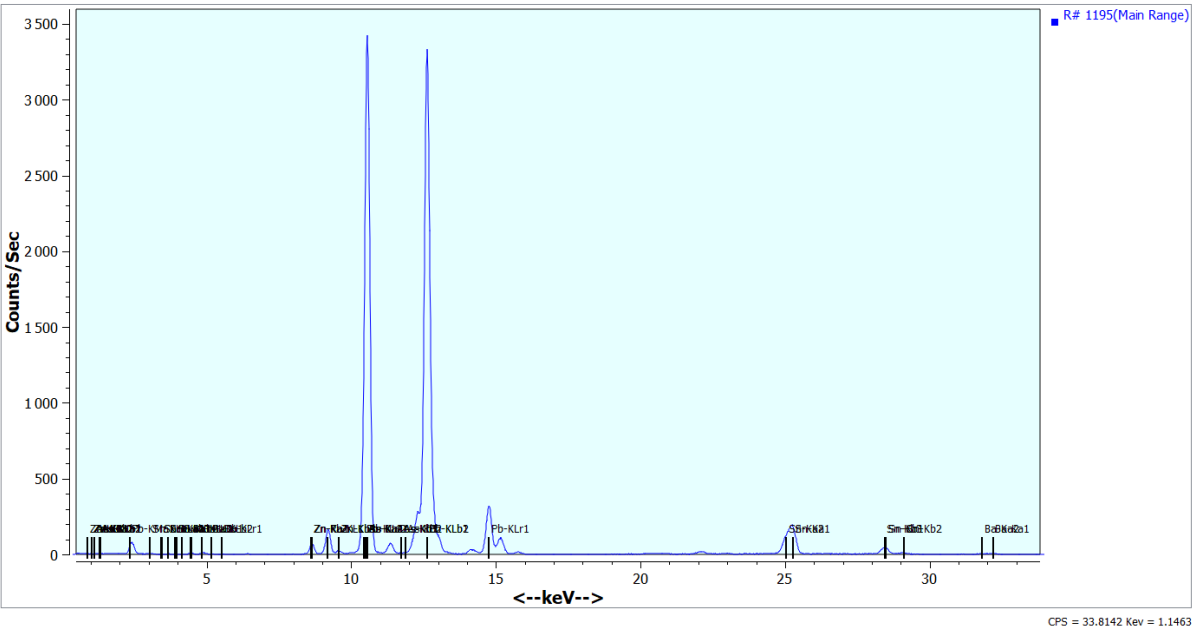
N° mes.	Localisation	Photo localisation	Zn (%)	Pb (%)	As (%)	Ba (%)	Sn (%)	Autres éléments notables
#1190	Plaque zinc - mer		13,0 +/- 0,3	72,2 +/- 1,7	7,8 +/- 0,3	4,5 +/- 0,2	n.d.	Si 0,77 +/- 0,06 ; Bi 0,36 ; Sr 0,01 ; Pb 72,24 ; Au 0,169
#1189	Plaque zinc - ciel		2,3 +/- 0,1	82,9 +/- 1,7	6,8 +/- 0,1	5,8 +/- 0,1	n.d.	P 0,207 ; Bi 0,25 ; Si 0,36 ; Sr 0,07
#1188	Plaque zinc - préparation		33,6 +/- 0,3	54,4 +/- 0,6	6,4 +/- 0,2	2,8 +/- 0,1	n.d.	Sr 0,18 ; Bi 0,19 ; Ti 0,23 ; Ba 2,83 ; Zn 6,37
#1187	Plaque zinc - zone verte		24,7 +/- 0,5	60,5 +/- 1,1	7,3 +/- 0,2	3,6 +/- 0,2	n.d.	Al 0,878 +/- 0,043 ; Si 1,05 ; Ca 0,27 ; K 0,26 ; Ba 3,59
#1186	Plaque zinc extrémité droite - zone sans peinture ou couche de préparation		23,4 +/- 0,04	0,2 +/- 0,005	n.d.	n.d.	n.d.	Bal 74,6 +/- 0,44 ; Si 0,758 ; Fe 0,099 ; Cl 0,204 ; Al 0,146
#1185	Cadre - bordure fleurie		1,98 +/- 0,014	0,612 +/- 0,007	n.d.	n.d.	n.d.	Bal 72,7 +/- 0,5 ; Cu 17,1 +/- 0,04 ; Ca 1,90 ; Si 0,966 ; Au 0,156 ; Pb 0,612 ; K 0,283 ; S 0,700
#1184	Cadre - avant bordure		n.d.	0,41 +/- 0,005	n.d.	n.d.	n.d.	S 0,330 ; Si 0,177 ; Au 0,137 ; Mn 0,117 ; K 0,112 ; Fe 0,071 ; Cr 0,043
#1183	Cadre - bord lisse		2,82 +/- 0,018	1,05 +/- 0,010	n.d.	n.d.	n.d.	Bal 71,1 +/- 0,5 ; Cu 19,9 +/- 0,046 ; Cl 2,47 ; S 0,454 ; Al 0,454 ; Si 0,348 ; Au 0,114 ; K 0,18
#1182	Cadre - bord extérieur		2,08 +/- 0,016	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	Bal 73,7 +/- 0,5 ; Cu 17,0 +/- 0,041 ; S 0,657 ; Pb 0,446 ; K 0,373 ; Fe 0,198 ; Au 0,137 ; Mn 0,065

Tableau 14 Analyses XRF en mode mining

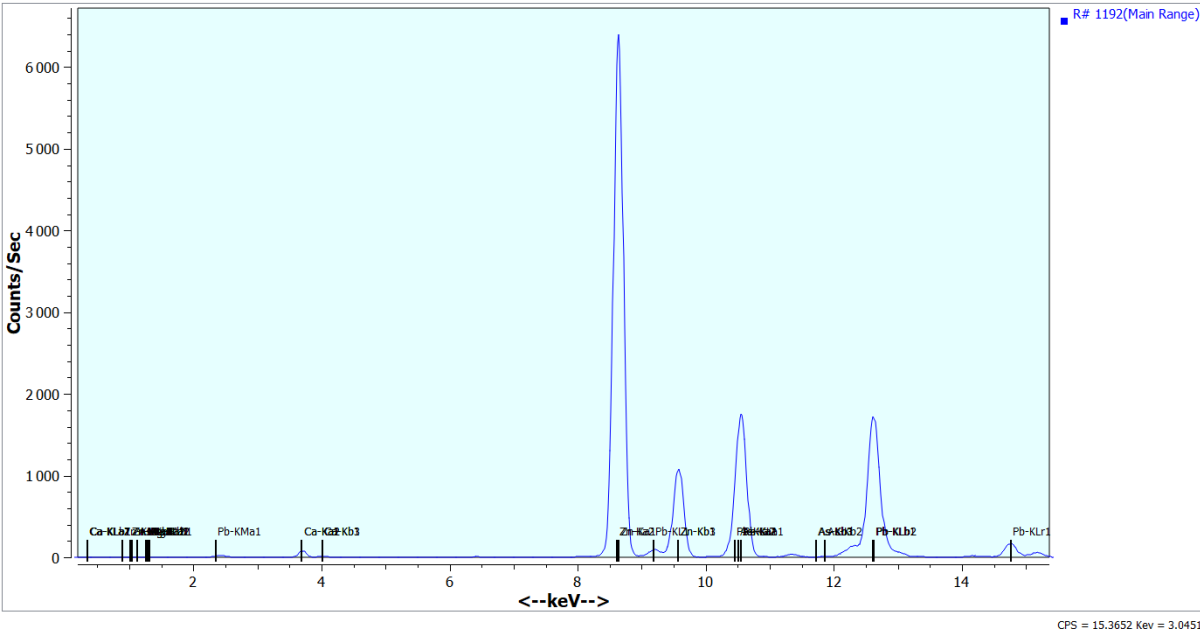
Spectres FRX Résultats

Mesure #1195 -- Plaque zinc, coin droit (fond/prepa)



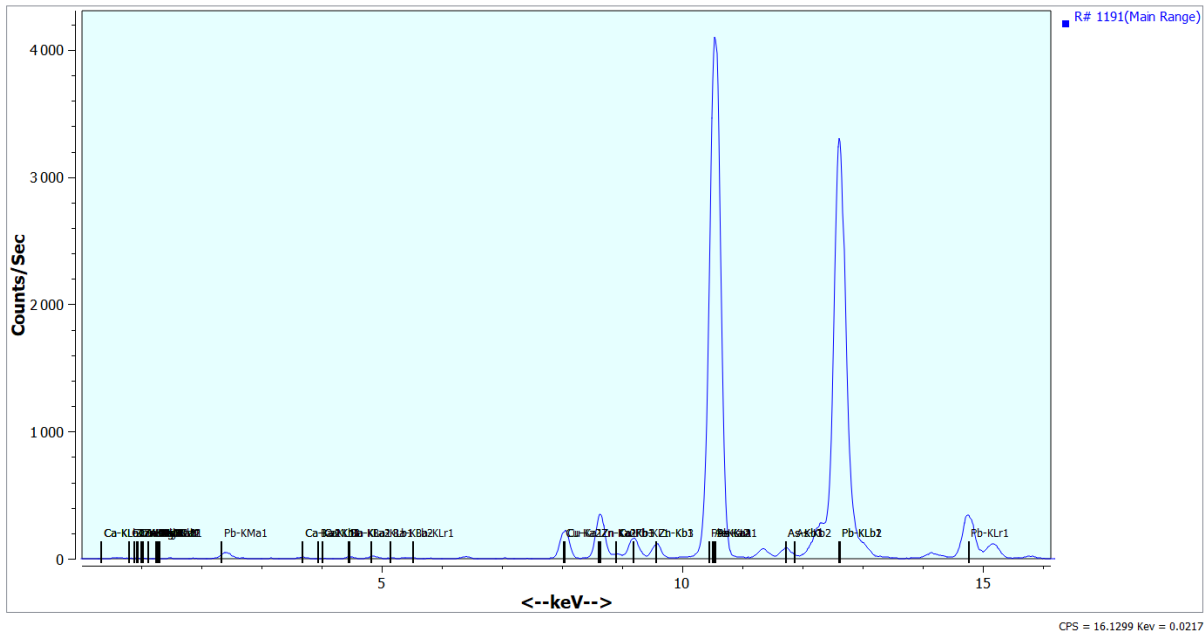
Spectre FRX Mesure #1195 -- Plaque zinc, coin droit (fond/prepa)

Mesure #1192 -- Plaque zinc, paysage



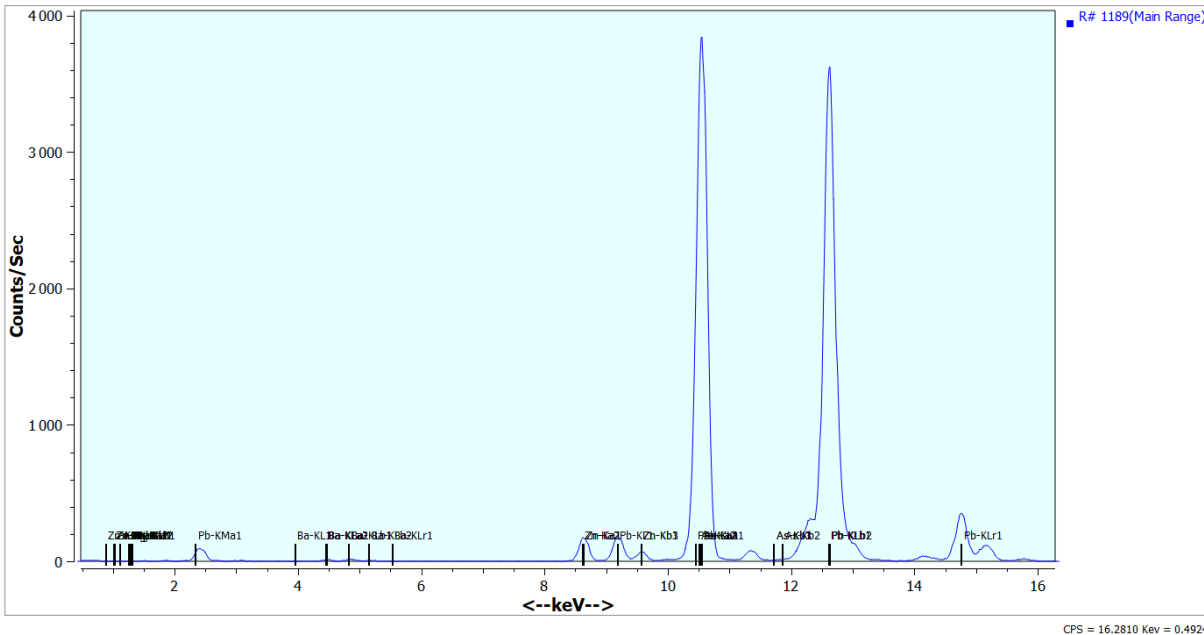
Spectre FRX — Mesure #1192 -- Plaque zinc, paysage

Mesure #1191 -- Plaque zinc, zone claire



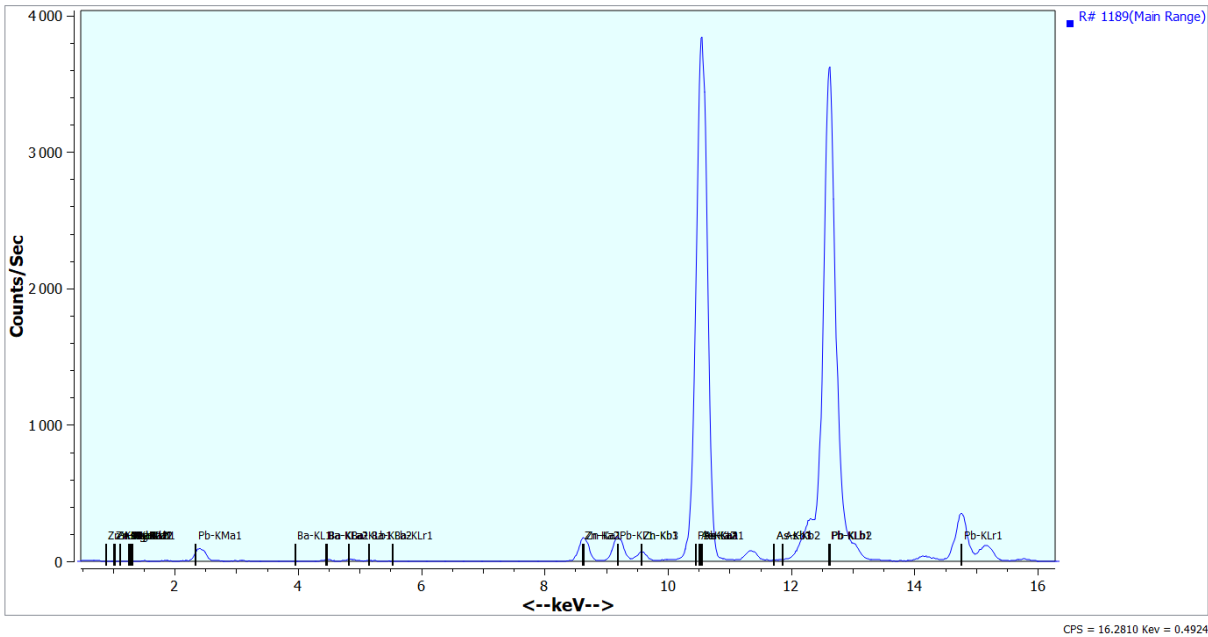
Spectre FRX — Mesure #1191 -- Plaque zinc, zone chair / haut nu

Mesure #1190 -- Plaque zinc, mer



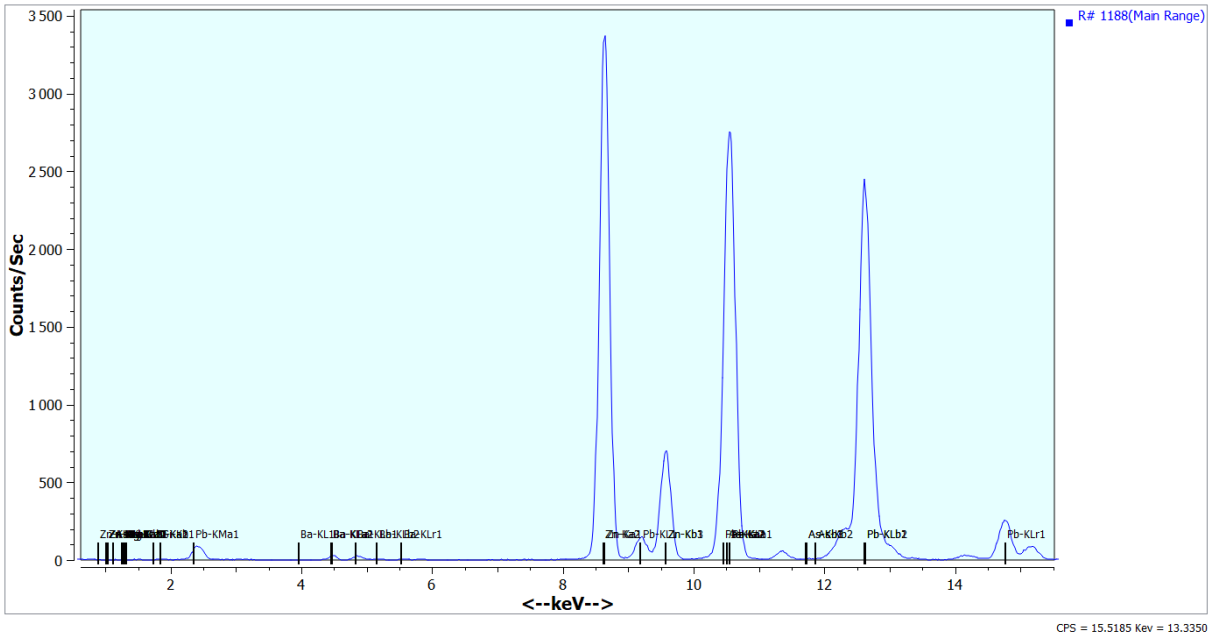
Spectre FRX — Mesure #1190 -- Plaque zinc, mer

Mesure #1189 -- Plaque zinc, ciel



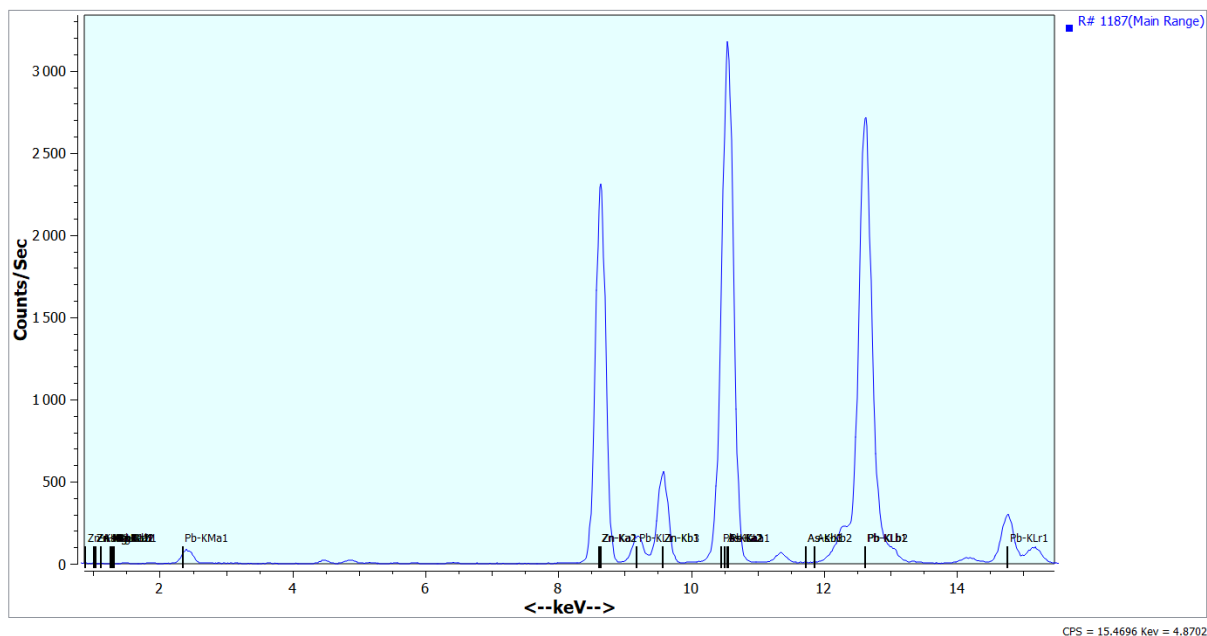
Spectre FRX — Mesure #1189 -- Plaque zinc, ciel

Mesure #1188 -- Plaque zinc, preparation (fond a nue)



Spectre FRX — Mesure #1188 -- Plaque zinc, preparation (fond a nue)

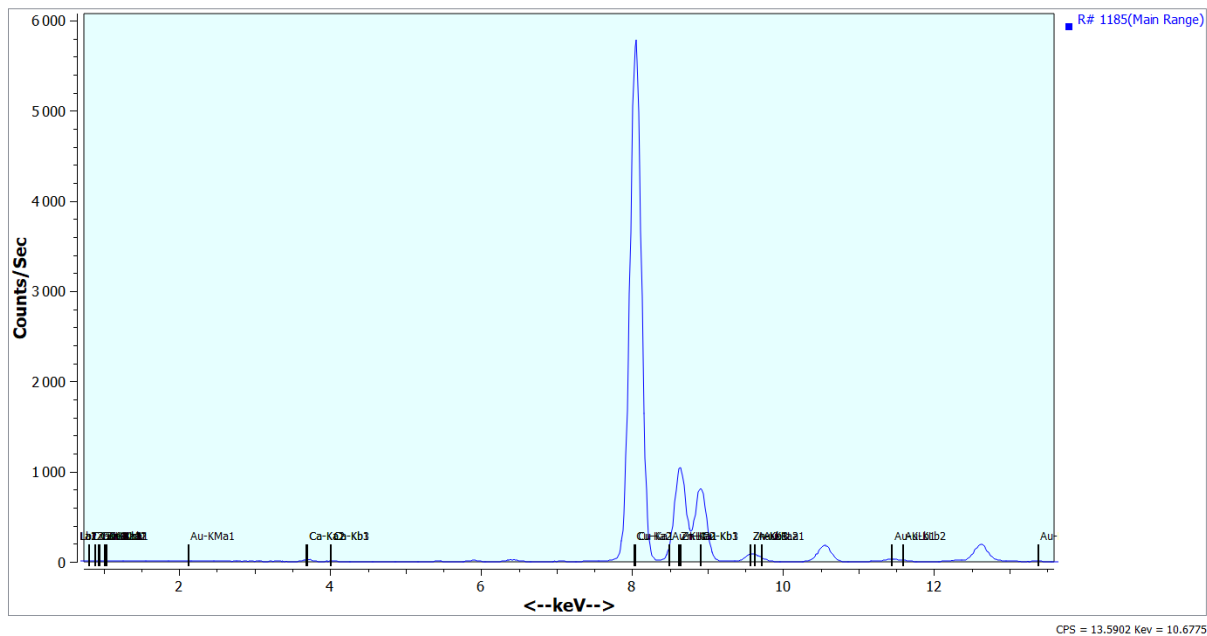
Mesure #1187 -- Plaque zinc, zone verte



Spectre FRX — Mesure #1187 -- Plaque zinc, zone verte

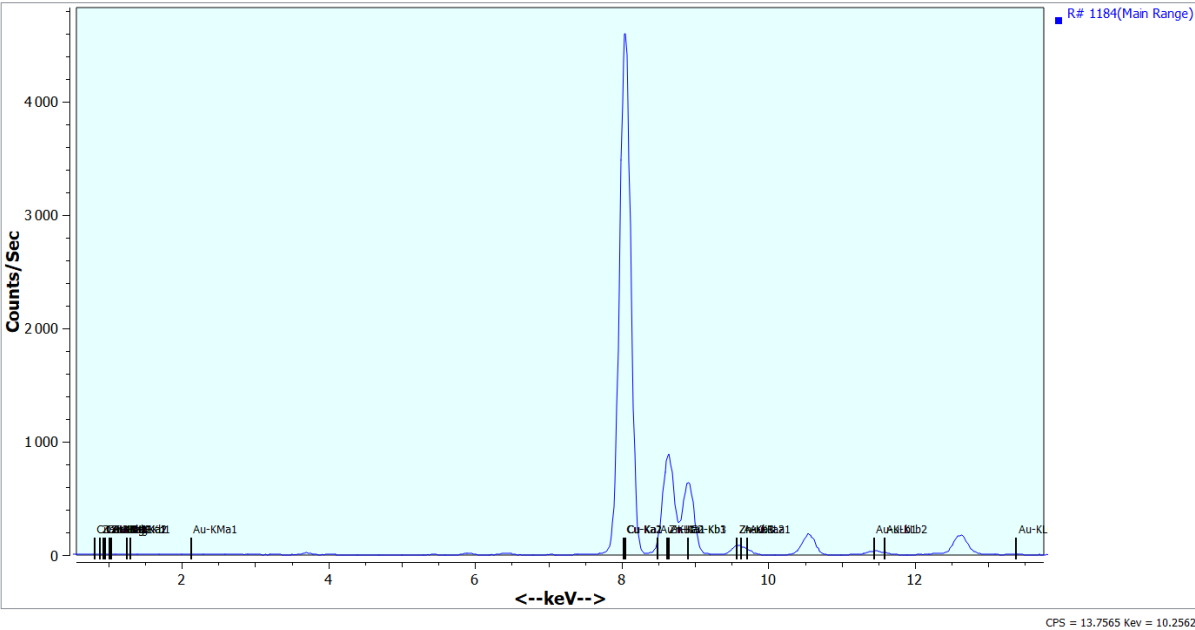
Spectres FRX et spectre de résultats -- cadre doré

Mesure #1185 -- Cadre, bordure fleurie



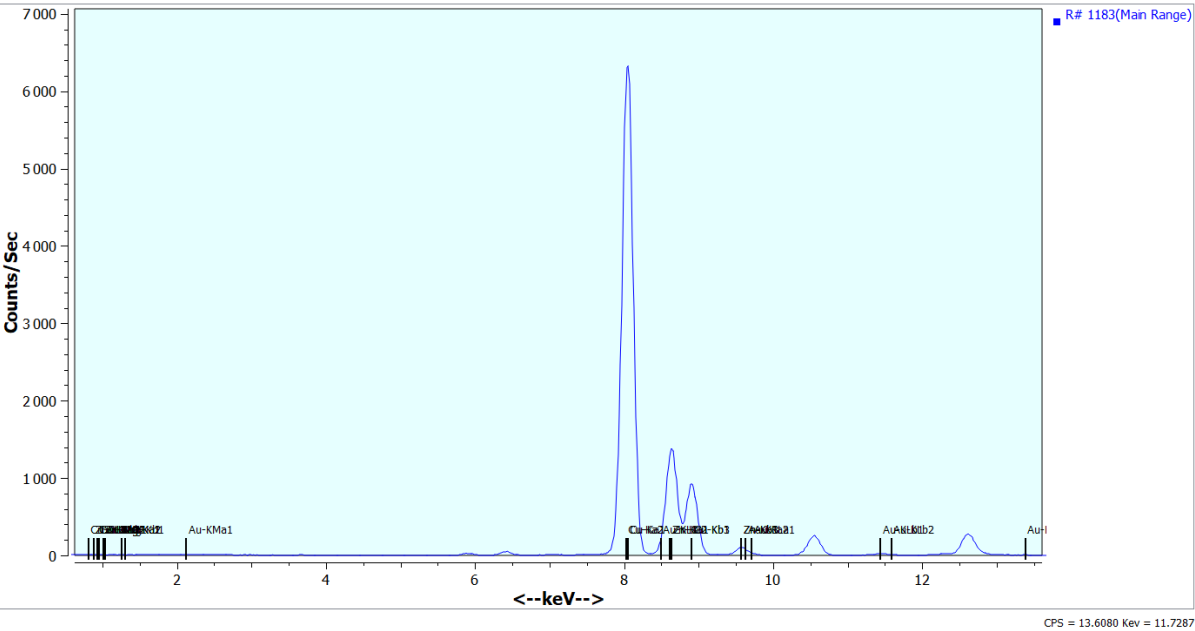
Spectre FRX — Mesure #1185 -- Cadre, bordure fleurie

Mesure #1184 -- Cadre, avant bordure



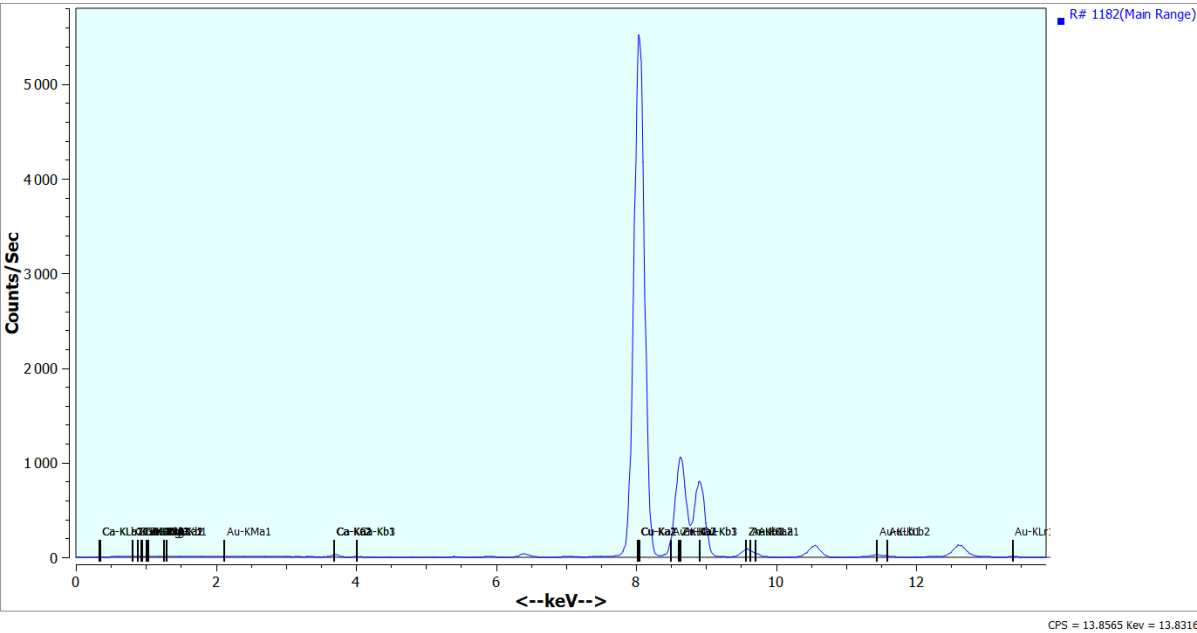
Spectre FRX — Mesure #1184 -- Cadre, avant bordure

Mesure #1183 -- Cadre, bord lisse



Spectre FRX Mesure #1183 -- Cadre, bord lisse

Mesure #1182 -- Cadre, bord extérieur



Spectre FRX Mesure #1182 -- Cadre, bord exterieur

Mesures en mode General Metals -- identification d'alliages métalliques

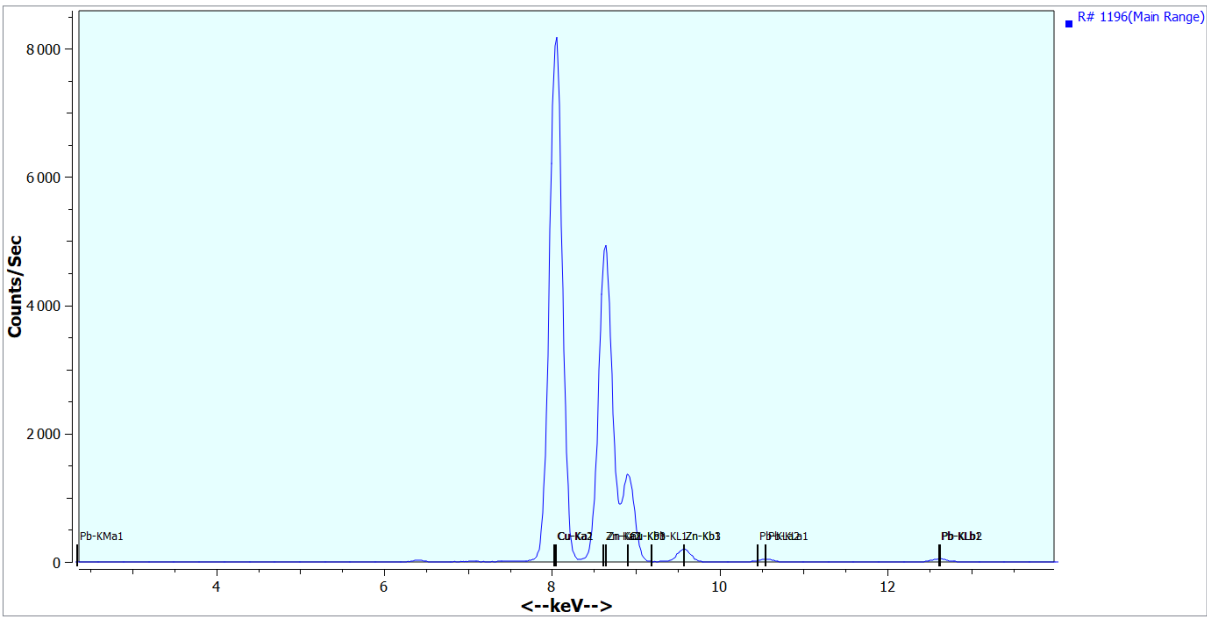
Le mode General Metals permet l'identification et la semi-quantification des éléments constituant des alliages métalliques homogènes. Il est ici appliqué à la platine du mécanisme horloger (laiton) et à la plaque de fond en fer (liseré). Les éléments légers (C, O) ne sont pas détectables par FRX portable.

N° mes.	Localisation	Photo localisation	Identification alliage	Cu (%)	Zn (%)	Fe (%)	Sn (%)	Autres
#1196	Platine du mécanisme horloger		C332PbBs (laiton plombifere)	67,2 +/- 0,1	30,6 +/- 0,1	0,18 +/- 0,01	0,42 +/- 0,02	Pb 1,43 +/- 0,04 ; Ni 0,035 ; Cr 0,037
#1197	Plaque fond / liseré (fer)		No Match (fer étamé)	n.d.	n.d.	82,4 +/- 0,2	9,2 +/- 0,1	Al 2,6 +/- 0,2 ; Si 2,2 +/- 0,1 ; Co 1,5 ; S 1,0 ; P 0,27

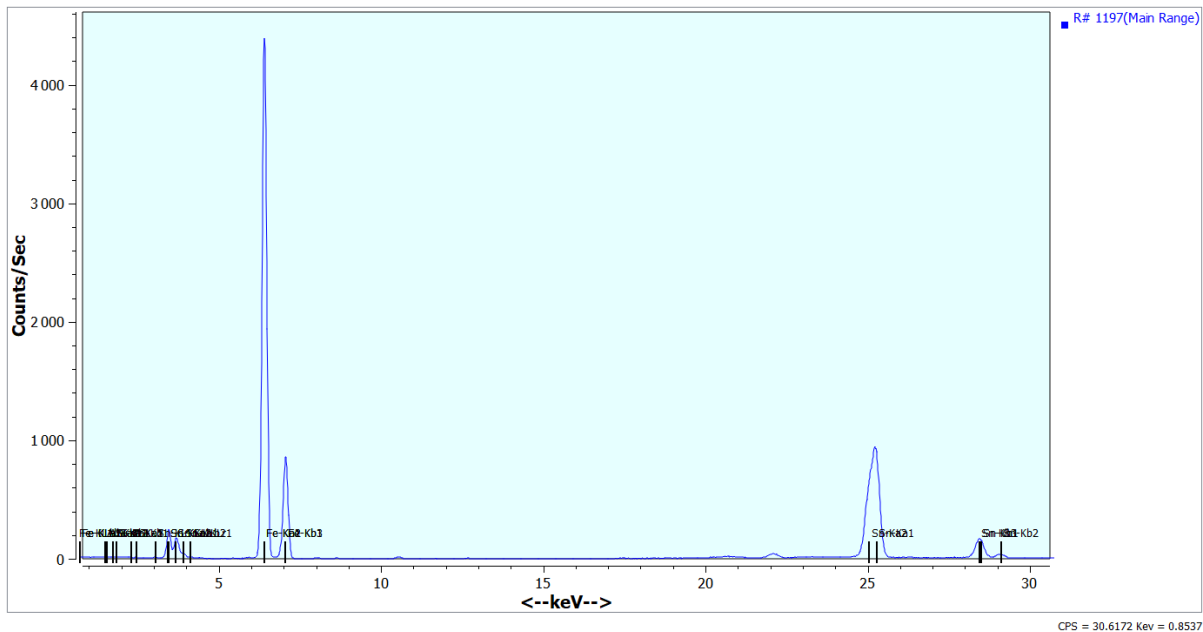
Tableau 15 Analyse XRF en mode general metals

Spectres FRX Résultats -- mode General Metals

Mesure #1196 -- Platine du mécanisme (laiton)



Mesure #1197 -- Plaque en fer (liseré / fond)



Lumière ultraviolette

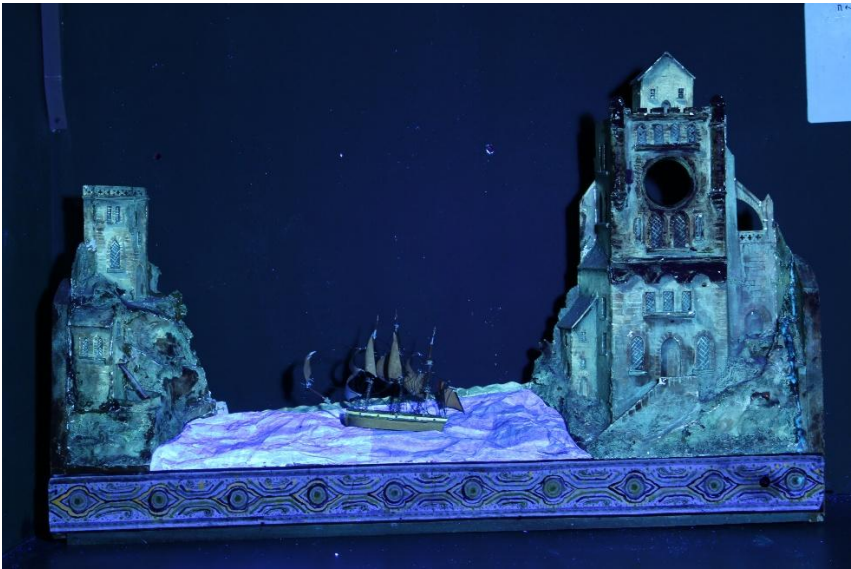
L'observation sous rayonnement ultraviolet (UV) est une méthode d'examen non invasive et non destructive. Elle permet de mettre en évidence des informations qui ne sont pas perceptibles sous éclairage visible, notamment la présence de vernis, de retouches, de matériaux de restauration, d'altérations de surface ou encore de certains produits de dégradation.

Deux domaines du rayonnement ultraviolet sont principalement utilisés :

- Les UV à grandes longueurs d'onde (UV-A, environ 320–400 nm) sont les plus employés. Ils provoquent la fluorescence de nombreux matériaux présents dans les œuvres patrimoniales. Cette fluorescence résulte de l'absorption du rayonnement ultraviolet, suivie de la réémission d'une partie de l'énergie sous forme de lumière visible. La couleur, l'intensité et la répartition de cette fluorescence peuvent fournir des indications sur la nature des matériaux ou leur état de conservation.
- Les UV à courtes longueurs d'onde (UV-C, environ 100–280 nm) peuvent révéler certains matériaux qui ne présentent pas de fluorescence sous UV-A ou permettre d'observer des phénomènes de luminescence différents. En raison de leur pouvoir énergétique élevé, leur utilisation nécessite des précautions particulières afin de limiter les risques pour l'opérateur et les objets étudiés.

L'interprétation des observations réalisées sous ultraviolet doit demeurer prudente. Une même couleur de fluorescence peut être produite par plusieurs matériaux différents. Un même matériau peut présenter des réponses variables selon sa composition, son vieillissement, son épaisseur, la présence de contaminants ou les traitements antérieurs.

Les tableaux suivants présentent les principales couleurs de fluorescence observées pour différents composant de l'objet. Ils sont suivis des réglages de l'appareil photos utilisé, l'interprétation dans le corps de texte du mémoire et les indications présentes ici sont principalement fondées d'après la synthèse proposée par l'Australian Institute for the Conservation of Cultural Material (AICCM).

Longueur d'onde	Localisation	Photo
250nm	Décor - global	
250nm	Décor revers - global	
250nm	Objet -global sans décor	

Longueur d'onde	Localisation	Photo
		
250nm	Détail cadre – bas gauche	
250nm	Détail revers décor - poulie chute d'eau	

Tableau 16 Photos UV à 250nm

Réglage appareil photo	
Modèle	Canon EOS 70D
Modèle d'objectif	EF-S18-135mm f/3.5-5.6 IS
Focale	F/11
Temps d'exposition	15 secondes
ISO	100
Distance focale	126mm
Flash	Pas de flash, obligatoire
Programme d'exposition	Manuelle
Balance des blancs	Manuelle

Tableau 17 Réglage appareil photo UV à 250nm

Longueur d'onde	Localisation	Photo
365nm	Cadre – bas gauche	

Longueur d'onde	Localisation	Photo
365nm	Cadre – bas gauche (zone à droite de la photo ci-dessus)	
365nm	Métal peint – extrémité inférieure droite	

Longueur d'onde	Localisation	Photo
365nm	Décor – jonctions entre le lac et décor latéral droit	
365nm	Décor – bateau, fluorescence des adhésifs	

Tableau 18 Photos UV à 365nm

Réglage appareil photo	
Modèle	iPhone 14
Modèle d'objectif	iPhone 14 back dual wide camera 5.7mm f/1.5
Focale	F/1.5
Temps d'exposition	1 secondes
ISO	400
Distance focale	26mm
Flash	Pas de flash, obligatoire
Programme d'exposition	Auto
Balance des blancs	Auto

Tableau 19 Réglage appareil photo UV à 365nm

Mesure d'émission acoustique

La présente annexe documente la campagne d'émission acoustique menée sur l'objet IV-913 afin de statuer sur le caractère actif ou ancien de l'infestation xylophage identifiée lors du constat d'état. Elle précise l'équipement employé, les paramètres d'acquisition, le montage des capteurs et les résultats de la mesure finale. Le protocole reprend celui établi par Cécile Costa dans son travail de bachelor (Costa, 2025).

Principe de la méthode

L'émission acoustique est une méthode non destructive qui consiste à détecter les ondes élastiques transitoires générées à l'intérieur d'un matériau. Dans le cas du bois infesté, l'activité des larves xylophages, mastication et déplacement dans les galeries, produit des impulsions acoustiques détectables par des capteurs piézoélectriques placés au contact de l'objet. L'enregistrement continu sur une durée prolongée permet de distinguer une infestation active, caractérisée par des salves récurrentes et localisées, d'une infestation ancienne, pour laquelle seul le bruit de fond mécanique et environnemental est enregistré.

Équipement utilisé

L'ensemble de l'équipement d'émission acoustique provient de la société Vallen Systeme®.

Capteur	VS900-M (bande passante 100 à 900 kHz)
Préamplificateur	AEP5 (gain 34 dB)
Câble coaxial	CBL-1-5M-V1 (RG-58)

Câble capteur vers préamplificateur	CBL-1-1M2-V5
Châssis	AMSY-6, 4 voies
Processeur de signal AE	ASIP-2
Source Hsu-Nielsen (test à la mine)	mine 2H de 0,5 mm

Tableau 20 équipement utilisé émission acoustique

Paramètres d'acquisition

Les paramètres d'acquisition reprennent le protocole établi par Cécile Costa (Costa, 2025). Les captures d'écran ci-dessous sont issues de ce travail, à défaut de les avoirs pour chaque fenêtre de paramètres, les valeurs sont reportées dans les tableaux qui suivent.

Réglages généraux (General settings)

General Settings

Parametric

Frontend Filter

Comment

AE data:

Sample rate: 10 MHz (100 ns)

Status interval [s]: 10,0

☒ Continuous Mode

TR data:

Sample rate: 2,000 MHz (0,5 µs)

Max samples per set: 1 024

Resulting page length: 512,0 µs

☒ TR Enabled

☒ Duration adapted TR

☐ Record data for artificial hits (after timeout)

☒ Compress data (save disk space)

Pulsing:

Burst interval [ms]: 1000

Pulses per burst: 1

Pulse amplitude [Vpp]: 200,00

Pulse frequency: Normal

AST pulse width [µs]: 5,2

General		TR		Hit				Frequency range				Input Settings			
Chan.	HW	Select	DurDT.	ReaT.	PkDW	Thr/noise	Thr.	Filter	Notch	Gain	Range	Pulser func.	Input device	Device	
	1	01.01.a	IIR5	8 192	8 192	0	0	30,1	25kHz-850kHz	Off	34	10 Vpp	None	AEP4 / AEP5 (34dB)	
	2	01.01.b	IIR5	8 192	8 192	0	0	30,1	25kHz-850kHz	Off	34	10 Vpp	None	AEP4 / AEP5 (34dB)	
	3	01.02.a	IIR5	8 192	8 192	0	0	30,1	25kHz-850kHz	Off	34	10 Vpp	None	AEP4 / AEP5 (34dB)	
	4	01.02.b	IIR5	8 192	8 192	0	0	30,1	25kHz-850kHz	Off	34	10 Vpp	None	AEP4 / AEP5 (34dB)	

Réglages paramétriques (Parametric settings)

Intervalle (Interval)	1 s
Horloge (Clock)	10 ms
Déclenchement PCTA (PCTA Trigger)	2000 mV / -1000mV

(Record Control)	10239,7mV / -10240mV
Filtres frontaux (Frontend filters)	non activés

Tableau 21 Réglages paramétriques AE

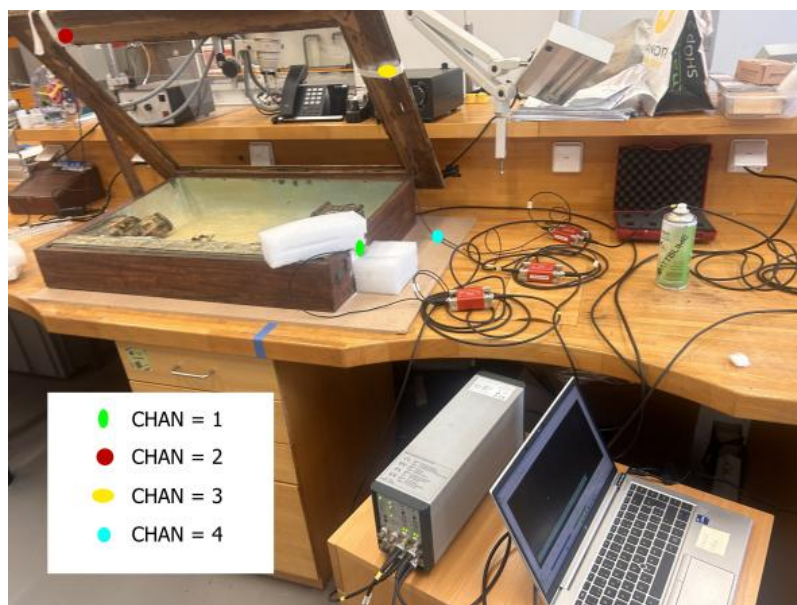
Paramètres de discrimination des salves (Rearm / hit definition)

Hit definition settings	
Seuil (Threshold)	30,1 dB
Durée de réarmement (Rearm time)	8192
Durée maximale de salve (Duration discr. time)	8192
Fenêtre de crête (Peak def. time)	0
TR acquisition parameters	
Type de déclenchement (Trigger mode)	Normal
Longueur de page (Page length)	-
Pré-déclenchement (Pre-trigger samples)	-
Durée post-déclenchement (Post duration samples)	-
Sélection de données (Data select)	IIR5 (Normal)
Input settings	
Entrée (Input)	AEP4 / AEP5 (34dB)
Préamplificateur (Preamp. gain)	34
Alimentation préamplificateur (Preamp. power)	28

Tableau 22 Paramètres de discrimination des salves

Montage et mise en œuvre

La mesure a mobilisé quatre voies du système. Trois capteurs ont été placés au contact de l'objet et un quatrième, hors contact, a servi à l'enregistrement du bruit ambiant posé sur le support ou était l'objet. La répartition des câbles était la suivante :



Montage de la campagne d'émission acoustique : disposition des capteurs sur le cadre et la boîte de l'objet, correspondance des voies CHAN 1 à CHAN 4, et chaîne d'acquisition (préamplificateurs, châssis, ordinateur).

Les capteurs ont été fixés à l'objet au moyen de cyclododécane, matériau sublimable permettant d'obtenir une fixation temporaire sans résidu. Ils ont ensuite été sécurisés mécaniquement : par des rubans de coton noués autour du cadre, et par une mousse de calage pour le capteur de la boîte, destinée à retenir le capteur en cas de chute. Le cyclododécane assure le couplage acoustique entre le capteur. Le cadre n'était pas ouvert durant la mesure contrairement à la figure ci-dessus.

Des tests de couplage à la source, rupture d'une mine de crayon calibrée, ont été réalisés sur chaque capteur en début et en fin de mesure afin de vérifier la sensibilité et le bon fonctionnement de chaque voie. Ces tests correspondent aux salves de forte amplitude enregistrées aux extrémités de la mesure.

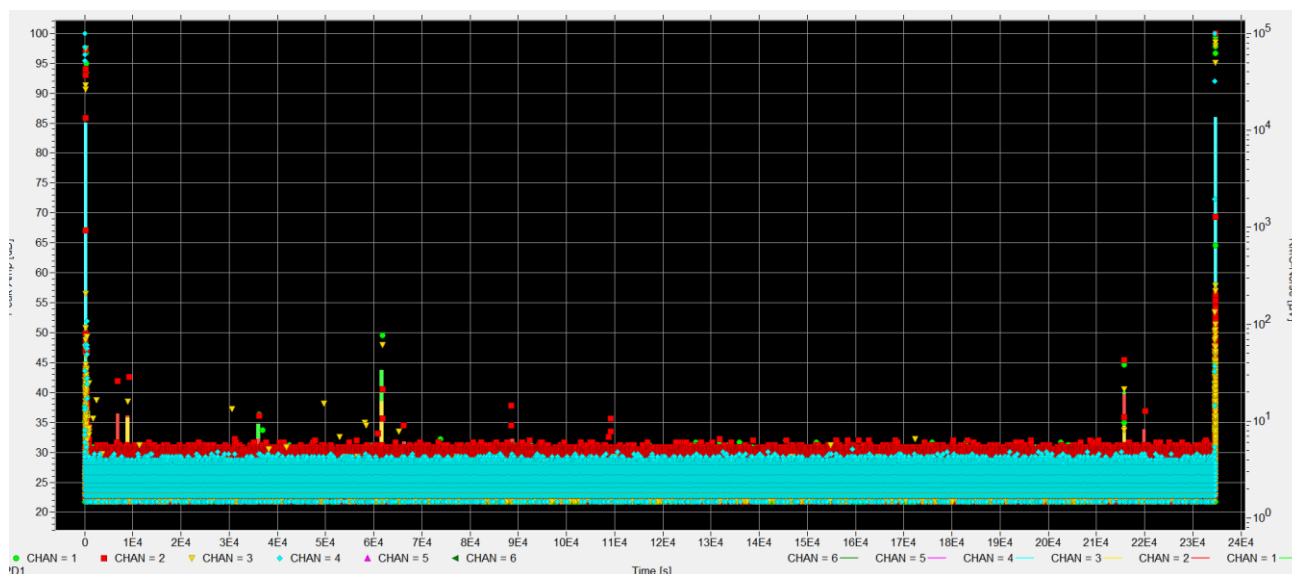
Déroulement de la mesure

La mesure finale s'est déroulée en continu du vendredi à 15 h au lundi à 8 h, sans interruption, soit une durée d'environ soixante-cinq heures. Cette durée prolongée, couvrant un week-end sans activité dans le local, visait

à limiter le bruit et à maximiser les chances de détecter une éventuelle activité, celle-ci pouvant être intermittente. Lors des mesures il faisait dans la pièce 22°C et 34% d'HR.

Résultats

Le graphique de la mesure finale présente, pour chaque voie, l'amplitude de crête des salves (Peak Amplitude, en dB, axe de gauche) et le niveau de bruit efficace (RMS-Noise, en μV , axe de droite) en fonction du temps (en secondes).



Mesure finale d'émission acoustique, durée d'environ soixante-cinq heures. La voie CHAN 4 (cyan, hors contact) matérialise le bruit ambiant ; les salves de forte amplitude aux extrémités correspondent aux tests à la mine de début et de fin de mesure.

La bande dense de points de la voie CHAN 4 (cyan) correspond au bruit ambiant enregistré par le capteur hors contact et constitue le niveau de référence du bruit de fond. Les salves de très forte amplitude, saturant l'échelle en tout début et en toute fin d'enregistrement, correspondent aux tests de couplage à la source Hsu-Nielsen effectués sur chaque capteur.

Sur l'ensemble de la durée d'enregistrement, aucune activité soutenue, récurrente ou localisée sur un des capteurs n'a été mise en évidence. Quelques salves isolées ont été enregistrées ponctuellement au niveau des capteurs du cadre, notamment un groupe d'événements situé aux alentours de 60 000 secondes. Ces événements, peu nombreux et sans périodicité, sont interprétés comme des micro-craquements mécaniques du bois liés à sa fragilité, et non comme le signe d'une activité biologique. La boîte s'est révélée comparativement plus stable, avec un nombre de salves encore plus réduit.

L'absence d'activité acoustique caractéristique d'une infestation en cours confirme le diagnostic d'une infestation *ancienne*. Ce résultat a permis d'écarter la nécessité d'un traitement anoxique.

Référence

COSTA, Cécile, 2025. *Acoustic emission active for pest detection*. Travail de bachelor, Haute Ecole Arc, Bachelor of Arts HES-SO en Conservation. Annexe, 25 juillet 2025.

Indice de réfraction Plexigum PQ 611®

Le Plexigum PQ611® est un matériau ayant été présent de manière récurrente dans les tests et les choix de restauration de l'objet. Il n'a cependant pas été possible de trouver son indice de réfraction dans les données fournisseurs disponibles, ce qui pose un problème étant donné l'impact de ce facteur sur les choix finaux d'intervention : l'indice de réfraction entre en compte de manière significative lorsque le produit est envisagé comme vernis ou médium à retoucher, en raison de son influence sur la brillance du rendu final. La valeur a donc été estimée par le calcul présenté ci-après, à partir de la relation de Lorentz-Lorenz appliquée à la composition chimique du produit.

Pourquoi citer l'indice de réfraction en conservation-restauration ?

L'indice de réfraction (noté **n**) est une propriété optique fondamentale qui mesure la façon dont la lumière ralentit et change de direction en traversant un matériau. Plus l'indice est élevé, plus la lumière est déviée et donc le matériau brillant. En conservation-restauration de peintures, cette valeur détermine :

La saturation des couleurs : un vernis dont l'indice est proche de celui du liant pictural (huile siccative vieillie : $n \approx 1,53-1,55$) sature mieux les teintes en comblant les irrégularités de surface et en réduisant la diffusion de la lumière.

La compatibilité optique lors de la retouche : un produit de retouche dont l'indice s'écarte trop de celui de la couche picturale crée un décalage visible de saturation entre les zones d'origine et les zones restaurées.

Le phénomène de chanci : modification locale de l'indice de réfraction au sein du film de vernis, entraînant un blanchiment de surface.

Problématique

La fiche technique du Plexigum PQ611® commercialisée par Kremer Pigmente ou Deffner&Johann ne renseigne pas l'indice de réfraction du polymère. Il est donc nécessaire d'établir cette valeur par une démarche en deux étapes : avec la composition chimique précise du produit, puis recourir à la valeur expérimentale mesurée pour ce polymère dans la littérature de chimie des polymères, en la confirmant par un calcul théorique.

Identification chimique du Plexigum PQ611®

La fiche produit de Kremer Pigmente indique : *"Chemical description : Isobutyl methacrylate solution of an acrylic polymer"* (Kremer Pigmente, 2024). Le Plexigum PQ611® est donc une résine acrylique de type poly(isobutyl méthacrylate), également connu sous le nom commercial Degalan PQ611® N (Röhm GmbH).

Cette identification est corroborée par la base de données CAMEO du Museum of Fine Arts de Boston, qui répertorie le Plexigum comme : *"a registered trademark for a series of acrylic emulsions containing isobutyl methacrylate"* (MFA CAMEO, 2024).

L'unité répétitive du poly(isobutyl méthacrylate) a la structure suivante :



Sa formule brute est $\text{C}_8\text{H}_{14}\text{O}_2$ avec une masse molaire de $M = 142,20 \text{ g/mol}$.

Valeur expérimentale mesurée

$$n = 1,477$$

Film sec, n_D^{20} (lumière sodium $\lambda = 589 \text{ nm}$, 20°C)

Cette valeur est donnée par Scientific Polymer Products Inc. (catalogue en ligne, Cat# 112, CAS 9011-15-8) pour le poly(isobutyl méthacrylate) de masse molaire pondérale $M_w = 260\,000 \text{ g/mol}$. Elle est confirmée par le tableau de référence des indices de réfraction des polymères publié dans l'étude QSPR de Erickson et al. (2020, *Molecules*, 25(17), 3772, Tableau S2), qui donne poly(isobutyl méthacrylate) = 1,477.

Vérification par calcul : méthode de Lorentz-Lorenz

Principe : en chimie des polymères, l'indice de réfraction d'un polymère peut être calculé à partir de sa structure chimique en appliquant l'équation de Lorentz-Lorenz (1880), qui relie l'indice de réfraction à la réfraction molaire (une propriété additive calculable par contributions de groupes) et au volume molaire du polymère. Cette méthode est la référence standard en sciences des matériaux pour estimer ou vérifier les indices de réfraction des polymères (Van Krevelen & Te Nijenhuis, 2009, chapitre 11).

L'équation de Lorentz-Lorenz : (ou équation de Clausius-Mossotti pour les milieux optiques)

$$\frac{(n^2 - 1)}{(n^2 + 2)} = \frac{R_{LL}}{V_m}$$

Où :

n = indice de réfraction du polymère (la valeur cherchée)

R_{LL} = réfraction molaire totale de l'unité répétitive (en cm³/mol), calculée comme somme des réfractions de chaque groupe chimique présent dans l'unité répétitive

V_m = M / ρ = volume molaire de l'unité répétitive (en cm³/mol)

La réfraction molaire R_{LL} est une propriété additive : on peut la calculer comme la somme des contributions de chaque groupe fonctionnel ou liaison présent dans la molécule. Cette additivité est l'un des principes fondamentaux de la chimie physique des polymères (Vogel, 1948 ; Van Krevelen, 2009).

Données numériques

Données physiques de l'unité répétitive :

Grandeur	Valeur	Source
Formule brute de l'unité répétitive	C ₈ H ₁₄ O ₂	<i>Kremer Pigmente, 2024</i>
Masse molaire M de l'unité répétitive	142,20 g/mol	<i>Calcul à partir de la formule brute</i>
Densité ρ du poly(isobutyl méthacrylate) (mesurée à 20 °C)	1,045 g/cm ³	<i>Scientific Polymer Products Inc., Cat# 112</i>
Volume molaire V _m = M / ρ	136,1 cm ³ /mol	<i>Calcul : 142,20 / 1,045</i>

Tableau 23 Données physiques

Calcul de la réfraction molaire totale R_{LL} par contributions de groupes (méthode de Van Krevelen, 2009) :

Groupe chimique dans l'unité répétitive	Occur.	R _{LL} unitaire (cm ³ /mol)	Contribution (cm ³ /mol)	Source de la valeur R _{LL}	Note structure
-CH ₂ - (chaîne principale)	1	4,647	4,647	<i>Van Krevelen & Te Nijenhuis, 2009, p. 289</i>	Méthylène de la chaîne principale

>C< quaternaire (chaîne principale)	1	2,418	2,418	<i>Van Krevelen & Te Nijenhuis, 2009, p. 289</i>	Carbone quaternaire portant le groupement méthyle et l'ester
-CH ₃ (sur le C quaternaire)	1	5,652	5,652	<i>Van Krevelen & Te Nijenhuis, 2009, p. 289</i>	Groupement méthyle porté par la chaîne principale
C=O (carbonyle de l'ester)	1	4,600	4,600	<i>Van Krevelen & Te Nijenhuis, 2009, p. 289</i>	Carbone du groupement ester (liaison double C=O)
-O- (oxygène simple de l'ester)	1	1,643	1,643	<i>Van Krevelen & Te Nijenhuis, 2009, p. 289</i>	Oxygène de la liaison -COOH- côté alcool
-CH ₂ - (isobutyle, côté alcool)	1	4,647	4,647	<i>Van Krevelen & Te Nijenhuis, 2009, p. 289</i>	Méthylène -OCH ₂ - du groupement isobutyle
>CH- (isobutyle)	1	3,619	3,619	<i>Van Krevelen & Te Nijenhuis, 2009, p. 289</i>	Méthine -CH< du groupement isopropyle
-CH ₃ × 2 (groupes isopropyle)	2	5,652	11,304	<i>Van Krevelen & Te Nijenhuis, 2009, p. 289</i>	Les deux méthyles terminaux -CH(CH ₃) ₂
TOTAL R_LL			38,53 cm³/mol		

Tableau 24 Calculs réfraction molaire

Résolution numérique

Étape 1 Calcul du rapport R_{LL} / V_m

$$R_{LL} / V_m = 38,53 / 136,1 = 0,2831$$

Étape 2 Résolution de l'équation de Lorentz-Lorenz en n^2

On pose $x = n^2$ et on résout :

$$(x - 1) / (x + 2) = 0,2831$$

$$x - 1 = 0,2831 \times (x + 2)$$

$$x - 1 = 0,2831x + 0,5662$$

$$0,7169x = 1,5662$$

$$x = n^2 = 2,185$$

Étape 3 - Calcul de n

$$n = \sqrt{2,185} \approx 1,478$$

Valeur calculée par la méthode de Lorentz-Lorenz avec contributions de groupes de Van Krevelen (2009)

Validation croisée

Méthode	Valeur de n obtenue	Écart par rapport à la valeur mesurée	Référence
Mesure expérimentale (réfractomètre, n^{20}_D)	1,477	Valeur de référence	<i>Scientific Polymer Products Inc., Cat# 112</i>
Calcul Lorentz-Lorenz (contributions de groupes Van Krevelen)	1,478	+ 0,001 (< 0,1 %)	<i>Van Krevelen & Te Nijenhuis, 2009</i>
Tableau QSPR (modèle quantitatif structure, propriété)	1,477	0,000	<i>Erickson et al., Molecules, 25(17), 2020</i>

Tableau 25 Validation croisée

La convergence des trois méthodes (mesure expérimentale, calcul théorique et modèle QSPR) vers la valeur $n \approx 1,477$ valide la fiabilité de l'indice retenu pour le Plexigum PQ 611.

Comparaison synthétique

Matériau	n (20 °C, 589 nm)	Nature	Statut de la valeur	Référence principale
Vernis dammar	1,539	Résine naturelle terpénoïde	Valeur expérimentale mesurée, référence établie dans la littérature de conservation	<i>Hackney, cité in WAAC Newsletter, 1995</i>
Plexigum PQ 611	<u>1,477</u>	Résine acrylique synthétique (poly-iBMA)	Valeur expérimentale pour le polymère pur, confirmée par calcul Lorentz-Lorenz (écart < 0,1 %)	<i>Scientific Polymer Products Inc. + Van Krevelen, 2009</i>
Paraloid B72	1,483-1,487	Résine acrylique synthétique	Valeur expérimentale mesurée	<i>Hackney, cité in WAAC Newsletter, 1995</i>
Huile siccatrice vieillie	~1,53-1,55	Liant pictural oxydé	Valeur indicative, variable selon l'état d'oxydation	<i>Hackney, cité in WAAC Newsletter, 1995</i>

Tableau 26 comparaison

Sources bibliographiques de cette annexe

HACKNEY, S., 1995. Synthetic Resins as Surface Coatings. In : *WAAC Newsletter* [en ligne]. Vol. 17, n° 1. Western Association for Art Conservation. [consulté le 27 avril 2026]. Disponible à l'adresse : <https://cool.culturalheritage.org/waac/wn/wn17/wn17-1/wn17-107.html>

ERICKSON, Meade E., NGONGANG, Marvellous et RASULEV, Bakhtiyor, 2020. *A Refractive Index Study of a Diverse Set of Polymeric Materials by QSPR with Quantum-Chemical and Additive Descriptors*. *Molecules*. 2020. Vol. 25, n° 17, article 3772. DOI 10.3390/molecules25173772.

KREMER PIGMENTE, 2024. *Plexigum® PQ 611 - fiche produit* [en ligne]. [consulté le 27 avril 2026]. Disponible à l'adresse : <https://www.kremer-pigmente.com/en/shop/mediums-binders-glues/67380-plexigum-pq-611.html>

MFA CAMEO - Museum of Fine Arts Boston, 2024. *Plexigum* [en ligne]. Conservation & Art Materials Encyclopedia Online. [consulté le 27 avril 2026]. Disponible à l'adresse : <https://cameo.mfa.org/wiki/Plexigum>

SCIENTIFIC POLYMER PRODUCTS INC., s.d. *Poly(isobutyl methacrylate), Cat# 112* [en ligne]. [consulté le 27 avril 2026]. Disponible à l'adresse : <https://scientificpolymer.com/shop/polyisobutyl-methacrylate-3/>

VAN KREVELEN, D.W. et TE NIJENHUIS, K., 2009. *Properties of Polymers : their correlation with chemical structure ; their numerical estimation and prediction from additive group contributions*. 4e éd. Amsterdam : Elsevier. ISBN : 978-0-08-054819-7. [Voir en particulier chapitre 11 : Optical Properties, pp. 283–296]

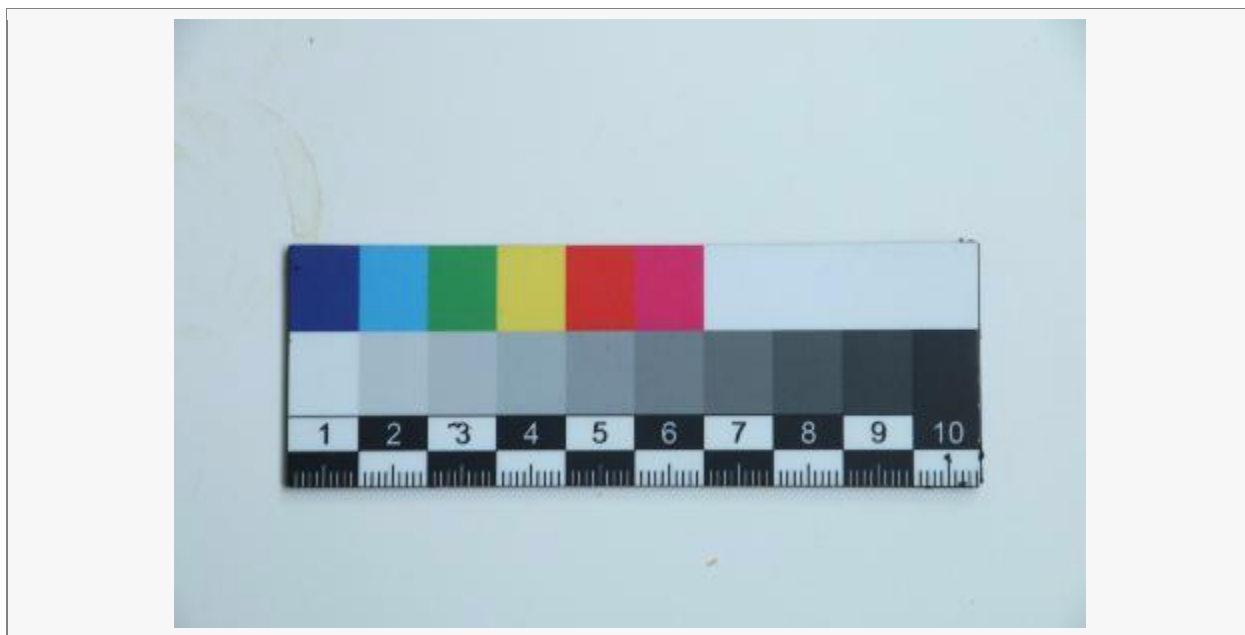
VOGEL, Arthur I., 1948. Physical properties and chemical constitution. Part XXIII. Miscellaneous compounds. Investigation of the so-called co-ordinate or dative link in esters of oxy-acids and in nitro-paraffins by molecular refractivity determinations. Atomic, structural, and group parachors and refractivities. *Journal of the Chemical Society*. 1948. pp. 1833-1855. DOI 10.1039/JR9480001833.

WHITTEN, Jill, 1995. Regalrez 1094 : properties and uses. *WAAC Newsletter* [en ligne]. Vol. 17, n° 1, janvier 1995, p. 11. Western Association for Art Conservation. [consulté le 27 avril 2026]. Disponible à l'adresse : <https://cool.culturalheritage.org/waac/wn/wn17/wn17-1/wn17-104.html>

Annexe C : Documentation photographique complémentaire

Les photographies rassemblées dans cette annexe complètent la documentation figurant dans le corps du mémoire.

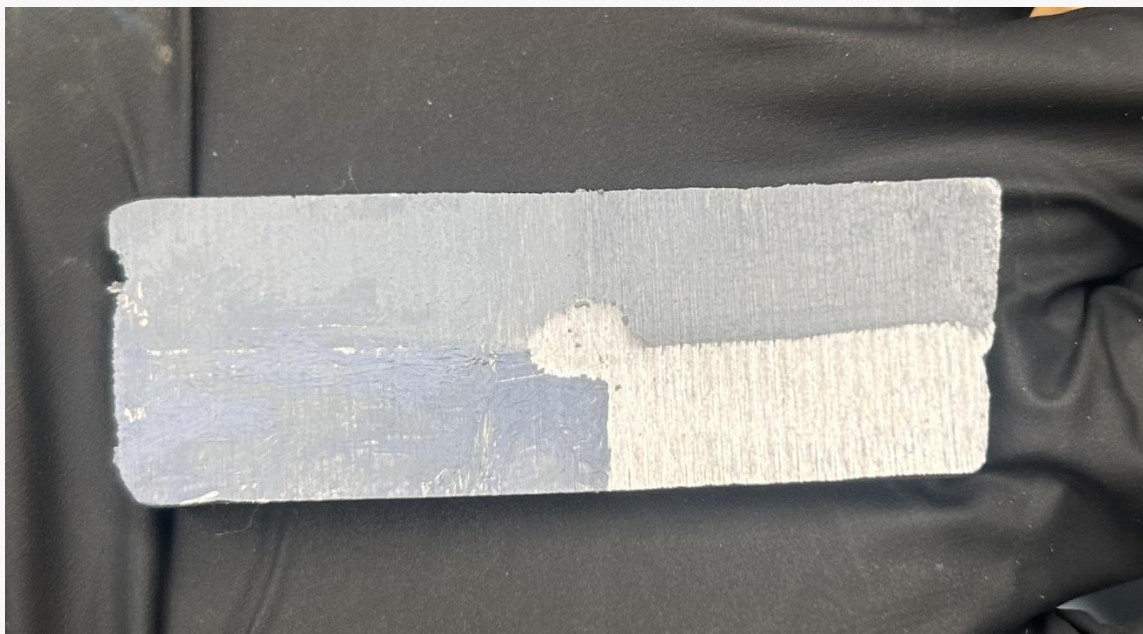
Photographie C1 - Charte photos avec les réglages des photos avant traitement



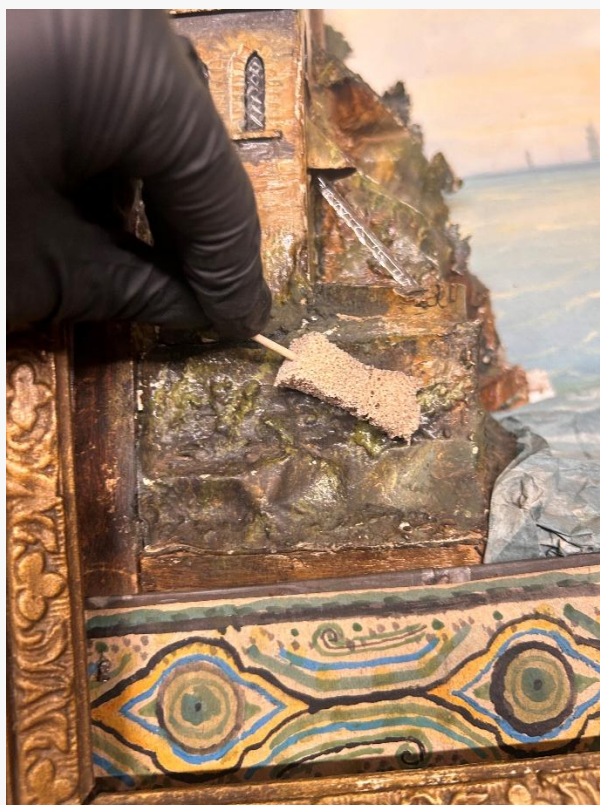
Photographie C2 – Comblement pour la lacune du cadre après séchage dans son moule



Photographie C3 - Plaquette de zinc avec applications de différents médiums pour les retouches et vernis (Laropal + WS 100/140 ; Laropal + solvant D40/A ; Plexigum + WS 100/140)



Photographie C4 – Nettoyage à sec du décor avec la sponge smoke



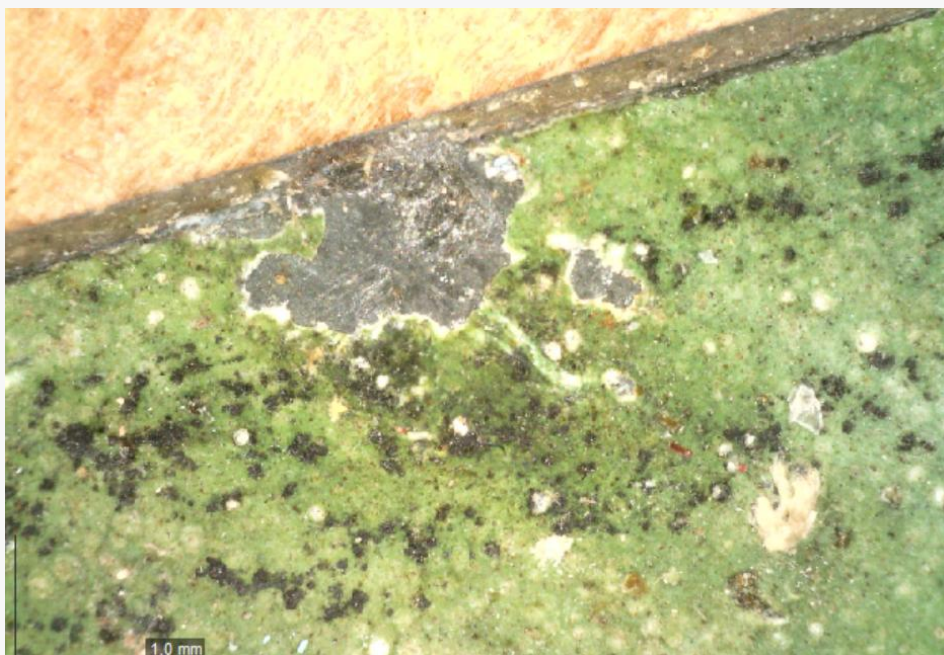
Photographie C5 – Décor : revers de la plaque en fer étamé du liseré



Photographie C6 - Ressort et barillet de la minuterie après nettoyage à l'isopropanol



Photographie C7 - Lacune sur la partie inférieure de la tôle de zinc sous microscope USB



Annexe D : Fiches techniques et recettes

Colle d'amidon de blé

Préparation selon le protocole de l'Institut canadien de conservation (ICC).

Peser 30 g d'amidon de blé et placer dans un récipient en verre ou en plastique. Mesurer 300 mL d'eau distillée. Verser progressivement 50 mL de cette eau sur l'amidon en remuant jusqu'à obtention d'une suspension homogène sans grumeaux, puis ajouter le reste de l'eau.

Transférer la préparation dans un bain-marie et cuire en remuant de façon continue jusqu'à ce que l'empois épaississe et devienne translucide. Laisser refroidir, puis tamiser avant emploi. Diluer à l'eau distillée jusqu'à la consistance recherchée.

Conservation au réfrigérateur, durée de vie courte (quelques jours).

Source : Institut canadien de conservation, Notes de l'ICC 11/4, « Colle d'amidon de blé ».

Colle de peau à 12 %

Peser la colle de peau et l'introduire dans l'eau déminéralisée à raison de 12 % (m/v), soit 12 g de colle pour 100 mL d'eau.

Laisser gonfler à froid jusqu'à absorption complète de l'eau pendant au moins 4 heures, puis chauffer au bain-marie sans dépasser 60 °C, en remuant jusqu'à dissolution complète. Ne jamais porter à ébullition, sous peine de dégrader le collagène.

Mastic craie-colle

Incorporer avec un tamis la craie de Champagne en proportion 50/50 à la colle de peau à 12 %. Laisser refroidir.

Le mélange est préparé à l'avance et conservé en pot. Conservation au réfrigérateur.

Gros blanc

Placer la craie de Champagne en forme de montagne et faire un trou au milieu. Ajouter de la colle de peau à 12 %, mélanger jusqu'à saturation de la colle de peau.

Conservation au réfrigérateur, dans du papier siliconé, deux semaines au maximum.

Résine aldéhyde A81 / Laropal A81® à 20 %

Préparer le mélange de solvants dans les proportions suivantes : 40 % de Shellsol A (Kremer solvant A) et 60 % de Shellsol D40 (Kremer solvant D40).

Peser 20 g de Laropal A81® et les placer dans une étamine. Laisser tremper dans 80 g du mélange de solvants jusqu'à dissolution complète, soit une solution à 20 % (m/m).

Plexigum PQ611® à 20 % (mélange de solvants)

Même protocole que ci-dessus, en substituant le Plexigum PQ611® au Laropal A81® : 20 g de Plexigum® pour 80 g du mélange Shellsol A (40 %) et Shellsol D40 (60 %).

Plexigum PQ611® à 20 % (solvant unique)

Même protocole, avec un solvant unique : 20% de Plexigum PQ611® pour 80% de white spirit 100/140.

Mélange d'injection consolidante (galeries du cadre)

À la solution de Plexigum PQ611®/WS100/140 à 20 %, ajouter les microbilles creuses en résine phénolique dans un rapport de 1:5 en volume (une part de solution pour cinq parts de microbilles), puis 1 % de Claytone. La Claytone, argile organophile, empêche la sédimentation des microbilles dans la préparation et assure une distribution plus homogène du mélange dans les galeries.

Référence méthodologique : Bürger, 2008.

Gel PVA-borax

Préparation pour 100 mL.

Première solution. Dissoudre 6,4 g de poudre de PVA-OH dans 80 mL d'eau. Chauffer fortement, entre 80 et 90 °C (presque ébullition), sur plaque chauffante, en agitant régulièrement à la spatule ou à l'agitateur magnétique, jusqu'à dissolution totale.

Variante employée : la solution de PVA-OH disponible à l'école étant à 15 %, elle a été utilisée à raison de 40 mL de solution Kremer pour 40 mL d'eau.

Deuxième solution. Dissoudre 1,6 g de borax dans 20 mL d'eau. Chauffer également jusqu'à dissolution, mais à température nettement plus basse et pendant une durée nettement plus courte.

Assemblage. Une fois les deux solutions dissoutes, ajouter le complexant à la solution de PVA-OH, à raison de 0,5 g au maximum. Le complexant employé est l'EDTA tétrasodique dans ce traitement, à raison de 0,5 g. Ajouter ensuite la solution de borax à la solution eau/PVA-OH en mélangeant énergiquement jusqu'à obtention du gel, soit environ trente secondes.

Ordre d'incorporation : PVA-OH/eau, puis complexant, puis borax/eau.

Fiches techniques employés lors du traitement. (Plexigum, Claytone, microballons, Laropal A81®, colle d'amidon de blé, papier japon, BEVA film, PVA-OH, borax, huiles et graisses Moebius, acide tannique, EDTA4, sponge smoke,, cyclododécane) :

Technical DataSheet



ATTBLIME
 HIGH PERFORMANCE 3D SCANNING SPRAY
 MADE IN GERMANY

AB 24 Pure Cyclododecane Aerosol



The Original with optimised ATTBLIME[®] Cyclododecane

Free of harmful pigments like Adamantane and Titanium Dioxide

Free of Solvents

Residue-free sublimation; no cleaning required

Unique ATTBLIME SHC[®] Spray Pattern

Layer Thickness: 32 µm

Approved and used by Scanning experts for Automotive and Aerospace

Reflective, dark or shiny surfaces are difficult or sometimes even impossible to capture with optical 3D scanners. To mattify the surfaces to be measured, ATTBLIME[®] Scanning sprays can be sprayed before scanning which gives an accurate dimensional accuracy. This can be sprayed very thinly and evenly onto the surfaces to be recorded, so that high contrast values are created and even the smallest surface details are recorded.

The sublimating ATTBLIME version AB24 is based on an optimised version of the substance ATTBLIME[®] Cyclododecane, which has been tried and tested for many years, and is characterised by complete sublimation with a service life of up to 24 hours. The spray applied evaporates without leaving any residue on the component. Subsequent cleaning of the component is not necessary. The even spray pattern has a layer thickness of c 32 µm in AB24.

Sublimation time can be adjusted by ambient temperature and layer thickness
Film thickness depends on spraying distance, reduced distance will result in a thicker film

Why ATTBLIME[®] Cyclododecane ?

ATTBLIME[®] Cyclododecane is specially treated and modified to create a very thin, homogeneous and a uniform layer that is completely residue-free unlike the other conventional cyclododecane or adamantane based products. Owing to its unique properties, ATTBLIME[®] Cyclododecane sprays require significantly less "after-spraying" due to its longer service life and thus protecting the environment while also making it significantly cost-economical.

Our key ingredient - Cyclododecane is an organic compound and the most stable representative in its family. It does not bioaccumulate in aquatic organisms and is therefore completely harmless to humans and the environment. It is non-toxic, non-carcinogenic and label free according to GHS "Globally Harmonised System".

According to SGS Institut Fresenius, no residual Cyclododecane could be detected 24 hours after an application of ATTBLIME AB24 making the product 100% Residue-free.





ATTBLIME® AB24 is a preferred choice for experts in the field of Conservation and Restoration, Art and Architecture for applications in museums and critical applications where artefacts, fossils, other valuable and priceless objects are to be preserved and protected. It acts as a temporary a temporary consolidant for treatment of artworks, including paintings, textiles and stone. Used for temporary consolidation, adhesion, cleaning and protection during transport.

To know more on how ATTBLIME® AB24 or ATTBLIME® Cyclododecane can be used in your application, please write to us.

ATTBLIME SHC*

The spray cans are equipped with the unique SHC* system (spray-head-change-system), which allows the user to choose between vertical and horizontal, as well as wide and narrow exit angles, to control the film thicknesses and thus sublimation times.



Round spray head

Round spray pattern for high definition details. Shorter sublimation time due to a fine application.



Variable spray head (rotatable)

For a vertical and horizontal spray pattern. Longer sublimation time due to large area application.

Areas of Application/ Industry

- Conservation and Restoration
- Art
- Aerospace
- Automotive
- Engineering
- Architecture
- Medical
- Digital Archiving
- Optical Metrology
- Research and Development
- Measurement Services

and many more

PRODUCT CHARACTERISTICS

Form	Transparent Liquid
Base	Solvent-free
Propellant (aerosol)	Propane/Butane
Colour	White
Pigment	Pigment-free
Key Ingredient	ATTBLIME® Cyclododecane
Frost Scan Time (FST)* hrs	12 - 24 hours
Sublimation Time	24 - 48 hours
Type	Sublimating/ Self-evaporating
Residue	NIL
Film formation	Instant
Coating thickness	32 µm
Application	3D Scanning Art and Conservation
Replaces	Conventional Developer Paint Non-evaporating Sprays
Adherence of Reference points on film	Yes
Size of Component	Small to Large
Surface Compatibility	all types of material**
Toxicology	Non-Toxic
Area Coverage (m2)	3 - 3.5
Spray mechanism	ATTBLIME SHC*
Spray Distance	5 - 10 cm's
Storage Temperature	5-45 °C
Shelf Life	5 years
Form / Pack Size	400ml Aerosols

* FST - Frost Scan Time is the actual instant duration that the sealed layer stays before sublimation begins.
** Check compatibility on a test patch before use. Test substrate for us on 10 assigned points.

Application of ATTBLIME® AB24

Hold the can upright and spray a single even layer from a distance of 5-10 cm's onto the object to be scanned. Scan the object in a usual manner. The layer will disappear with NIL residue.

Storage

Store in well-ventilated area away from heat sources. Do not expose to temperatures exceeding +45 °C

Health and Safety

Review all relevant health and safety information before using the product. For complete health and safety information, refer to Safety Data Sheet.

Wallmaster Cleaning Sponge

Best.-Nr.: 2264 000

Technical Instructions

The sponges consist of 100 % natural latex gum and do not consist any chemical or solvent additives. The sponges are worldwide within last 30 years successfully used for the restoration of the canvas and paper.

The sponge is passed over the damaged areas with a stroking movement. The sponge absorbs the debris caused by fire until it is soaked to the cross section with soot and charcoal.

The sponge should be cleaned in a mild pH neutral solution after use and stored in a dark place to dry. The sponge can then be used again without any problems. If the sponges are used in the restoration of delicate and valuable manuscripts and paintings, extra careful cleaning should be made and ensured that there are no residues of moisture or cleaning agents from previous work. The sponges should therefore be thoroughly cleaned and dried before each use, especially when working on delicate objects.

The sponges are sensitive to the UV light, sunlight and an environment that is too dry, which can lead to them becoming dry and brittle. It is therefore important to keep the sponge in a slightly damp and dark place to extend its lifespan accordingly. The lifetime of the sponges could be up to two years, provided it is used and cleaned as directed.



Zahlreiche Materialien, Werkzeuge und Geräte finden Sie unter:

www.deffner-johann.de



70520 Kremer Solvent A

Synonym: Hydrocarbons, C9, aromatics
CAS No.: 64742-95-6
EINECS No.: 918-668-5
REACH Reg. No.: 01-2119455851-35-xxx

Specification

Properties	Value	Method
Color (Saybolt)	28 – 30	ASTM D6045
Boiling range (1013 hPa)	152 – 185°C	ASTM D1078
Flash point	min. 40°C	DIN 51 755
Density (15°C)	0.867 – 0.890 g/ml	DIN 51 757
Refractive index (20°C)	1.497 – 1.507	DIN 51 423
Aromatic content	min. 98 %	GC
Water content	max. 0.03 %	DIN 51 777
Benzol content	max. 0.01 %	GC
Cumene content	< 0.1 %	GC

Further Parameter

Properties	Value	Method
Kinematic viscosity (20°C)	1.0 mm ² /s	ASTM D7042
Total Sulfur	max. 2 ppm	ASTM D 5453
Copper stripe test (3h – 50°C)	1 (corrosion degree)	DIN EN ISO 2160
Aniline point	15°C	DIN ISO 2977
Evaporation number (Ether=1)	45.0	DIN 53 170
Toluene	max. 100 ppm	GC
Ethylbenzene	max. 200 ppm	GC
Xylenes	max. 0.5 %	GC



67700 - 67760 Polyvinyl Alcohol

Characteristic

The Polyvinyl Alcohol (PVA) types consist of different degrees of polymerization and hydrolysis.

Fields of Application

Modification of dispersion glues, manufacture of paper glues and glues which can be remoistened. Protective gel for the emulsion polymerization, raw material for finishing and textile glaze, binding agent for the surface processing of paper.

Data

		Viscosity ¹⁾ DIN 53015 (mPa·s)	Degree of Hydrolysis (Saponification) (mol.-%)	Non volatile content (%)	Ash ²⁾ (NaOAc) content (%)	pH
Partially Saponified Type	PVA 5-74	4.2 – 5.0	72.5 – 74.5	97.5 ± 3.0	≤ 0.5 (1.06)	5 - 7
	PVA 3-80	2.8 – 3.3	78.5 – 81.5	97.5 ± 2.5	≤ 0.4 (1.0)	5 - 7
	67760 PVA 4-88	3.5 – 4.5	86.7 – 88.7	97.5 ± 2.5	≤ 0.5 (1.32)	4.5-7.5
	PVA 8-88	7.0 – 9.0	86.7 – 88.7	97.5 ± 2.5	≤ 0.5 (1.32)	4.5-7.0
	PVA 13-88	11.5 – 14.5	86.7 – 88.7	97.5 ± 2.5	≤ 0.5 (1.32)	4.5-7.0
	PVA 18-88	16.5 – 19.8	86.7 – 88.7	97.5 ± 2.5	≤ 0.5 (1.32)	4.5-7.0
	PVA 23-88	21.5 – 24.5	86.7 – 88.7	97.5 ± 2.5	≤ 0.5 (1.32)	4.5-7.0
	PVA 26-88	24.5 – 27.5	86.7 – 88.7	97.5 ± 2.5	≤ 0.5 (1.32)	4.5-7.0
	PVA 40-88	38.0 – 42.0	86.7 – 88.7	97.5 ± 2.5	≤ 0.5 (1.32)	4.5-7.0
	PVA 47-88	45.0 – 49.0	86.7 – 88.7	97.5 ± 2.5	≤ 0.5 (1.32)	4.5-7.0
	PVA 95-88	80.0 – 110.0	87.0 – 89.0	97.0 ± 3.0	≤ 0.4 (1.06)	5 - 7
Fully Saponified Type	PVA 3-98	3.2 – 3.8	98.0 – 99.0	97.0 ± 3.0	≤ 0.6 (1.58)	5 - 7
	67700 / 67710 PVA 4-98	4.0 – 5.0	98.0 – 98.8	97.5 ± 2.5	≤ 0.5 (1.32)	5 - 7
	PVA 6-98	5.0 – 7.0	98.0 – 98.8	97.5 ± 2.5	≤ 0.5 (1.32)	5 - 7
	PVA 10-98	9.0 – 11.0	98.0 – 98.8	97.5 ± 2.5	≤ 0.5 (1.32)	5 - 7
	PVA 20-98	18.5 – 21.5	98.0 – 98.8	97.5 ± 2.5	≤ 0.5 (1.32)	5 - 7
	PVA 56-98	52.0 – 60.0	98.0 – 98.8	97.5 ± 2.5	≤ 0.5 (1.32)	5 - 7
	PVA 15-99	12.5 – 17.5	99.0 – 99.8	97.5 ± 2.5	≤ 0.5 (1.32)	5 - 7
	PVA 28-99	26.0 – 30.0	99.0 – 99.8	97.5 ± 2.5	≤ 0.5 (1.32)	5 - 7

¹⁾ a 4% aqueous solution at 20°C

²⁾ calculated as Na₂O



67380 Plexigum® PQ 611

Binding agent for odorless interior and exterior paints for the conservation of buildings. Polymer in powder form based on iso-butyl methacrylate.

Product properties

Density:	1.04 g/cm ³ (DIN EN ISO 12185)
Bulk density:	approx. 600 g/l (DIN EN ISO 60)
Solubility:	Soluble in esters, ketones, aromatic hydrocarbons and in aromatic-free, aliphatic hydrocarbons; insoluble in alcohols.
Viscosity number:	38 cm ³ /g (DIN EN ISO 1628-1)
Molecular weight (Mw):	120000 g/mol (DIN 55672-1)
Dynamic viscosity:	140 mPas (DIN EN ISO 3219) (40 % in MEK, C35/1°, 100/s)
Glass transition temperature (T _g)	33°C (DIN EN ISO 11357-1)

General Information

Film properties (measured on solvent-free, dried unpigmented films)

Torsion pendulum test:	DIN 53 445
Temperature T _{Amax} at the damping maximum (frequency: 1 Hz)	52°C

Applications

Binding agent for especially odorless and physiologically harmless paints for the exterior and interior application for the conservation of buildings. For example, also for upgraded insulation systems (polystyrene). The main solvents are aromatic hydrocarbons. Plexigum® PQ 611 is also used for the production of print colors based on petroleum.

Storage:

Cool and dry; shelf life at least 5 years



63028 Rabbit Skin Glue

Technical Data

Form:	fine grains
Color:	yellowish - brown
Odor:	slight odor
pH-Value:	5.5 – 7.5
Humidity:	11 %
Gelatinous strength (12.5 %):	340 – 360 Bloomgrams
Viscosity:	98 – 117 mPa.s (12.5 % at 60°C)
Fat content:	max. 3 %
Storage:	Store product in a dry place, keep away from water and humidity. Do not store above 30°C.
Application:	Soak the gelatine grains in cold water during 2 hours. Then slowly heat up in a double boiler between 50 and 60°C.

Gelatine is usually prepared in solutions of 2 to 60 %, depending on the purpose of application.



875060 - 875080 Japanese Paper WENZHOU

Product: Wenzhou Paper Roll
HS-Code: 4806.40.90
Country of origin: China

875060: Wenzhou Paper, roll 45 cm x 25 m, 30 g/m²

875070: Wenzhou Paper, roll 69 cm x 10 m, 30 g/m²

875080: Wenzhou Paper, roll 97 cm x 10 m, 30 g/m²

Wenzhou is a rice paper with a slightly buffed surface.



70471 Kremer Solvent D 40

Product:	Kremer Solvent D 40
Synonyms:	Hydrocarbons, C9-C11, n-Alkanes, Isoalkanes, Cycloalkanes, < 2 % Aromatics
Delivery form:	colorless liquid
Odor:	mild
EINECS:	919-857-5
REACH Reg. No.:	01-2119463258-33-xxxx

Product Properties

The Solvent D-types contain hydrocarbons in a boiling range from 100 - 330°C. The solving power is lower than that of the aromatic hydrocarbon solvents. However, due to hydrogenation of the aromatic hydrocarbons to cycloaliphates (= naphthene) a much higher solving power was reached in comparison to products obtained from extraction processes. The Solvent D-types have a mild odor.

Application

- Varnishes with mild odor
- Wood protection products
- Cold cleaner
- Metal degreasing agents
- Household products
- Care products
- Cleaning polishes
- De-waxing of cars
- Application of protective wax
- Kerosine
- Textile additives

Specification

Properties	Value	Method
Density (15°C)	0.765 – 0.810 g/ml	DIN 51 757
Refraction index (20°C)	1.420 – 1.440	DIN 51 423
Water content	max. 0.01 % (m/m)	DIN 51 777
Boiling range	145 – 205°C	ASTM D1078
Flash point (Abel/Pensky)	> 36°C	DIN 51 755
Aromatic content	max. 0.4 % (m/m)	UV
Benzol content	< 5 ppm	GC



70820 Isopropanol

Formula: $\text{CH}_3 \text{ CH} (\text{CH}_3) \text{ OH}$
Synonyms: Isopropyl alcohol, 2-Propanol, secondary Propyl alcohol
Appearance: colorless liquid
Odor: alcohol
CAS No.: 67-63-0
EG No.: 200-661-7
REACH Reg. No.: 01-2119457558-25-xxxx

Specification:

Properties	Values	Method
Density (20°C)	0.784 – 0.787 kg/l	DIN 51 757
Refractive index (20°C)	1.375 – 1.378	DIN 51 423
Water content	0.1 % (m/m)	DIN 51 777
Purity	99.8 % (m/m)	GC
Acid content	0.001 % (m/m)	DIN 55652

Colorless

Colorless, ethyl alcohol-smelling liquid. Forms a constant boiling mixture with 12.1% water at 80.37°.

Isopropanol is freely miscible with water and soluble in alcohol and ether.

Isopropanol is obtained technically by catalytic reduction of acetone or is prepared from the propylene of the crack gases of petroleum refineries. Isopropanol shows great similarity in behavior to ethyl alcohol and finds fairly extensive use in org. syntheses, disinfection work, extraction of floral fragrances, in the manufacture of soaps, perfumes, hair lotions, spray paints, polishes, etc. It is also suitable as a substitute for ethyl alcohol in microscope. Technique, further as antifreeze, solvent for essential oils, waxes and esters, as dewatering material for nitrocellulose, for drying and preservation of animal and vegetable materials.

Properties:

Rapidly evaporating, flammable liquid with highly flammable vapors. Vapors are heavier than air. Ignition by hot surface sparks or open flames.

Health hazards:

The vapors have a numbing effect, but are relatively harmless if well ventilated. Contact with the liquid causes irritation to eyes and mucous membranes.

Remarks:

Mixes completely with water. Is hazardous to water in large quantities.



58940 Claytone® APA, Thickener for Oil Paints

Claytone® APA is a rheology additive in powder form based on an inorganophilic phyllosilicate for polar to medium-polarity systems to generate thixotropic flow behavior.

Product Data

Composition: Organophilic phyllosilicate

Typical properties:
(The values indicated in this data sheet describe typical properties and do not constitute specification limits)

Bulk density: 150 – 250 kg/m³
Water content: 2 %
Specific weight: 1.7 g/cm³

Storage: Claytone® APA should be transported and stored dry in the unopened original container at temperatures between 0 and 30°C.

Applications

Coating Industry

Special Features and Benefits:

Due to its special organic modification, Claytone® APA is ideally suited for influencing the flow behavior of polar to medium-polarity coating systems. Using the additive produces thixotropic flow behavior, and therefore results in significant improvements to the anti-sagging properties while at the same time maintaining good leveling. This also optimizes storage stability, and prevents pigments and fillers from settling.

Recommended Use:

Architectural coatings:	especially recommended
Industrial coatings:	especially recommended
Protection coatings:	especially recommended
Wood and furniture coatings:	especially recommended
Printing inks:	especially recommended
Powder coatings:	especially recommended

Recommended Levels:

0.3 – 2 % additive (as supplied) based on the total formulation.

The above recommended levels can be used for orientation. Optimal levels are determined through a series of laboratory tests.

FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD

(de acuerdo con el Reglamento (UE) 2020/878)

BORAX EN POLVO



Versión 1 Fecha de emisión: 8/03/2023

Versión 2 (sustituye a la versión 1)

Fecha de revisión: 10/03/2023

Página 1 de 10

Fecha de impresión: 27/10/2023

SECCIÓN 1: IDENTIFICACIÓN DE LA SUSTANCIA O LA MEZCLA Y DE LA SOCIEDAD O LA EMPRESA.

1.1 Identificador de producto.

Nombre del producto: BORAX EN POLVO
Código del producto: 01110001
Nombre químico: tetraborato de sodio anhidro
N. Índice: 005-011-00-4
N. CAS: 1330-43-4
N. CE: 215-540-4
N. registro: 01-2119490790-32-XXXX

1.2 Usos pertinentes identificados de la sustancia o de la mezcla y usos desaconsejados.

No disponible.

1.3 Datos del proveedor de la ficha de datos de seguridad.

Empresa: **C.T.S. s.r.l.**
Dirección: Via Pieve, 20/22
Población: Altavilla Vicentina
Provincia: Vicenza
País: Italy
Teléfono: +39 0444 349088
E-mail: cts.italia@ctseurope.com
Web: www.ctseurope.com

Producto distribuido por:

Empresa: **C.T.S. ESPAÑA Productos y Equipos para la restauración S.L.**
Dirección: C/ Monturiol, 9 (Pol. Ind. San Marcos)
Población: Getafe
Provincia: Madrid
Teléfono: +34 91 601 16 40
Fax: +34 91 601 03 33
E-mail: cts.espana@ctseurope.com
Web: www.shop-espana.ctseurope.com

1.4 Teléfono de emergencia: +34 91 601 16 40 (Sólo disponible en horario de oficina; Lunes-Viernes; 09:00-14:00)

SECCIÓN 2: IDENTIFICACIÓN DE LOS PELIGROS.

2.1 Clasificación de la sustancia o de la mezcla.

Según el Reglamento (EU) No 1272/2008:

Eye Irrit. 2 : Provoca irritación ocular grave.

Repr. 1B : Puede perjudicar la fertilidad o dañar al feto.

2.2 Elementos de la etiqueta.

Etiquetado conforme al Reglamento (EU) No 1272/2008:

Pictogramas:

FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD

(de acuerdo con el Reglamento (UE) 2020/878)

BORAX EN POLVO



Versión 1 Fecha de emisión: 8/03/2023

Versión 2 (sustituye a la versión 1)

Fecha de revisión: 10/03/2023

Página 2 de 10
Fecha de impresión: 27/10/2023



Palabra de advertencia:

Peligro

Indicaciones de peligro:

H319 Provoca irritación ocular grave.
H360FD Puede perjudicar a la fertilidad. Puede dañar al feto.

Consejos de prudencia:

P201 Solicitar instrucciones especiales antes del uso.
P264 Lavarse las manos concienzudamente tras la manipulación.
P280 Llevar guantes, ropa de protección, gafas y mascarilla.
P305+P351+P338 EN CASO DE CONTACTO CON LOS OJOS: Enjuagar con agua cuidadosamente durante varios minutos. Quitar las lentes de contacto cuando estén presentes y pueda hacerse con facilidad. Proseguir con el lavado.
P308+P313 EN CASO DE exposición manifiesta o presunta: Consultar a un médico.
P337+P313 Si persiste la irritación ocular: Consultar a un médico.
P501 Eliminar el contenido/el recipiente de acuerdo con la normativa sobre residuos peligrosos o envases y residuos de envases respectivamente.

2.3 Otros peligros.

La sustancia no es PBT

La sustancia no es mPmB

La sustancia no tiene propiedades de alteración endocrina.

En condiciones de uso normal y en su forma original, el producto no tiene ningún otro efecto negativo para la salud y el medio ambiente.

SECCIÓN 3: COMPOSICIÓN/INFORMACIÓN SOBRE LOS COMPONENTES.

3.1 Sustancias.

Identificadores	Nombre	Concentración	(*)Clasificación - Reglamento 1272/2008	
			Clasificación	Límites de concentración específicos y Estimación de Toxicidad Aguda
N. Índice: 005-011-00-4 N. CAS: 1330-43-4 N. CE: 215-540-4	tetraborato de sodio anhidro	10 - 100 %	Eye Irrit. 2, H319 - Repr. 1B, H360FD	-



59960 Phenolic Resin – Hollow Beads

Phenolic hollow beads are phenolic microspheres which can offer special functions when added into grinding wheels. They help in enhancing the performance of grinding wheels as well as the manufacturing. Applications include soft grade grinding wheels for fine polishing and mirror finishing.

Features

- Act as a spacer during grinding
- Stabilize the wheel dimension from slumping during curing process
- Allow control of abrasive power
- Micron level finishing

Typical Formulation

Component	Parts by weight*
Thermosetting binder (such as powdered phenolic resin)	10 – 30
Abrasive grains	60 – 90
Fillers	0 – 15
Solvent solution	5 – 35
Phenolic Hollow Beads	20 - 35

* The information presented, including technical data and typical formulation, are based on tests and data which the manufacturer believes to be reliable and are intended for guidance only. The information is not to be taken as a warranty or representation for which we assume legal responsibility nor as permission or recommendation to practice any patented invention without license.

Particle size:	0005 - 0127 mm
Liquid density:	0.21 – 0.25 g/ml
Apparent density:	42.3 g / 500 ml
Moisture content:	1.81 %
Floation in toluene-surfactant solution:	96.0 %

Method:

The phenolic hollow beads are wetted by mixing with the solvent solution. The binder is then added in small portions until well distributed. Care should be taken to avoid as much as possible any crushing of the phenolic hollow beads. It is then placed in a mould and pressed to shape. The moulded wheel is then removed from the mould and subjected to oven baking for drying and curing. The baking temperature depends on the resin used.



87050 BEVA® 371 FILM (thin, 25 µm)

BEVA® 371 film (25 µm) is made especially for applications where it is desirable to use a thinner layer of adhesive. This may be the case in the conservation of works of art on paper, assembling collages or mounting works of art on paper.

- BEVA® 371 film is solvent-free and does not produce any harmful solvent vapors during application.
- The transparent support allows the film to be cut precisely any shape and to place it exactly where desired. This is particularly useful in the consolidation of collages and fragile materials.
- Since BEVA® 371 does not adhere to anything before it is activated with either heat or solvents; it can be inserted into loose areas, and delaminated regions and then properly aligned while the adhesive is inactive. The adhesive is then activated with a hot air blower at a temperature of 150°F or 65°C.
- BEVA® 371 is equally useful for textile and paper conservation. Since it is not a liquid, it can be applied to small, clearly defined areas without fear of spreading. If a thicker application is needed, then two layers of the 25 µ film may be used or one layer of the standard BEVA® 371 film (65 µm) may be applied.
- BEVA® 371 can be removed from absorbent surfaces by using hexane or acetone, provided these solvents do not damage the art work involved. These solvents do not damage the work of art involved. These solvents do not dissolve the adhesive, but merely swell it and, therefore, do not contaminate or stain the absorbent materials.



63451 Wheat Starch Powder

Appearance: white, fine powder
Odor: odorless
Taste: typical, neutral

Chemical Requirements:

	Specification	Result	Method
Humidity	11.0 – 13.0 %	max. 13.0 %	ICC-Standard No. 110
Protein (N x 5,7)	0.25 – 0.29 %	max. 0.35 %	AACC 46-30
Protein (N x 6,25)	0.27 – 0.32 %	max. 0.38 %	AACC 46-30
Fat	0.1 %	max. 0.20 %	AACC 30-25
Unsaturated fats	0.1 %		Literature
Ashes	0.18 – 0.20 %	max. 0.30 %	ICC-Standard No. 104/1
pH-Value	6.0 – 7.0		10 g in 100 ml water
Starch content		min. 97 %	ICC-Standard No. 123
Mesh	1.5 % > 200 µm	max. 2.0 %	Alpine sieve apparatus

Physical Requirements:

Bulk density	480 – 500 kg/m ³
Solubility in H ₂ O	Practically insoluble
Energy value	1470 kJ/100 g / 351 kcal/100 g (Literature)
Bread unit	2,4 / 100 g (Literature)
Brabender viscosity	min. 300 BU (ICC-Standard Nr. 126/1)

Microbiological Requirements:

This product complies with the recommendations of the German Association for Hygiene and Microbiology (Deutsche Gesellschaft für Hygiene und Mikrobiologie (DGHM)) and the Association of German Mills (VDM).



67204 Aldehyde Resin A 81

A pale, yellowing-resistant aldehyde resin, which is soluble in almost all paint solvents, and is compatible with practically all coating raw materials. Its main uses are combination with other resin binders and the production of all-purpose pigment pastes.

Composition: Condensation product of urea and aliphatic aldehydes.

Physical and Chemical Properties

Form:	pastilles
Color:	pale yellow
Odor:	slight odor

Product Specification

Softening range (DIN 53180):	80-95°C
Iodine color (DIN 6162):	≤ 3
Acid value (DIN EN 2114):	≤ 3 mg KOH/g
Solid content (DIN EN ISO 3251, 1g, 125°C, 1 hour):	---
pH-Value, 10%-solution (ISO 976, DIN 53785):	---
Solubility in water:	unsoluble
Viscosity at 23°C (DIN EN ISO 3219):	---

Further Properties

Density at 20°C (ISO 2811, DIN 53 217):	1.11g/cm ³
Hydroxyl value (ISO 4629, DIN ISO 4629):	40 mg KOH/g
Saponification value (ISO 3681, DIN 53401):	65 mg KOH/g
Flash temperature (DIN EN 22719):	---
Glass transition temperature T _g (DSC):	57°C

Solubility

Aldehyde Resin A 81 is soluble in all common paint solvents, but insoluble in water. Its solubility/diluent tolerance in aliphatic solvents such as mineral spirit is limited. Such solutions tend to separate, particularly at temperatures below 15°C but can be stabilized by the addition of 2-5 % of an aromatic solvent (e.g. Solvesso® 100).

Compatibility

Aldehyde Resin A 81 is compatible with many coatings raw materials including:

- Alkyd resins
- Vinyl chloride copolymers
- Chlorinated rubber
- Hydroxypolyacrylates
- Melamine-formaldehyde resins
- Cellulose nitrate
- Cellulose acetobutyrate
- Aromatic and aliphatic epoxy resins
- Hydrocarbon resins
- Phthalate plasticizers



70400 White Spirit 100/140

Product:	White Spirit 100/140
Chemical composition:	Hydrocarbons, C7-C9, n-Alkanes, Isoalkanes, Cycloalkanes
CAS No:	64742-49-0
EINECS:	920-750-0
REACH Reg. No.:	01-2119473851-33-xxxx

Specification

Properties	Values	Method
Density (15°C)	0.720 – 0.748 g/cm ³	DIN EN ISO 12185
Refraction index (20°C)	1.400 – 1.415	DIN 51423
Water content	max. 0.01 %	DIN 51777

Further Parameter

Properties	Values	Method
Color (Pt/Co)	< 10	ASTM D1209
Flash point	max. 0°C	DIN 51755
Boiling range (1013 hPa)	100 – 142°C	ASTM D1078
Aromatic content	max. 0.01%	UV/VIS (UOP 495)
Benzol	max. 0.001 %	GC
n-Hexane	< 1 %	GC
Kinematic viscosity (20°C)	0.80 mm ² /s	ASTM D7042
Aniline point	60°C	DIN ISO 2977
Sulfur, total	max. 2 ppm	DIN 51 4008
Copper strip test (3h, 50°C)	1 degree of corrosion	DIN EN ISO 2160
Evaporated residue	max. 4 mg/100 ml	DIN 53 172
Evaporation rate (Ether=1)	6.5	DIN 53 170



70700 Acetone

Chemical composition : CH_3COCH_3

Synonyms: Acetic spirit, dimethyl ketone, ketone propane, propanone

Colorless, aromatic smelling, flammable liquid. Acetone is freely miscible with water, alcohol and ether. Acetone dissolves greases, resins, shellac, vinyl resins, asphalt, acetyl cellulose, nitrocellulose, acetylene. Acetone is the simplest ketone.

Occurrence:

In the production of dry distillation of wood and in the urine of diabetics.

Production:

By dry distillation (oldest process, now unimportant) of calcium acetate (gray lime). Further, by a fermentation process discovered by Weizmann from corn, rice, etc. (here grain is split by a bacterial species into 1 tsp. acetone and 2-3 tsp. butyl alcohol), by oxidation of isopropyl alcohol or by dehydration of synth. acetic acid obtained from acetylene, from acetylene and water vapor or by the action of iron catalysts on heated alcohol and water vapor.

Uses:

As a solvent, extracting and crystallizing agent, for example in paint strippers for oil and varnish paints, solvent for acetyl cellulose in varnish and acetate silk dyeing, solvent for acetylene, for the production of adhesives, as an alcohol substitute in the dehydration of microscopic preparations, in the synthesis of diacetone alcohol, methyl isobutyl ketone, bromoacetone, chloroform, iodoform, sulfonal, etc..., for dissolving essential oils, balsams, chlorophyll, gums, resins, etc.

Crude methyl ethyl ketone can be used as an acetone substitute. Acetone was observed as early as 1661 by Boyle during wood distillation.

Product Specification:

Purity:	min. 99.5%	GC
Density at 20°C:	0.789- 0.796 g/ml	DIN 51757
Refractive index at 20°C:	1.355 – 1.360	DIN 53169
Boiling range:	55.6 – 57.1°C	DIN 53171
Water content:	max. 0.3 %	DIN 51777
Color number (Hazen):	max. 10	DIN ISO 6271
Evaporation residue:	< 0.003 g/100 ml	gravimetry

Since acetone can also be used for illegal activities, its distribution is restricted.

SIGMA-ALDRICH

sigma-aldrich.com

3050 Spruce Street, Saint Louis, MO 63103, USA

Website: www.sigmaaldrich.com

Email USA: techserv@sial.com

Outside USA: eurtechserv@sial.com

Product Specification

Product Name:

Ethylenediaminetetraacetic acid tetrasodium salt dihydrate - 99.0-102.0% (titration)

Product Number:

ED4 SS

CAS Number:

10378-23-1

MDL:

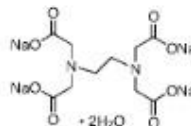
MFCD00150026

Formula:

C₁₀H₁₂N₂Na₄O₈ · 2H₂O

Formula Weight:

416.20 g/mol



TEST

Specification

Appearance (Color)

White

Appearance (Form)

Powder or Crystalline Powder or Crystals
or Granules

Solubility (Color)

Colorless

Solubility (Turbidity)

Clear

160 mg/mL, H₂O

Proton NMR Spectrum

Conforms to Structure

Loss on Drying

6.6 - 10.6 %

Sodium (Na)

19.7 - 23.0 %

Titration with EDTA

99.0 - 102.0 %

Recommended Retest Period

3 years

Specification: PRD.5.ZQ5.10000028973

Sigma-Aldrich warrants, that at the time of the quality release or subsequent retest date this product conformed to the information contained in this publication. The current Specification sheet may be available at Sigma-Aldrich.com. For further inquiries, please contact Technical Service. Purchaser must determine the suitability of the product for its particular use. See reverse side of invoice or packing slip for additional terms and conditions of sale.

Sigma-Aldrich.

3050 Spruce Street, Saint Louis, MO 63103, USA
Website: www.sigmaaldrich.com
Email USA: techserv@sigmaaldrich.com
Outside USA: eurtechserv@sigmaaldrich.com

Product Specification

Product Name:
Tannic acid - ACS reagent

Product Number: 403040
CAS Number: 1401-55-4
MDL: MFCD00066397
Formula: C₇₆H₅₂O₄₆
Formula Weight: 1,701.20 g/mol



TEST

Specification

Appearance (Color)	Faint Beige to Light Beige to Light Brown
Appearance (Form)	Powder or Solid
Infrared spectrum	Conforms to Structure
Loss on Drying	≤ 12.0 %
Residue on ignition (Ash)	≤ 0.5 %
Heavy Metal	≤ 0.003 %
as Lead	
Zinc (Zn)	≤ 0.005 %
Identification	Pass
Sugars/Dextrin Test	Pass
Meets ACS Requirements	Current ACS Specification

Specification: PRD.1.ZQ5.10000043091

Sigma-Aldrich warrants, that at the time of the quality release or subsequent retest date this product conformed to the information contained in this publication. The current Specification sheet may be available at Sigma-Aldrich.com. For further inquiries, please contact Technical Service. Purchaser must determine the suitability of the product for its particular use. See reverse side of invoice or packing slip for additional terms and conditions of sale.



Tableau de Lubrification

Fonctions	Calibres Dimensions 5" – 18"	Calibres Grandes dimensions (Pendule, horloge, réveil)	Mouvements Quartz
Axe de balancier, mobiles rapides avec peu de couple	9010 / 8000 9030 (basse température) 9040 (ultra-basse température)	9020 / 8030	9000 / 9024
Pivotement de mobiles avec un couple modéré à élevé	9101* / 9102* / 9103* / 9104* / D-5	9101* / 9102* / 9103* / 9104* / D-5	
Levées, denture de la roue d'échappement	9415 / 941 / 9010	9415 / 9020	
Ressort de barillet	8200 / 8141 / 8201		
Paroi de barillet	8217 / 8212 (aluminium) 8213 (laiton) / 9500	8141 / 8201 / 9500	
Frottement élevée, chaussée, mise à l'heure, mécanismes chrono divers	9501 / 9504 / 9520-FL / 9550 K-6** / L-5**	9504 / 9520-FL / 9550 / K-6**	
Mécanisme de remontage, calendrier	9101* / 9102* / 9103* / 9104* D-5 / K-6** / L-5**		
Tirette, poussoir, remontoir, goupille de ressort	8300 / 8301 / 8302		8300 / 8301 / 8302
O-ring, Joints d'étanchéité et habillage	8513 / 8516 / H-10	8513 / 8516 / H-10	8513 / H-10
Roulement à billes, ressorts	V106		
Roue d'inversion, cliquets	V105		

* Le choix de la viscosité dépend des réserves de marche.

Les huiles Synt-HP (9101, 9102, 9103, 9104) sont appliquées de préférence pour les paliers en rubis. Pour les paliers en laiton nous recommandons la Microgliss D-4 ou D-5.

** Dans certaines conditions, ces produits pourront être préférés aux produits standards. Pour une efficacité optimale, ces produits peuvent également être dilués dans un solvant type benzine et appliqués au trempé avant lubrification avec le produit standard.

MOEBIUS A division of The Swatch Group Research & Development Limited / moebius@moebius-lubricants.ch

A COMPANY OF THE **SWATCH GROUP**



www.moebius-lubricants.ch

TECHNICAL DATA

SYNT-HP-1300 9104

Huile de synthèse haute pression pour la mécanique de précision



Description

Dans la gamme des huiles pour haute pression 100% synthétique, l'huile HP1300 est la plus visqueuse et la dernière de la série. Outre leurs propriétés de résistance à la pression ces huiles HP sont extrêmement stables et possèdent un bon pouvoir lubrifiant ainsi qu'une excellente tenue en place. Le coefficient de frottement est très peu sensible aux conditions humides et convient à tous les type de matériaux.



Caractéristiques techniques (valeurs indicatives)

Aspect	Rouge	Onctuosité / Pouvoir lubrifiant	
Viscosité à 0°C	5900 cSt	Viscosité / Texture	
Viscosité à 20°C	1250 cSt	Résistance Vieillessement / Stabilité	
Viscosité à 40°C	380 cSt	Adhérence / Tenue	
Point de figeage	-30 °C	Compatibilité	Métaux et polymères
Densité à 20°C	0.925 g/ml	Application	Haute pression
Indice de réfraction à 20 °C	1.477	Durée de conservation	6 ans
Acidité	2.0 mg KOH / g	Plage de température	-25 °C à +100 °C

Domaines d'application

Huile haute pression employée pour :

- Micromécanique de précision (montre, minuterie, appareil de mesure, outils, ...)
- Instrumentation de bord et compteurs (automobile, aéronautique, naval,...)
- Micromoteurs et moteurs pas-à-pas
- Mécanique générale (machine de bureau, ventilateurs,...)
- Roulement à billes, pièces de mécanismes
- Lubrification de mobiles lents soumis à des pressions et couples importants (engrenage, certains rouages,...)

Carte radar



Stockage

Il est conseillé de conserver les produits Moebius dans leur emballage d'origine, protégés de la lumière, dans un endroit propre et sec et à une température idéale de 15 à 26 °C.

Après ouverture nous recommandons de conserver les produits au maximum 12 mois.



TECHNICAL DATA

SYNT-A-LUBE 9010

Huile de synthèse pour la micromécanique de haute précision



Description

Huile fine universelle 100% synthétique à base d'éther et d'alcool aliphatiques, présentant une excellente résistance au vieillissement et une bonne résistance à la pression. Egalement très efficace en conditions humides.

Dotée d'un excellent pouvoir lubrifiant et d'une tenue remarquable, cette huile est idéale pour les parties réglantes et les mobiles rapides. Convient à tous les matériaux. Existe aussi en bleu (9010-B).



Caractéristiques techniques (valeurs indicatives)

Aspect	Bleu-vert clair
Viscosité à 0°C	625 cSt
Viscosité à 20°C	150 cSt
Viscosité à 40°C	52 cSt
Point de figeage	-42 °C
Densité à 20°C	0,907 g/ml
Indice de réfraction à 20 °C	1,474
Acidité	2,4 mg KOH / g

Onctuosité / Pouvoir lubrifiant	
Viscosité / Texture	
Résistance Vieillessement / Stabilité	
Adhérence / Tenue	
Compatibilité	Plastique et métaux
Application	Universelle
Durée de conservation	6 ans
Plage de température	-30 °C à +70 °C

Domaines d'application

Huile fine universelle employée pour :

- Micromécanique de précision (montre, minuterie, appareil de mesure, outils, ...)
- Instrumentation de bord et compteurs (automobile, aéronautique, naval, ...)
- Micromoteurs et moteurs pas-à-pas
- Caméras et instruments optiques
- Mécanique générale (machine de bureau, ventilateurs, ...)
- Lubrification de mobiles rapides à faible couple (pivot de balancier, échappement, certains rouages, ...)

Carte radar



Stockage

Il est conseillé de conserver les produits Moebius dans leur emballage d'origine, protégés de la lumière, dans un endroit propre et sec et à une température idéale de 15 à 26 °C.

Après ouverture nous recommandons de conserver les produits au maximum 12 mois.



TECHNICAL DATA

SYNTHETIC GREASE 9501

Graisse de synthèse pour la micromécanique de haute précision



Description

Graisse molle, 100% synthétique et thixotropique, développée pour résoudre des problèmes de frottement (mise à l'heure) et d'autre frottement entre aciers.

La base est un mélange d'huiles synthétiques de haute stabilité, acquérant la consistance de graisse nécessaire par adjonction d'un Aerosil. Convient pour des charges moyennes pour un large domaine d'application.



Caractéristiques techniques (valeurs indicatives)

Aspect	Bleu
Pénétration	400 1/10 mm
Point de goutte	Non fusible
Huile de base	Synthétique
Viscosité à 20°C	176 cSt
Indice de réfraction à 20 °C	1.463
Point de figeage	-38 °C
Acidité	0.5 mg KOH / g

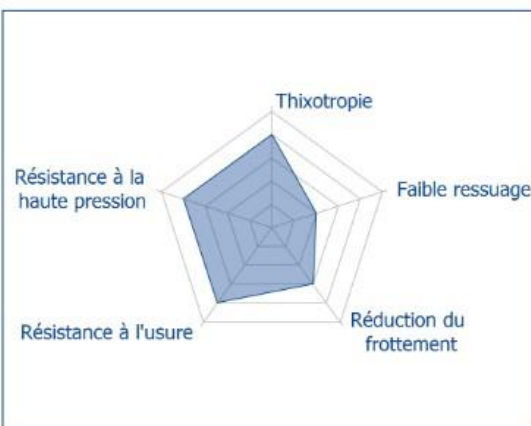
Onctuosité / Pouvoir lubrifiant	
Viscosité / Texture	
Résistance Vieillesse / Stabilité	
Adhérence / Tenue	
Compatibilité	Métaux et certains polymères
Application	Universelle
Durée de conservation	6 ans
Plage de température	-30 °C à +80 °C

Domaines d'application

Graisse synthétique fluide employée pour :

- Micromécanique de précision (montre, minuterie, appareil de mesure, outils, ...)
- Instrumentation de bord et compteurs (automobile, aéronautique, naval, ...)
- Mécanique générale (machine de bureau, ventilateurs, ...)
- Lubrification de mobiles lents soumis à des pressions et couples importants (engrenage, certains rouages, ...)
- Friction élevée soumise à des pressions modérées à fortes (mise à l'heure, remontage, calendrier et mécanisme chronographe, ...)

Carte radar



Stockage

Il est conseillé de conserver les produits Moebius dans leur emballage d'origine, protégés de la lumière, dans un endroit propre et sec et à une température idéale de 15 à 26 °C.

Après ouverture nous recommandons de conserver les produits au maximum 12 mois.

MOEBIUS A division of The Swatch Group Research & Development Limited / moebius@moebius-lubricants.ch

A COMPANY OF THE **SWATCH GROUP**



www.moebius-lubricants.ch

12.11.18 C

TECHNICAL DATA

SYNTHETIC GREASE 9415

Graisse de synthèse pour la micromécanique de haute précision



Description

Graisse thixotropique molle, 100% synthétique, qui présente une excellente stabilité et un très bon pouvoir lubrifiant permettant une réduction efficace de l'usure. Spécialement développée pour la lubrification de l'échappement, elle permet la formation d'un film lubrifiant efficace.



Caractéristiques techniques (valeurs indicatives)

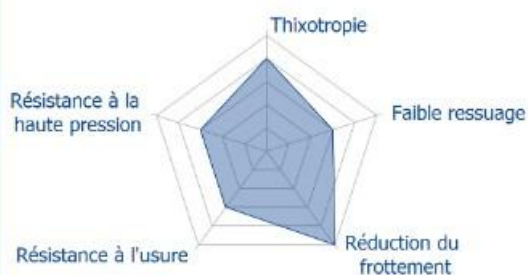
Aspect	Jaune	Onctuosité / Pouvoir lubrifiant	
Pénétration	405 1/10 mm	Viscosité / Texture	
Point de goutte	70 °C	Résistance Vieillessement / Stabilité	
Huile de base	Esters	Adhérence / Tenue	
Viscosité à 20°C	110 cSt	Compatibilité	Métaux et certains polymères
Indice de réfraction à 20 °C	1.475	Application	Idéal pour l'échappement
Point de figeage	-35 °C	Durée de conservation	6 ans
Acidité	5 mg KOH / g	Plage de température	-30 °C à +80 °C

Domaines d'application

Graisse synthétique employée pour :

- Micromécanique de précision (montre, minuterie, appareil de mesure, outils, ...)
- Instrumentation de bord et compteurs (automobile, aéronautique, naval,...)
- Micromoteurs et moteurs pas-à-pas
- Roulement à billes, pièces de mécanismes
- Lubrification de mobiles rapides à faible couple (pivot de balancier, échappement, certains rouages,...)

Carte radar



Stockage

Il est conseillé de conserver les produits Moebius dans leur emballage d'origine, protégés de la lumière, dans un endroit propre et sec et à une température idéale de 15 à 25 °C.

Après ouverture nous recommandons de conserver les produits au maximum 12 mois.



Annexe E : Interventions antérieures, sources et documentation

La présente annexe réunit la documentation relative aux interventions antérieures identifiées sur l'objet ainsi que les sources externes mobilisées pour leur interprétation. Elle développe l'argumentaire d'identification et de datation résumé dans le tableau 1 (section 1.2.2) et le diagnostic (section 5), propose une séquence chronologique de ces interventions et rassemble les documents de comparaison : fiches muséales, procès-verbal d'entretien, déplacement pour observer des objets similaires, documentation de vente.

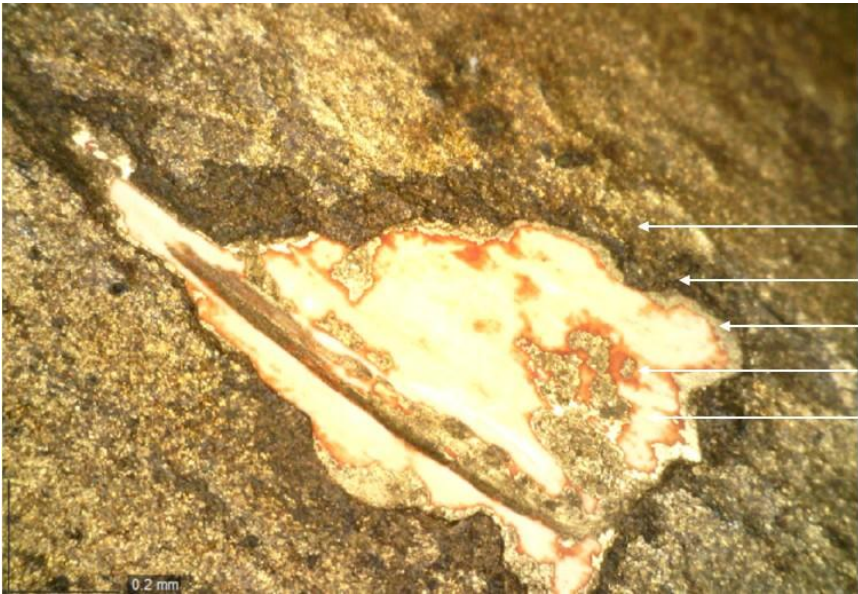
E.1 Argumentaire d'identification et de datation des interventions antérieures

Les interventions antérieures recensées dans le tableau 1 sont reprises ci-dessous dans le même ordre, celui de la fabrication supposée de l'objet, avec le développement de l'argumentaire justifiant leur identification et les hypothèses de datation associées. Les indices proviennent de l'observation visuelle et sous microscope USB, de l'examen sous fluorescence ultraviolette (365 et 250 nm), des analyses FTIR et XRF, ainsi que de la comparaison avec les objets documentés dans les sections E.4 à E.6 de la présente annexe.

Intervention (ordre de fabrication)	Indices et sources d'identification	Argumentaire et hypothèse de datation
Cadre, partie intérieure : trous de clous inactifs	Trous sans clou ni fonction dans le montage actuel, concentrés à proximité de la zone du mécanisme horloger. Observation visuelle.	L'absence de correspondance entre ces trous et le montage actuel indique une modification de la fixation ou un possible réemploi d'éléments. Aucun indice matériel ne permet de dater cette modification. Datation indéterminée.



Intervention (ordre de fabrication)	Indices et sources d'identification	Argumentaire et hypothèse de datation
Cadre : comblement de galeries xylophages	Matériau de bouchage de couleur et de texture variables, distinct du bois. Observation visuelle et sous microscope USB.	La variabilité de couleur et de texture suggère au moins une campagne de bouchage. Le matériau n'a pas été identifié analytiquement. Le comblement est nécessairement postérieur à une phase d'infestation. Datation indéterminée.
		
Cadre : première couche de bronzine sur la dorure originelle (bronzine 1)	Poudre de laiton et de cuivre en suspension dans un liant identifié comme résine polyuréthane par FTIR (Passaretti, 2026). Position stratigraphique directement sur la dorure.	Les résines polyuréthanes sont commercialisées à partir des années 1950 (communication N. Balcar, C2RMF, 2026), ce qui fournit un <i>terminus post quem</i> . La fourchette 1950 à 1990 traduit l'hypothèse d'une application nettement antérieure à la seconde bronzine, dont elle se distingue par un état de vieillissement plus avancé.
Cadre : seconde couche de bronzine (bronzine 2)	Seconde couche identifiée par examen stratigraphique. Liant	La position stratigraphique établit la postériorité par rapport à la bronzine 1.

Intervention (ordre de fabrication)	Indices et sources d'identification	Argumentaire et hypothèse de datation
	identique à celui du vernis de finition (gomme laque). Fluorescence orange sous UV (365 nm).	Le liant commun avec le vernis de finition suggère une application conjointe des deux couches. Le vieillissement de la couche au liant polyuréthane a vraisemblablement motivé cette reprise. Hypothèse : 1960 à 2000.
Cadre : vernis de finition sur la bronzine	Vernis jauni. Liant de type gomme laque, identique à celui de la bronzine 2. Fluorescence sous UV.	L'identité de liant avec la bronzine 2 oriente vers une application conjointe. La même fourchette hypothétique est retenue (1960 à 2000).
 Bronzine – Gomme laque Bronzine – Polyuréthane Dorure à la feuille Assiette rouge Préparation blanche		
Plaque peinte : vernis postérieur	Vernis jauni, application hétérogène et inégale, incohérente avec une finition d'atelier.	L'hétérogénéité de l'application plaide pour une intervention postérieure à la fabrication. En l'absence d'identification du liant, la fourchette 1870 à 1990 demeure large.
Plaque peinte : découpe ou modification du support métallique	Découpes distinctes présentant des traces d'outils différents. Observation visuelle.	La coexistence de traces d'outillages différents indique une reprise de la

Intervention (ordre de fabrication)	Indices et sources d'identification	Argumentaire et hypothèse de datation
		découpe postérieure au façonnage initial de la tôle. Datation indéterminée.
		
Décor tridimensionnel : reprises de surface et applications adhésives (résine époxy)	Résine époxy identifiée par FTIR (Passaretti, 2026) dans des zones de reprise localisées.	Les résines époxy sont des matériaux de synthèse commercialisés après 1950 : <i>terminus post quem</i> . (Down, 2015)

Intervention (ordre de fabrication)	Indices et sources d'identification	Argumentaire et hypothèse de datation
		
Décor tridimensionnel : reprises de surface et applications adhésives (PVAc)	Acétate de polyvinyle identifié dans des applications adhésives localisées (FTIR, Passaretti, 2026).	Le PVAc entre dans l'usage courant des adhésifs au milieu du XX ^e siècle (Horie, 2010): après 1950.
Décor tridimensionnel, papier de l'eau : collage d'une fissure	Colle non identifiée le long d'une fissure du papier.	Le matériau n'a pas été identifié. Datation indéterminée.
Décor tridimensionnel, bateau : collage des extrémités des cordages	Adhésif blanc rigide, d'aspect semblable à la PVAc, aux extrémités des ficelles.	L'aspect du matériau oriente vers un adhésif vinylique, sans confirmation analytique.

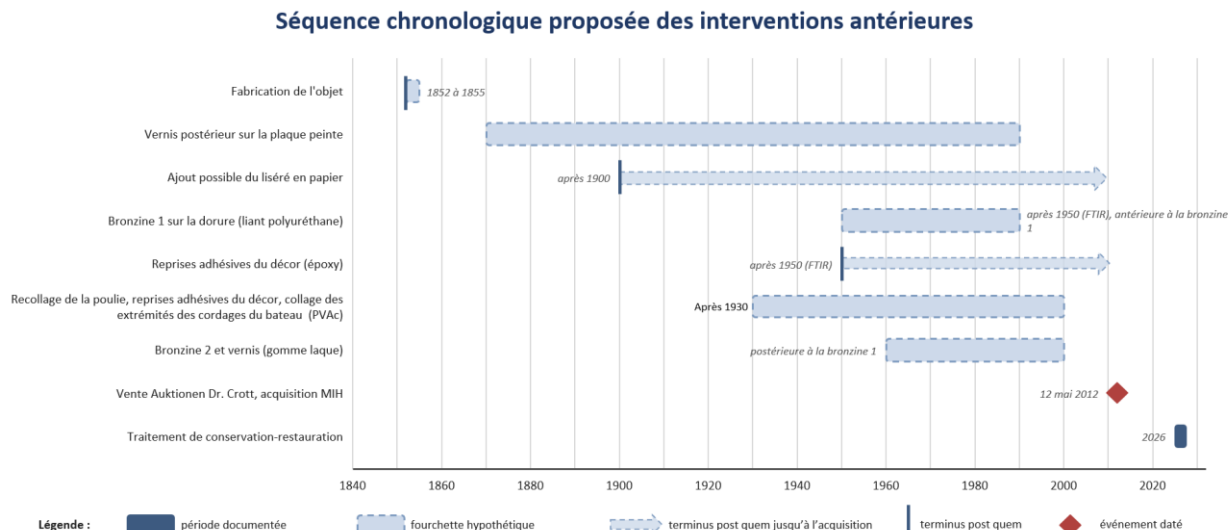
Intervention (ordre de fabrication)	Indices et sources d'identification	Argumentaire et hypothèse de datation
Décor tridimensionnel : liséré en papier possiblement ajouté	Lisé en papier. Sur les objets de comparaison (MuAM ; Rouillac, 2019), cette zone est constituée d'une fine plaque de bois recouverte par le cadre, sans liséré en papier.	La comparaison typologique suggère que le liséré, voire le cadre dans son ensemble, constitue un ajout postérieur à la fabrication (voir section 1.2.2 et bloc 5).
Mécanisme d'automate : recollage d'une poulie fracturée	Adhésif blanc appliqué en couche épaisse, d'aspect semblable au PVAc.	Le matériau oriente vers un adhésif vinylique du XX ^e siècle, sans confirmation analytique.
Mécanisme horloger : repositionnement	Trous inactifs dans la zone de fixation du mouvement.	Comme pour le cadre, l'absence de correspondance entre ces trous et le montage actuel témoigne d'une modification de la fixation. Datation indéterminée.
Mécanisme horloger : bouchonnage du mobile fourchette-échappement	Bouchon en laiton visible sous microscope.	Le bouchonnage constitue une réparation horlogère courante destinée à rétablir le diamètre d'un palier usé ; il témoigne d'au moins un entretien du mouvement. Datation indéterminée. Cet entretien n'a pas eu lieu dans le musée

Tableau 27 argumentaire d'identification et de datation des interventions antérieures

E.2 Proposition de séquence chronologique des interventions

La séquence proposée ci-dessous combine trois types d'arguments : les *terminus post quem* fournis par l'identification des matériaux (polyuréthane, époxy, PVAc, tous commercialisés après 1950), les relations d'ordre établies par la stratigraphie (notamment la succession dorure, bronzine 1, bronzine 2 et vernis sur le cadre) et les événements datés par les sources documentaires (vente Auktionen Dr. Crott en 2012, présent traitement). Les interventions dépourvues d'indice matériel datable sont regroupées séparément : leur position dans la séquence demeure inconnue.

Cette représentation constitue une interprétation et non une chronologie établie. Les fourchettes figurées traduisent des hypothèses dont les limites sont explicitées dans le tableau ci-dessus ; seules les relations d'ordre stratigraphiques et les événements documentés présentent un caractère certain.



Interventions à datation indéterminée (position chronologique inconnue)

- Trous de clous inactifs du cadre (modification de montage ou réemploi)
- Complements des galeries xylophages du cadre
- Découpe ou modification de la plaque de zinc
- Collage de la fissure du papier de la mer
- Repositionnement du mécanisme horloger (trous inactifs)
- Bouchonnage du mobile fourchette-échappement

Ordre relatif établi par la stratigraphie du cadre (indépendant des datations)



Note : la succession stratigraphique fournit un ordre relatif certain entre ces couches, indépendamment des fourchettes de datation figurées sur la frise.

Figure E.1 : séquence chronologique proposée des interventions antérieures identifiées sur l'IV-913. Les zones hachurées correspondent aux fourchettes hypothétiques, les dégradés aux terminus post quem sans borne supérieure.

E.3 Documentation muséale de l'objet et de la collection du MIH

La fiche de la base de données Museum+ du MIH constitue la source de référence pour l'inventaire, la provenance et l'historique de l'objet au sein de la collection.

Œuvres (3)

ID: 44418 | BranchiniA 27.01.2025

N° d'inventaire	IV-913		
Type d'œuvre	Montres / Horloges / Réveils	Genre d'objet	Tableau
Désignation	Tableau horloge à automates		
Description	TABLEAU À AUTOMATES Deux mouvements d'horlogerie permettent l'animation du tableau: le mouvement de l'horloge, qui indique les heures et les minutes, ainsi qu'un second mouvement, qui fait bouger le bateau. Anonyme, milieu du 19e siècle. Achat		
Auteurs/interv.			
De	1837	À	1861
Période	milieu 19e s.	Datation	

Domaine	MIH Collection
Loc. actuelle	
Loc. perm.	Couloirs->Référentiel MIH , Couloirs atelier



Données de base	Données d'acquisition / Provenance	Mouvement	Affichage et commandes	Iconographie	Dossier d'œuvre / Données d'inventaire	Références
Inscriptions					Fonds	
Dimensions	dimensions: 73 x 98 x 20 cm				État conserv.	Bon
Matières et techniques					Lieu production	
Propriétaire	Musée international d'horlogerie, La Chaux-de-Fonds				Habillage	
Dépositaire					Localisations	Couloirs, Couloirs atelier
					Ensemble	Nbre pièces
					Déf. ensemble	

Fiche Museum+ de l'objet IV-913. © Musée international d'horlogerie, La Chaux-de-Fonds.

Le MIH conserve d'autres tableaux-horloges à automates, dont les fiches Museum+ sont reproduites ci-dessous. Elles permettent de situer l'IV-913 au sein de la collection et de comparer les typologies, les matériaux et les états documentés.

N° d'inventaire	IV-915		
Type d'œuvre	Montres / Horloges / Réveils	Genre d'objet	Tableau
Désignation	Tableau avec horloge		
Description	Peinture à l'huile représentant une église avec deux clochers, dont un contient un cadran d'horloge relié à un mouvement de pendule neuchâteloise placé à l'arrière. Deux corps de rouage, sonnerie trois quarts et heures et déclenchement à la demande. Sonnerie sur deux timbres distincts.		
Auteurs/interv.			
De	1895	À	1905
Période		Datation	vers 1900

Domaine	MIH Collection
Loc. actuelle	Couloirs->Référentiel MIH
Loc. perm.	Couloirs->Référentiel MIH , Couloirs atelier



Données de base	Données d'acquisition / Provenance	Mouvement	Affichage et commandes	Iconographie	Dossier d'œuvre / Données d'inventaire	Références
Inscriptions					Fonds	
Dimensions	dimensions cadre/socle: 64 x 78 x 15 cm dimensions image: 49 x 63 cm				État conserv.	Bon
Matières et techniques	Matériau/Technique: Bois (doré)				Lieu production	La Sagne (Neuchâtel -> Suisse)
Propriétaire	Musée international d'horlogerie, La Chaux-de-Fonds				Habillage	
Dépositaire					Localisations	réserve, Couloirs réserve, Abri 2 Couloirs, Couloirs atelier
					Ensemble	Nbre pièces
					Déf. ensemble	

Œuvres (236)

ID: 33374 | BranchiniA 21.02.2025

N° d'inventaire

IV-349

Type d'œuvre

Montres / Horloges / Réveils

Genre d'objet

Tableau

Désignation

Horloge tableau

Description

Tableau-horloge dont la peinture représente le bassin lucernois (lac) avec l'église Saint-Léopold. Ses deux tours ont des cadrans encastrés. A l'arrière plan sont peints le Pilatus et le Rigi. Mouvement de pendule avec échappement à roue de rencontre, trois corps de rouage, sonnerie des quarts sur deux timbres et répétition à tirage.

Auteurs/Interv.

De

1825

À

1835

Période

Datation

vers 1830

Domaine

MIH Collection



Loc. actuelle

Loc. perm.

mur est 26-> Abri 2 ->Référentiel MIH

Données de base	Données d'acquisition / Provenance	Mouvement	Affichage et commandes	Iconographie	Dossier d'œuvre / Données d'inventaire	Références
Inscriptions					Fonds	
Dimensions	dimensions min/max: 601 x 700 mm				État conserv.	
Matières et techniques	Matériau, Bois				Lieu production	
					Habillage	Oui
					Localisations	mur est 26
Propriétaire	Musée international d'horlogerie, La Chaux-de-Fonds				Ensemble	
Dépositaire					Déf. ensemble	

Tableaux-horloges à automates de la collection du MIH. © Musée international d'horlogerie, La Chaux-de-Fonds.

E.4 Discussion avec Monika Dannegger (ACR, Fribourg)

L'entretien suivant a été conduit dans le cadre de l'étude des interventions antérieures et des pratiques de traitement appliquées à un objet comparable : le tableau-horloge de la collection Sandoz, restauré en 2009 par l'atelier ACR de Fribourg (Monika Dannegger et Barbara Königer) et publié dans le catalogue de la collection (Pin, 2010). Le procès-verbal, validé par l'interlocutrice, est reproduit ci-dessous.

Procès-verbal d'entretien

Monika Dannegger, ACR Atelier de Conservation et de Restauration, Fribourg. Entretien téléphonique, 22 juin 2026.

Chronologie de la restauration

La restauration a été réalisée en 2009, avec les premiers devis établis en décembre 2008. Le rapport simplifié publié dans le catalogue de la collection Sandoz (Pin, 2010, vol. II) correspond à cette intervention. L'objet a été exposé à l'issue du traitement en septembre 2009, où il a été présenté recto verso, puis ultérieurement aux États-Unis, à New York.

Datation de l'objet et analyses scientifiques

La datation de 1710 inscrite sur le filet d'encadrement n'a pas été remise en cause à l'issue des analyses. Il a été établi qu'Antoine Watteau avait utilisé ce bleu sur des œuvres de la même période, notamment dans des collections de Berlin-Potsdam, ce qui rend la présence de ce pigment compatible avec la datation. La question

de l'attribution à Watteau a constitué la principale motivation des analyses scientifiques approfondies : l'objectif était moins de guider les décisions de traitement que de mieux comprendre l'histoire de l'objet et de confirmer ou infirmer l'attribution à cette période.

Interventions antérieures et étiquette Dauchez

Il n'a pas été possible d'établir précisément ce qu'avait réalisé le restaurateur Philippe Dauchez lors de son intervention documentée (1973-1975). Les analyses ont révélé la présence de plusieurs vernis synthétiques, attribuables au XX^e siècle, mais sans qu'il soit possible de les rattacher spécifiquement à Dauchez ou à une intervention antérieure. Deux des disques ont été identifiés comme non originaux sur la base de leur composition papier : observés sous microscope en lumière rasante, ils se distinguent des autres par le fait d'être constitués d'une feuille unique, alors que les autres disques et la grande plaque sont composés de plusieurs fragments de papier assemblés.

Résine polyuréthane et bronzine

La présence de résine polyuréthane parmi les vernis synthétiques a été identifiée par analyse FTIR. Aucune datation précise n'a pu être établie. La question de l'antériorité ou de la postériorité de cette couche par rapport à l'intervention Dauchez est restée ouverte.

La bronzine présente sur le cadre n'a pas fait l'objet d'analyses de liant approfondies : les observations se sont limitées à la stratigraphie sous microscope binoculaire. Le liant n'a donc pas été formellement identifié, il semblait être de nature huileuse.

Traitement du cadre et processus de décision

Le cadre a donné lieu à des discussions importantes entre l'équipe de restauration, Bernard Pin (auteur du catalogue, expert mandaté) et Jacques-Michel Pittier (conservateur, représentant de la Fondation Sandoz). Bernard Pin souhaitait une reconstitution de la dorure à l'assiette, considérant que c'était la technique d'origine. Les restauratrices ont établi, sur la base des analyses, qu'aucune trace d'assiette n'a été trouvée et que la dorure d'origine était à la mixtion, appliquée directement sur le bois. Cette position a été maintenue.

La décision finale a été une reconstitution partielle des éléments sculptés manquants, confiée à un sculpteur, suivie d'une restitution de la dorure à la mixtion par un doreur à Berne, puis patinée de façon à rendre perceptible le caractère nouveau de l'intervention sans que celui-ci soit visuellement choquant.

Sur la couche picturale, les retouches ont été volontairement limitées et discrètes. La position adoptée a été de stabiliser et de rendre l'ensemble cohérent sans procéder à des reconstitutions illusionnistes trop étendues.

Organisation du travail

Monika Danegger a assuré le rôle de personne de contact avec la Fondation, et a participé aux phases de tests et de définition d'intervention. L'exécution du traitement a été réalisée principalement par Barbara

Köninger. Ce mode d'organisation repose sur une discussion continue entre les deux restauratrices plutôt que sur une répartition stricte des tâches.

La consolidation du papier et de la couche picturale a été réalisée avec de la BEVA 371, choix motivé par la réactivité du support métallique à tout apport aqueux et par la nécessité d'éviter de générer de nouvelles réactions. Le verso de la plaque a été légèrement nettoyé sans intervention supplémentaire.

Mécanisme et fonctionnement

La remise en fonctionnement du mécanisme d'entraînement des disques n'a pas été envisagée : l'état de fragilité de l'ensemble le rendait impossible. Le montage des roues avec de nouvelles pointes a été confié à Raúl Pages (Parmigiani Fleurier), dont l'intervention ici s'est limitée à cet aspect mécanique. Des recommandations pour une caisse de transport spécifique ont été rédigées et utilisées.

Bilan rétrospectif

Monika Danegger considère que le traitement réalisé était adapté et ne ferait pas l'objet de décisions différentes avec le recul. Une partie des discussions ont porté sur le cadre et sur l'étendue des retouches picturales, mais les positions défendues par l'équipe de restauration ont été maintenues et sont jugées cohérentes avec les principes déontologiques appliqués.

Apport pour l'étude

Cet entretien apporte plusieurs points de comparaison directs. La présence de plusieurs vernis synthétiques du XX^e siècles non rattachables à une intervention documentée illustre la même difficulté d'attribution que celle rencontrée sur l'IV-913, dont aucune intervention antérieure n'est documentée par des sources écrites. L'identification par FTIR d'une résine polyuréthane sur l'objet Sandoz, sans datation possible au-delà de la fourchette générale du XX^e siècle, rejoint le cas de la bronzine 1 du cadre de l'IV-913. La bronzine du cadre Sandoz, au liant supposé huileux mais non analysé, montre par ailleurs que l'application de bronzine sur des cadres dorés de tableaux-horloges constitue une pratique récurrente d'intervention postérieure sur cette typologie d'objets. Enfin, l'identification d'éléments non originaux par comparaison de la constitution des papiers fournit un parallèle méthodologique avec l'examen du liséré en papier de l'IV-913. Les deux traitements diffèrent en revanche sur la question du fonctionnement : la remise en mouvement a été écartée pour l'objet Sandoz en raison de sa fragilité.

E.5 Objets comparables conservés au Musée des arts et métiers (Paris)

Les fiches de la base documentaire du Musée des arts et métiers (MuAM, Paris) relatives aux tableaux animés et automates comparables ont été consultées en février et mars 2026, en complément de l'observation directe des objets. Quinze objets ont été retenus. Ces fiches présentent un double intérêt pour la présente annexe : elles documentent la typologie à laquelle appartient l'IV-913 et attestent que les interventions antérieures constituent une réalité récurrente sur ces objets, plusieurs fiches mentionnant explicitement des restaurateurs

et des dates d'intervention (Joseph Auricoste, Bulla en 1953, atelier du CNAM en 1981) ou des matériaux de restauration (papier japon).

N° inv.	Désignation	Datation	Interventions antérieures documentées	Éléments notables pour la comparaison
01407-0001	Tableau animé : parc de château (de Saint-Jean)	1771	J. Auricoste (1880-1960) ; Musée des arts et métiers, CNAM, 1981	Cadre en bois doré ; défilé de personnages porté par une chaîne sans fin ; mouvement à barillet.
01407-0002	Tableau animé : château de Saint-Ouen (Desmares)	1759	Bulla, 1953 ; J. Auricoste (1880-1960)	Décor animé multiplan ; soufflet sonore ; étain et zinc mentionnés parmi les matériaux (avec incertitude dans la fiche).
01407-0003	Tableau animé : ville avec un pont, personnages, animaux	1700-1750	J. Auricoste (1880-1960)	Typologie du défilé sur un pont.
16418	Tableau animé : machine à vapeur à balancier (Bourdon)	1829	Aucune documentée	Tableau articulé en carton et papier.
20357	Tableau à mouvement et à musique	1800-1825	J. Auricoste (1880-1960)	Objet le plus proche : horloge à mécanisme indépendant de l'animation ; décor en métal peint ; cadre en plâtre doré sur âme en bois ; défilé sur courroie sans fin.
20462	Automate : mécanisme de bateaux mobiles (Piolaine et Crevier)	Vers 1825	J. Auricoste (1880-1960)	Brevets de 1835 et 1836 pour un mécanisme imitant le mouvement de navires en mer ; bateau monté sur levier à contrepoids ; décor disparu.

N° inv.	Désignation	Datation	Interventions antérieures documentées	Éléments notables pour la comparaison
45402	Automate : marine sous cloche	Vers 1880	Aucune documentée	Bateau animé sur mer en papier gouaché ; moulin ; décor en carton ; boîte à musique.
45416	Automate : marine sous globe	1880-1900	Aucune documentée	Bateau qui tangue ; échelles de corde du navire ; système de remontage à cordelette absent ; état du papier empêchant la remise en mouvement de la mer.
45421	Automate : pendule aux singes musiciens	Napoléon III	Aucune documentée	Combinaison d'une pendule et d'un tableau animé ; gomme laque en préparation de la marqueterie.
45423	Automate : marine sous cloche	Vers 1900	Aucune documentée	Bateau, moulin et train animés ; boîte à musique signée CP & C ; gréement en ficelle.
45424	Tableau animé : scènes diverses (Dejord)	Vers 1870	Aucune documentée	Fabricant documenté dès 1856 (Annuaire-Almanach Didot) comme fabricant de tableaux et cartonnages mécaniques ; lithographies rehaussées et découpées.
45425	Tableau animé : singes musiciens	1880-1900	Papier japon (restauration, non datée)	Horloge indépendante de la musique et de l'animation ; toile peinte à l'huile ; personnages en carton découpé.
45447	Automate : la leçon amoureuse	Vers 1850	Papier japon (restaurations, non datées)	Éléments mobiles découpés dans la lithographie d'origine, lacunes comblées et teintées ;

N° inv.	Désignation	Datation	Interventions antérieures documentées	Éléments notables pour la comparaison
				plaque de plexiglas de protection à l'arrière.
45453	Automate : Venise imaginaire	1855-1880	Papier japon (restauration ancienne, mention avec incertitude)	Fabricant Vincenti et Compagnie, identique à celui du mouvement de l'IV-913 ; horloge intégrée au décor ; personnages en carton découpé.
45460	Automate : Pont du Rialto (Cailly, Piolaine, Crevier)	Vers 1850	Aucune documentée	Platine en alliage de zinc ; horloge dans le décor ; bateaux animés d'un mouvement de tangage.

Tableau 28 objets comparables du MuAM, d'après les fiches de la base documentaire du musée. © Musée des arts et métiers.

Les fiches de la base documentaire du MuAM sont reproduites ci-dessous.

45453-0000-
vendredi 27 février 2026



© Musée des arts et métiers

Département: Objet Patrimonial
Désignation: Automate : Venise imaginaire
Nature de l'objet: Objet grandeur réelle
Auteur matériel: Vincenti et Compagnie, 1834 - 1890
Date de fabrication: 1855-1880
Matériaux et Techniques: Bois (structure, cadre) Carton (décor) Papier Japon (restauration ancienne ?) Alliage ferreux (mécanismes, attache, charnières, aiguilles horloge) Verre (vitre) Email (cadran) Stuc (moulures) Or (moulures) Fibre indéterminée (ficelles qui dépassent) Cire (fixation support mécanisme) Papier journal (à l'intérieur) Fibre indéterminée (tampons des matreaux)
Description: Tableau animé de grande taille représentant divers personnages et décors en silhouettes

La scène représente diverses activités se déroulant dans un cadre vénitien avec au premier plan : un couple de musiciens de rue devant une église en ruines portant une horloge, deux béliers s'affrontant et un marin faisant du feu à côté d'une barque (ou il rabote selon les différentes descriptions, à vérifier) derrière laquelle se trouve un autre marin. Les figures des musiciens sont en carton découpé, collé sur le plan. Au second plan : un gondolier se dirige vers un couple qui le hèle et un homme accoudé sur un muret, le tout devant un fond d'architectures. Un pont, sur lequel se

Dimensions: 82,8 x 101,5 x 18,4 cm, 26,5 kg
Description Inventaire: L'ensemble se compose de deux éléments : l'automate et une clé.
Inscription(s): Il manque une baguette en bois pour soutenir le cadre une fois ouvert et un balancier de l'horloge. Sur le bois "sept 79 R.Bonvalet ; Restauration ; 14, rue Augereaux, 75007 Paris

trouve une femme portant un pot sur sa tête, découpé dans du carton et fixé au dessus des maisons. Au troisième plan : un train circule sur un viaduc devant la mer, un voilier, un moulin sur un rocher avec trois palmiers, une cavité dans le rocher dans laquelle se trouve une sorte de cascade, une femme plongeant une cruche dans l'eau. Le moulin est en ronde bosse.
Les deux premiers plans sont en carton mince découpé et reposent sur des petits tasseaux de bois. Le tout est peint à la gouache vernie. Le fond du décor constituant le troisième plan est en carton peint à la gouache non vernie. Ce carton est maintenu par des baguettes de bois à l'arrière. La tête des musiciens, les béliers, le bras du marin, la gondole, le bras de l'homme du couple hélant le gondolier, le train, le voilier, les ailes du moulin sont des éléments mobiles.
Mouvement : fonctionne
Musique (1 air) : oui - fonctionne - sonnerie fonctionne
Un mouvement de sonnerie vient frapper 2 gonds fixés sur le bois. Le mouvement d'horloge a également un mouvement de sonnerie. Il y a un mouvement musical. Un gros moteur entraîne une courroie à fil qui vient animer les mobiles.
Le mécanisme est composé de quatre ressorts spiraux : un pour l'horloge, un pour sa cloche, un pour une seconde cloche et un pour le mouvement des personnages, ce dernier est le seul accessible par l'extérieur. Beaucoup de pièces mécaniques ont été déplacées. La clé sert la mise en mouvement du tableau.
Il faut une clé carrée de 13 pour la sonnerie de cloches et une clé carrée de 10 pour l'horloge.
82,8 x 101,5 x 18,4 cm, 26,5 kg
L'ensemble se compose de deux éléments : l'automate et une clé.
Il manque une baguette en bois pour soutenir le cadre une fois ouvert et un balancier de l'horloge.
Sur le bois "sept 79 R.Bonvalet ; Restauration ; 14, rue Augereaux, 75007 Paris

Au dos de l'horloge : Vincenti & Cie - médaille d'argent

Fiche de la base documentaire du MuAM, objet n° 45453, Venise imaginaire (pages 1 et 2). © Musée des arts et métiers.

45460-0000-
vendredi 27 février 2026



© Musée des arts et métiers

Département: Objet Patrimonial
Désignation: Automate : Pont du Rialto
Nature de l'objet: Objet grandeur réelle
Auteur matériel: J. C. Cailly
Auteur matériel: Michel Joseph Nicolas Piolaïne
Auteur matériel: Solon Crevier, né 1803
Auteur intellectuel: Michel Joseph Nicolas Piolaïne
Auteur intellectuel: Solon Crevier, né 1803
Auteur intellectuel: J. C. Cailly
Date de fabrication: C. 1850
Matériaux et Techniques: Métal peint (pont, bâtiments, bateaux) Métal émaillé (cadran d'horloge) Coton (tissus pour figurer l'eau) Carton ou papier peint (bateaux) Bois (socle, bateaux) Acier (mécanisme) Laiton (mécanisme) Alliage de zinc (matériau de la platine) Fibre indéterminée (cordelette du mécanisme de l'horloge, siège gondole du centre)
Description: Reconstitution d'un quartier de Venise : le pont du Rialto. Scène animée sur socle reconstituant un quartier de Venise où se meuvent gondoles et bateaux. Sur le canal, trois bateaux tangent (une barque à gauche, une gondole au

Dimensions: ensemble avec clé en place et balancier: 58 x 45 x 27 cm, 12,91 kg.
clé à plat: 1 x 4,5 x 8,5 cm, 20g.
balancier à plat: 0,7 x 3,2 x 22,3 cm, 35g.
Description Inventaire: L'ensemble se compose de quatre éléments : l'automate (le socle avec les bateaux est indépendant de l'architecture et du pont), une clé carrée de remontage et un balancier.
Inscription(s): Signature, gravée sur la platine du moteur : Breveté / Pidaine Aîné & / Solon Crevier / de Dieppe ; estampé dans un oval : BREVETE ; estampé dans un oval : J. C. / Cailly ; estampé dans un autre oval : [illisible] ; estampé figurant sur la boîte à musique : REUGE SWITZERLAND SUISSE ; gravé sur la clé : 9 ; gravé sur le balancier : 671

centre, un bateau à moteur à droite), animés d'un mouvement d'avant en arrière. La gondole au centre est dirigée par un gondolier.
Le pont et les bâtiments sont en métal peint avec une couche picturale huileuse, épaisse et brillante. Le socle en bois non peint est orné de motifs décoratifs en bois clair incrustés sur le devant. L'horloge est présentée dans la tour la plus haute avec socle en palissandre, le cadran est en métal émaillé. L'eau est figurée par un morceau de textile de coton bleu céladon formant des vagues pour simuler l'onde et percé de manière à positionner les bateaux, constitués de bois et/ou métal recouverts de papier et de textile, sur les mécanismes qui les animent.
Les différents éléments de papier sont peints à la gouache. Le coton est maintenu en place en périphérie par le poids des bâtiments. Le décor architectural est simplement posé sur le socle.
Mouvement : des bateaux basculent d'avant en arrière et une tige mobile, camouflée sous le tissu donne un effet de gonflement des vagues.
Le mouvement est mis en route en actionnant la tirette qui se trouve sur la droite de la boîte. Le mécanisme et l'ensemble a été conçu manifestement par trois personnes : Piolaïne et Crevier, qui ont également réalisé les bateaux mobiles (inv.20462) et un troisième horloger, J.C Cailly.
Musique : oui, un air : "Sole mio"
Remontage du mouvement à musique avec une clé.
Le mouvement à musique (22 lames) se trouve dans le socle.
ensemble avec clé en place et balancier: 58 x 45 x 27 cm, 12,91 kg.
clé à plat: 1 x 4,5 x 8,5 cm, 20g.
balancier à plat: 0,7 x 3,2 x 22,3 cm, 35g.
L'ensemble se compose de quatre éléments : l'automate (le socle avec les bateaux est indépendant de l'architecture et du pont), une clé carrée de remontage et un balancier.
Signature, gravée sur la platine du moteur : Breveté / Pidaine Aîné & / Solon Crevier / de Dieppe ; estampé dans un oval : BREVETE ; estampé dans un oval : J. C. / Cailly ; estampé dans un autre oval : [illisible] ; estampé figurant sur la boîte à musique : REUGE SWITZERLAND SUISSE ; gravé sur la clé : 9 ; gravé sur le balancier : 671

Fiche de la base documentaire du MuAM, objet n° 45460, Pont du Rialto (pages 1 et 2). © Musée des arts et métiers.

20462-0000-
vendredi 27 février 2026



© Musée des arts et métiers

Département: Objet Patrimonial
Désignation: Automate : mécanisme de bateaux mobiles
Nature de l'objet: Objet grandeur réelle
Auteur intellectuel: Solon Crevier, né 1803
Auteur intellectuel: Michel Joseph Nicolas Piolaine
Restaurateur: Joseph Auricoste, 1880 - 1960
Géographie: France / Europe
Date de fabrication: C. 1825
Matériaux et Techniques: Acier Bois Carton, papier Laiton Fibre indéterminé
Description: Ce mécanisme fait partie d'un ensemble qui constituait un tableau mouvant, où deux bateaux semblent voguer sur une mer agitée. Le décor (sans doute tourmenté) qui devait représenter l'entrée d'un port a disparu. Ces scènes animées gagnent une troisième dimension par rapport aux tableaux animés du XVIII^e siècle. Ce dispositif a été réalisé par Marie-Joseph Piolaine et Solon Crevier horlogers de Dieppe. Ils ont obtenu un brevet pour "un mécanisme imitant le mouvement d'un ou plusieurs navires en mer" en 1835 puis en 1836.

Dimensions:
Inscription(s): avec socle: 23,5 x 26 x 20,5 cm, 1,84 kg
Conditionnement: Gravé sur le laiton : Brevet / [PIOLAINE AINE ET SOLOM CREVIER / DE DIEPPE] ; Gravé sur la clé : 9 vitrine

Un grand voilier est agité par le mouvement des vagues mais ne progresse pas ; une petite embarcation-pilote s'approche de lui en décrivant un demi-cercle puis s'éloigne. Le mouvement est donné par un barillet à ressort. Le grand bateau est placé à l'extrémité d'un levier horizontal lesté à l'autre extrémité par un contrepoids. Il est animé d'un mouvement de haut en bas grâce à une bielle verticale. Les variations dans l'inclinaison d'une tige qui le soutient donne au bateau un mouvement imitant à la fois l'effet du roulis et du tangage. Pour le petit navire le déplacement de va-et-vient est transmis par un parallélogramme articulé. avec socle: 23,5 x 26 x 20,5 cm, 1,84 kg
Gravé sur le laiton : Brevet / [PIOLAINE AINE ET SOLOM CREVIER / DE DIEPPE] ; Gravé sur la clé : 9 vitrine

Fiche de la base documentaire du MuAM, objet n° 20462, Mécanisme de bateaux mobiles (pages 1 et 2). © Musée des arts et métiers.

20357-0000-
vendredi 27 février 2026



© Musée des arts et métiers

Département: Objet Patrimonial
Désignation: Tableau à mouvement et à musique
Nature de l'objet: Objet grandeur réelle
Auteur intellectuel: Joseph Auricoste, 1880 - 1960
Auteur intellectuel: Michel Joseph Nicolas Piolaine
Restaurateur: Joseph Auricoste, 1880 - 1960
Géographie: France / Europe
Date de fabrication: 1800-1825
Matériaux et Techniques: Bois (structure) Plâtre (moulures du cadre) Verre (vitre) Alliage ferreux (décor) Acier (mécanisme, visserie) Laiton (mécanisme) Carton (décor) Email (cadran de l'horloge) Fibre indéterminée (courroie, ruban de déplacement des personnages, joint étanchéité de la vitre) Bronze (tirette)
Description: Ce tableau animé représente un village, avec quelques maisons, un beffroi, deux moulins et un pont qui enjambe une large rivière. Le fond du décor illustre le paysage qui se déroule autour de la rivière. Les éléments du décor sont en métal peint et le fond est une peinture sur carton. Le cadre est plâtre doré sur une âme en bois. Lorsque le mécanisme est mis en mouvement il entraîne un défilé de petits personnages sur le pont. Gardienne d'oie, cochons, chiens et âne, personnages variés (peut-être un prêtre?), charrette tirée par des hommes. Tout ce petit monde déambule grâce à une courroie qui tourne sans fin. Ils sont fixés sur ce ruban. Les ailes du moulin à vent, la roue à aube tournent. L'horloge fonctionne avec son système mécanique à part.

Dimensions: 58 x 82 x 24 cm, 15,8 kg
Description Inventaire: Ensemble 10 : 1 tableau, 1 balancier, 1 clé (numérotée 9 ou 6), 1 rondelle, 3 morceaux de moulure, 2 morceaux du système d'accroché, 1 morceau du toit du beffroi
Inscription(s): Gravé sur la boîte à musique : THORENS

Deux ressorts spiraux permettent la mise en marche de son mécanisme et celui de sa sonnerie. Cette dernière est constituée du dong spiralé. Les deux carrés de remontage sont accessibles en ouvrant la vitre et en basculant le fronton de droite. Le mécanisme du tableau, à son propre ressort moteur. Il faut tout de même soulever la vitre pour accéder à la clé de remontage. Et enfin une tirette permet d'actionner la boîte à musique (qui fonctionne). 58 x 82 x 24 cm, 15,8 kg
Ensemble 10 : 1 tableau, 1 balancier, 1 clé (numérotée 9 ou 6), 1 rondelle, 3 morceaux de moulure, 2 morceaux du système d'accroché, 1 morceau du toit du beffroi
Gravé sur la boîte à musique : THORENS

Fiche de la base documentaire du MuAM, objet n° 20357, Tableau à mouvement et à musique (pages 1 et 2). © Musée des arts et métiers.

45402-0000-
vendredi 27 février 2026



© Musée des arts et métiers

Département: Objet Patrimonial
Désignation: Automate : Marine sous cloche
Nature de l'objet: Objet grandeur réelle
Date de fabrication: C. 1880
Matériaux et Techniques: Carton (décor) Bois (socle, bateau, structure, poulies)
Plume (végétaux) Acier (mécanisme) Laiton (mécanisme)

Description:

Verre (cloche, perle) Ficelle (mécanisme, bateau) Textile (ruban du train, voiles du bateau, végétaux) Papier (décor, mer, train, étiquette) Matériau métallique (perle) Plastique (mécanisme)
Scène animée sous globe représentant un fond de paysage marin. La scène animée est composée d'un moulin à vent, un train et un bateau.

La scène repose sur un socle en bois, protégée par un globe de verre. Un bateau vogue sur une mer en papier recouvert de gouache. Sur les rives constituées de carton peint se trouvent trois maisons et un moulin à vent qui surplombe la scène. La maison à droite de la scène porte un balcon sur lequel se trouve une femme. Sur le perron de la même maison se trouve deux femmes et un agneau. Les personnages sont lithographiés. A l'arrière de la scène passe un train sur un pont. Tous ces éléments sont en carton. Des plumes figurent la végétation. La coque du bateau est en carton, les voiles sont

en toile vernie.

Scène animée avec musique, le bateau et le train sont animés. Le moulin ne fonctionne plus.

Mécanisme difficilement accessible ! : le moteur se trouve dans le socle en bois, en partie accessible par l'arrière du décor après avoir retiré le globe. Pour y accéder il faut démonter le papier.

Le mécanisme et la musique fonctionnent avec une aide manuelle. Il manque la tige de changement d'air

Dimensions:

Description Inventaire:

Inscription(s):

Mesures de face: 33,8 x 40,3 x 20,5 cm, 2,47 kg
L'ensemble se compose de deux éléments : l'automate et une cloche en verre.

Sur une étiquette imprimée : Musique à 2 Airs / Faust
"Valse." / Il Bacio "Valse." / 270 / N° 37122
Au dos de l'un des wagonnet : 2

Fiche de la base documentaire du MuAM, objet n° 45402, Marine sous cloche (pages 1 et 2). © Musée des arts et métiers.

45416-0000-
vendredi 27 février 2026



© Musée des arts et métiers

Département: Objet Patrimonial
Désignation: Automate : Marine sous globe
Nature de l'objet: Objet grandeur réelle
Date de fabrication: 1880-1900
Matériaux et Techniques: Papier (mer) Bois (socle, barrière, bateau, cheminés, structure du décor, poulies) Plume (végétation) Acier (mécanisme) Laiton (mécanisme) Fibre indéterminée (fleurs, végétaux, cordelette du mécanisme, échelles de corde du navire) Verre (globe) Carton (décor) Matériau métallique
Description: Automate mécanique avec une boîte à musique. Scène animée sur socle représentant un paysage marin agrémenté d'un bateau, d'un moulin à eau et d'un moulin à vent sous globe.

Le mouvement de fonctionne pas. Le bateau tangue, les ailes du moulin tournent. L'état de conservation du papier ne permet pas la remise en mouvement de la mer. Le système de remontage du ressort (cordelette) est absent. La commande du ressort est cassée. Le mouvement sera à recréer artificiellement.
Pas d'accès au mécanisme.
Dimensions: La musique fonctionne.
48 x 47 x 26 cm, 3,34 kg.

Fiche de la base documentaire du MuAM, objet n° 45416, Marine sous globe (pages 1 et 2). © Musée des arts et métiers.

45423-0000-
vendredi 27 février 2026



© Musée des arts et métiers

Département: Objet Patrimonial
Désignation: Automate : Marine sous cloche
Nature de l'objet: Objet grandeur réelle
Date de fabrication: C. 1900
Matériaux et Techniques: Acier (mécanisme) Laiton (mécanisme) Plume (végétation) Bois (socle, mâts du bateau, mécanisme) Papier (mer) Carton (rives, maison, port, train, coque du bateau) Toile (voile, fleur) fleur séchée Verre (perles) Ficelle (tirette et gréement) Coton (courroie du train)
Description: Scène animée sur socle noir représentant un paysage dans lequel évoluent un bateau, un moulin et un train.

La scène repose sur un socle en bois. Un bateau vogue sur une mer en papier recouvert de gouache. Sur les rives constituées de carton peint se trouvent deux maisons et un moulin à vent qui surplombe la scène. A l'arrière de la scène passe un train sur un pont.
Tous ces éléments sont en carton. Des plumes figurent la végétation. La coque du bateau est en carton, les voiles sont en toile vernie.

Pas de globe

Le mécanisme et la musique fonctionnent avec une aide manuelle. Les ailes du moulins ne fonctionnent pas.

Dimensions: Musique : oui, boîte à musique 60 lames, deux airs.
Inscription(s): Mesures de face: 32,8 x 39,2 x 19,3 cm, 1,23 kg
Gravé dans un monogramme sur la boîte à musique : CP & C
Grévé sur la boîte à musique : 2

Fiche de la base documentaire du MuAM, objet n° 45423, Marine sous cloche (pages 1 et 2). © Musée des arts et métiers.

E.6 Objet comparable en vente publique (Rouillac, 2019)

Un tableau-horloge présentant des similitudes stylistiques notables avec l'objet de cette étude a été vendu lors de la « 31e vente Garden Party » de la maison Rouillac, le 16 juin 2019 au château d'Artigny (lot n° 175). Le catalogue le décrit comme : « *un tableau mécanique à horloge en carton, papier, bois et verre, représentant un paysage portuaire animé : tour à horloge, moulin à eau et moulin à vent aux ailes tournantes, pont à arcades traversé par deux trains mécaniques, voilier à système tanguant sur les flots et montgolfière traversant le ciel.* » Il s'agit d'un travail français du milieu du XIX^e siècle, attribué à Tharin à Paris (haut. 53 cm, larg. 68 cm, prof. 14 cm), présenté dans un cadre en bois doré et stucqué de style Louis XV (haut. 58 cm, larg. 77 cm avec le cadre). Le catalogue signale un parfait état de marche de l'horlogerie et des automates, à la suite d'une restauration par Claude Mazanec, maître-horloger à Blois, et mentionne une œuvre en rapport conservée au Musée de la Musique Mécanique des Gêts. Le lot a été adjugé 8 000 euros.

Cet objet intervient à trois titres dans l'étude : la comparaison stylistique appuie la datation de l'IV-913 (section 1.2.1) ; la constitution de la zone périphérique du décor, une fine plaque de bois recouverte par le cadre et dépourvue de liséré en papier, nourrit l'hypothèse d'un ajout postérieur du liséré, voire du cadre, sur l'IV-913 (tableau E.1) ; le prix d'adjudication documente enfin la valeur monétaire de cette typologie d'objets sur le marché.



Référence de la source :

ROUILLAC, 2019. Tableau automate avec montgolfière, trains, voiliers, moulins et horloge, France, milieu du XIX^e siècle. Lot n° 175, 31^e vente Garden Party, 16 juin 2019, château d'Artigny, Montbazon. In : Rouillac [en ligne]. [Consulté le 6 juillet 2026]. Disponible à l'adresse : <https://www.rouillac.com/fr/lot-492-130087-175-tableau-automate-avec-montgolfiere-trains-voiliers-moulins-et-horloge-france-milieu-du-xixe-siecle>

Annexe F : Tableaux détaillés des altérations

Les altérations sont localisées selon un système de quadrillage reproduit ci-dessous (colonnes 1–8, rangées A–N). Les cotes sont reportées dans la colonne « Localisation (cote quadrillage) » de chaque tableau.

Code couleur des lignes :

	Substrat / support (bois, métal, carton)
	Couche ou élément de surface (peinture, dorure, vernis, papier)
	Assemblages / jonctions structurelles

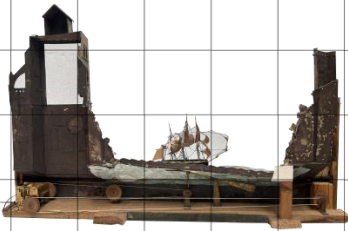
	1	2	3	4	5	6	7	8
A								
B								
C								
D								
E								
F								
G								
H								
I								
J								
K								
L								
M								
N								

Schéma : quadrillage de l'objet (avers, revers et mécanisme d'automate). Colonnes 1–8, rangées A–N.

Boîte en bois (caisson)

Composant : caisson en bois résineux. Rangées F–J sur le quadrillage.

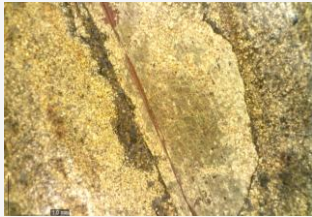
Type d'altération	Couche / matériau concerné	Localisation (cote quadrillage)	Étendue / intensité	Photo caractéristique
Surface				
Empoussièrement	Surface extérieure	F2–F8 (revers partie supérieure))	Généralisé	
Griffures	Surface extérieure	G7, H7 ,I7, J7	Localisé	
Coulures / dépôts blanchâtres	Surface extérieure	F2, G2, H2, I2, J2, G7, G8, H7, H8, I7, H8 ,I7, I8, J7, J8	Localisé	Visible sur le quadrillage
Structure				
Lacunes de matière bois	Substrat bois	F8	Localisé	

Tableau 29 Altérations de la boîte

Cadre en bois doré

Composant : cadre en bois mouluré, préparation, bol d'Arménie, feuille dorée, bronzine, vernis. Rangées A–E sur le quadrillage.

Type d'altération	Couche / matériau concerné	Localisation (cote quadrillage)	Étendue / intensité	Photo caractéristique
Structure				
Trous d'envol / vermoultures	Substrat bois (revers)	Revers cadre, voir schéma	Sur l'ensemble du revers, Ø 1–2 mm	Voir schéma des altérations du revers du cadre

Type d'altération	Couche / matériau concerné	Localisation (cote quadrillage)	Étendue / intensité	Photo caractéristique
Lacunes de matière	Substrat bois (revers) angles	Angles F2, F8, J2, J8	Localisé	
Désalignement d'assemblage	Assemblages d'angle (bois)	Angles internes du cadre	-	
Surface : couche picturale et dorure				
Zones lacunaire dans la préparation	Préparation blanche / bol d'Arménie	A5, A8, E4, E6	Localisé	
Lacunes / perte d'adhérence Zones non recouvertes par bronzine	Feuille dorée	A5, A8, E4, E6	Localisé	
Produits de corrosion verdâtres	Bronzine, alliages cuivreux (métal)	A5, E5, E7	Localisé	
Application hétérogène / taches	Bronzine (couche d'intervention)	Avers cadre généralisé	Généralisé	

Type d'altération	Couche / matériau concerné	Localisation (cote quadrillage)	Étendue / intensité	Photo caractéristique
				
Projections sombres	Cire	E3, E4	Ponctuel	
Couleurs blanchâtres	Peintures	A2, A8, B2, B8, C2, C8, D2, D8, E2, E8	Localisé	

Tableau 30 Altérations du cadre en bois doré

Plaque métallique peinte (avers)

Composant : plaque en alliage de zinc, préparation, couche picturale à l'huile, vernis. Rangées B–D, colonnes 2–7.

Type d'altération	Couche / matériau concerné	Localisation (cote quadrillage)	Étendue / intensité	Photo caractéristique
Structure				
Déformation convexe (fluage)	Support métallique (alliage de zinc)	B4, B5, B6, D4, D5, D6 (zone centrale)	Sur la partie centrale	
Surface				
Lacunes picturales	Couche picturale / préparation	A2-8, B2, B6, B7	Localisé	

Type d'altération	Couche / matériau concerné	Localisation (cote quadrillage)	Étendue / intensité	Photo caractéristique
				
Jaunissement	Vernis	Avers généralisé	Généralisé	
Projections sombres	Vernis	A2, A7, C3, D3 ; B5, B6	Ponctuel	

Tableau 31 Altérations de la plaque métallique peinte en zinc

Décor tridimensionnel

Décors architecturaux latéraux

Composants : éléments en carton et papier, couche picturale polychrome. Rangées B–D, colonnes 2–3 et 6–7.

Type d'altération	Couche / matériau concerné	Localisation (cote quadrillage)	Étendue / intensité	Photo caractéristique
Structure				
Décollements	Carton / papier – jonctions e	M6, M7	Localisé	
Rupture localisée	Élément architectural (carton/papier/plâtre)	D3	Localisé	

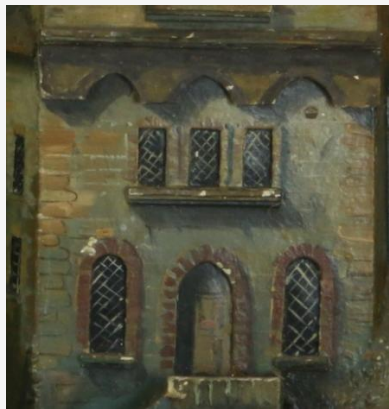
Type d'altération	Couche / matériau concerné	Localisation (cote quadrillage)	Étendue / intensité	Photo caractéristique
				
Surface				
Empoussièrement Généralisé	Surface peinte/vernis	Généralisé	Généralisé	
Lacunes picturales	Couche picturale / préparation	B6, B7, C3, C6, C7, D3, D6, D7, M4, M7	Localisé	

Tableau 32 Altérations décors architecturaux

Élément « eau » (papier froissé)

Type d'altération	Couche / matériau concerné	Localisation (cote quadrillage)	Étendue / intensité	Photo caractéristique
Structure				

Type d'altération	Couche / matériau concerné	Localisation (cote quadrillage)	Étendue / intensité	Photo caractéristique
Déchirure	Papier	D4, D5	Perpendiculaire aux plis, localisé	
Surface				
Empoussièrement	Surface papier	Généralisé sur l'élément	Généralisé	

Tableau 33 Altérations élément eau

Bateau

Type d'altération	Couche / matériau concerné	Localisation (cote quadrillage)	Étendue / intensité	Photo caractéristique
Surface				
Empoussièrement	Coque, mâts, voiles, drapeau	D4-D5 généralisé	Généralisé	

Type d'altération	Couche / matériau concerné	Localisation (cote quadrillage)	Étendue / intensité	Photo caractéristique
				
Structure				
Rupture	Ficelles / cordes / mât centrale (manque d'adhésif)	D4-D5	Localisé, hors traits oranges	
Froissement et déchirure	Drapeau	D5	Généralisé sur l'élément	

Tableau 34 Altérations du bateau

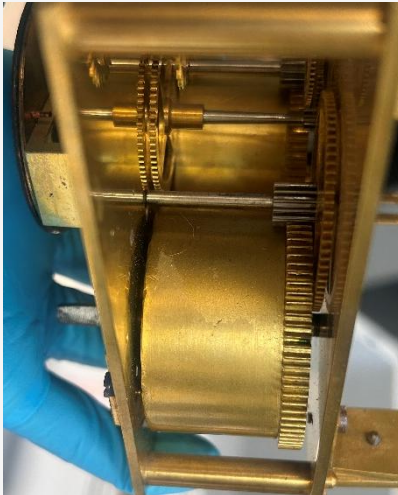
Liseré

frise décorative papier sur support ferreux (liseré)				
Jaunissement	Surface du papier (frise)	E3-E7 (liseré inférieur)	Généralisé	
Produits de corrosion (brunâtre à rougeâtre)	Support ferreux (liseré) revers	Revers liseré E2-E8 ou N3-N7	Localisé	

Tableau 35 Altérations du liseré

Mécanismes

Mouvement horloger

Type d'altération	Couche / matériau concerné	Localisation (cote quadrillage)	Étendue / intensité	Photo caractéristique
Surface : pièces métalliques				
Encrassement (poussière / résidus)	Ensemble des pièces (laiton, acier)	Généralisé sur le mouvement	Généralisé	

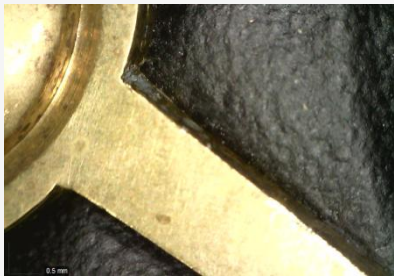
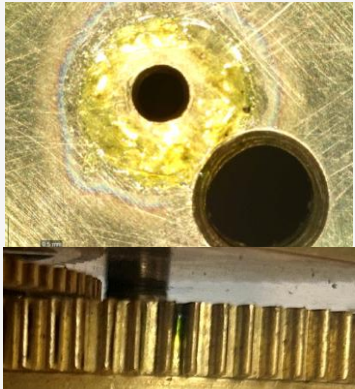
Type d'altération	Couche / matériau concerné	Localisation (cote quadrillage)	Étendue / intensité	Photo caractéristique
Corrosion verdâtre	Roue de compte (alliage cuivreux)	Sur la roue de compte	Localisé	
Corrosion rougeâtre sur têtes de vis	Têtes de vis (acier)	Vis de platines et fixation mouvement	Localisé	
Résidus de lubrification ancienne	Pivots, denture, paliers (acier / laiton)	Train de rouages , généralisé	Généralisé	
Fonctionnement				
Arrêt du mécanisme	Mouvement horloger (ensemble)	-	Non fonctionnel à l'état initial, force insuffisante	-

Tableau 36 Altérations du mouvement horloger

Mécanisme d'automate

Type d'altération	Couche / matériau concerné	Localisation (cote quadrillage)	Étendue / intensité	Photo caractéristique
Surface : pièces métalliques				
Encrassement (poussière / résidus)	Ensemble des pièces	Généralisé sur le mécanisme	Généralisé	
Résidus de lubrification ancienne	Pivots, came, vis sans fin.	Denture, pivots	Généralisé	-
Fonctionnement				
Arrêt du mécanisme	Mécanisme d'automate (ensemble)	N3	Non fonctionnel à l'état initial, volant bloqué contre le barillet	-

Tableau 37 Altérations du mécanisme automates

Note : les deux mécanismes sont fonctionnellement indépendants. Tout arrêt ou dysfonctionnement de l'un n'implique en aucun cas celui de l'autre.

Annexe G : Enquête institutionnelle

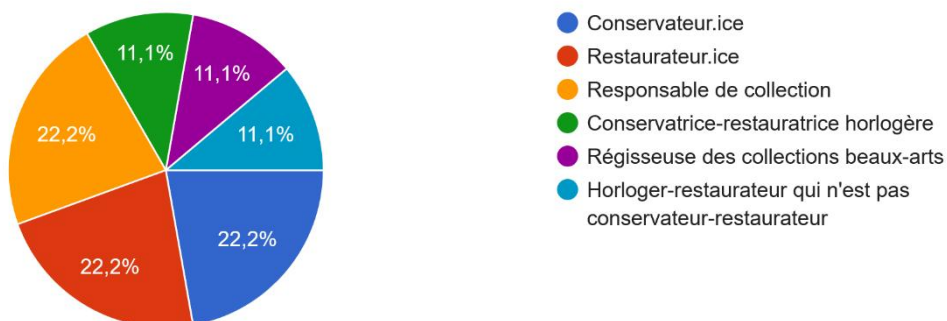
Questionnaire adressé aux institutions conservant des tableaux-horloges, liste complète des institutions contactées et synthèse des réponses reçues. Le questionnaire est composé de dix questions, neuf fermées à cocher, complétées d'une question ouverte. Les répondants n'étaient pas tenus de répondre à l'ensemble des questions ; un champ libre était par ailleurs proposé à chaque question afin de permettre l'ajout d'une réponse non prévue parmi les propositions.

Je remercie encore les musées ayant répondu au questionnaire :

- Le Musée Internationale d'Horlogerie (La Chaux-de-Fonds)
- Musée d'horlogerie du Locle
- Musée des Arts et Métiers (Paris)
- Musée des automates à musique (Seewen)
- Musée de la mécanique d'art de Sainte-Croix (MuMAPS)
- Musée des Arts décoratifs (Paris)
- Musée Vivant Denon (Chalon-sur-Saône)
- Musée du Temps (Besançon)
- Musée d'art et d'histoire de Genève

Fonction du répondant

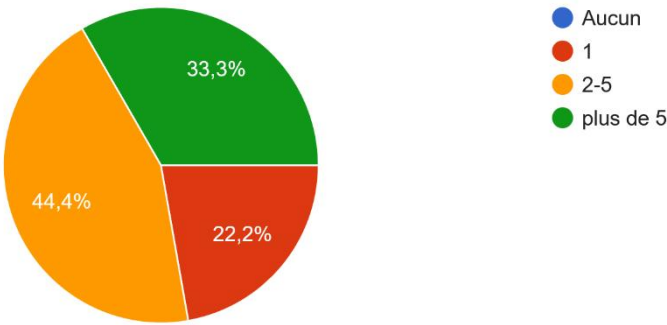
9 réponses



Graphique 1 Fonction du répondant

Nombre approximatif de tableaux-horloges conservés

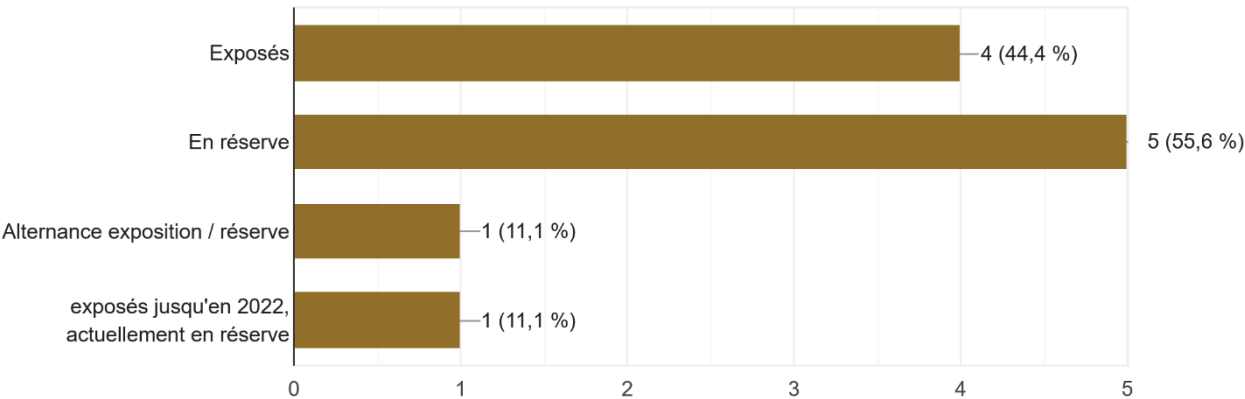
9 réponses



Graphique 2 Nombre de tableaux-horloges conservés

Statut actuel des objets (plusieurs réponses possibles)

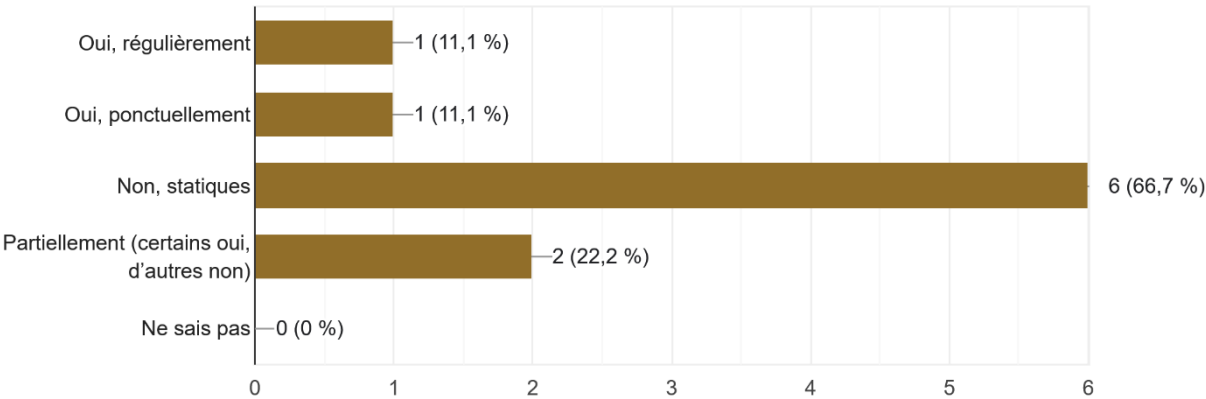
9 réponses



Graphique 3 Statut actuel des objets

Les tableaux-horloges sont-ils actuellement en fonctionnement ?

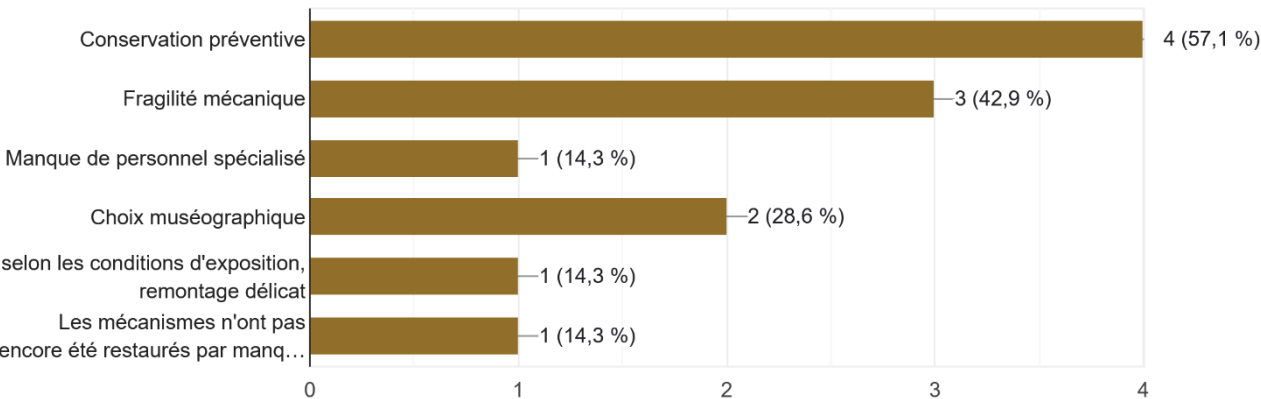
9 réponses



Graphique 4 Sont-ils actuellement en fonctionnement

Si non, statiques, quels est la raison ?

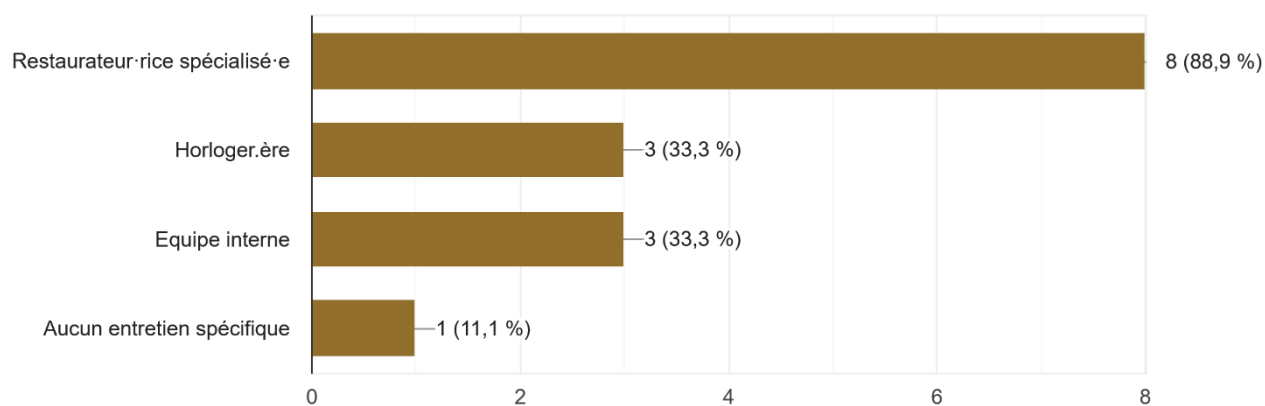
7 réponses



Graphique 5 Si non, statiques, quels est la raison ?

L'entretien ou restauration est assuré par:

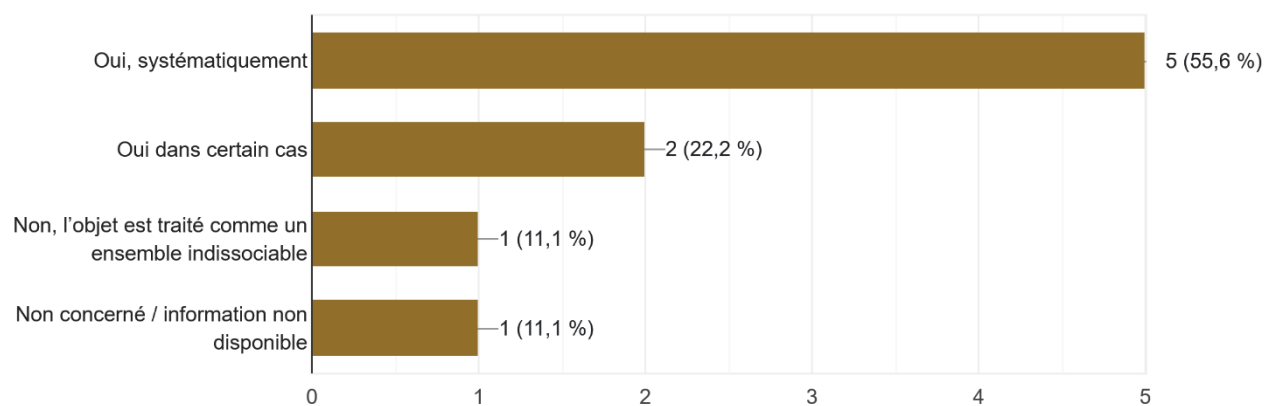
9 réponses



Graphique 6 Par qui est assuré l'entretien ou la restauration ?

La peinture est-elle traitée/restaurée indépendamment du mécanisme horloger et/ou des automates ?

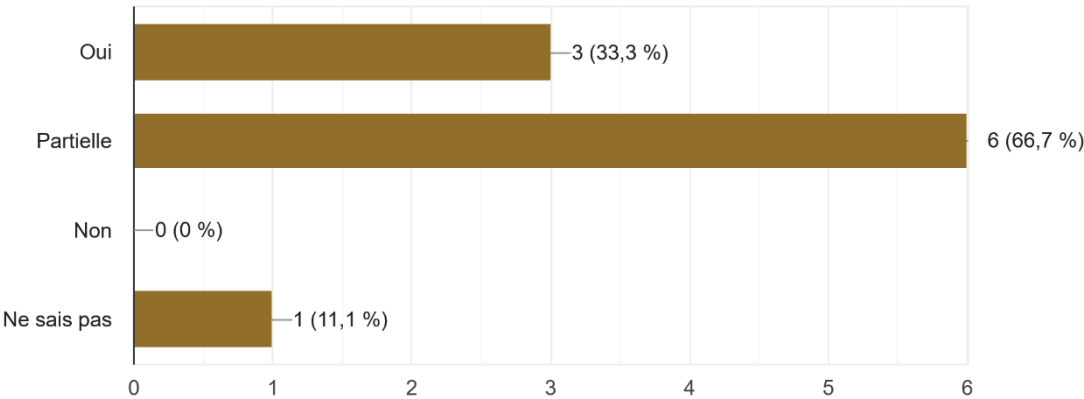
9 réponses



Graphique 7 La peinture est-elle restaurée indépendamment du mécanisme ?

Existe-t-il une documentation technique ou historique associée à ces objets ?

9 réponses



Graphique 8 Existe-t-il une documentation technique ou historique associée à ces objets ?

Annexe H : Tableaux de critères et résultats des tests préalables

Ici sont présentés les tableaux de critères, tests ayant guidé les choix de produits et de méthodes pour le nettoyage, le dévernissage, les retouches picturales et le comblement. Résultats des tests de solubilité sur le vernis du cadre et de la plaque peinte. Résultats complets des tests menés sur les cordages du bateau (solvants, chaleur, combinaisons mécaniques) justifiant la décision de non-intervention.

Tests de solubilité

Résultat satisfaisant / compatible	Résultat partiel ou prudence requise	Risque / à éviter	Sans effet
------------------------------------	--------------------------------------	-------------------	------------

Métal peint

Solvant	Polarité	Résultat	Observations	Photo
Eau	Polaire	Sans effet	Aucune action sur les couches de surface.	
Shellsol D40	Apolaire	Sans effet	Aucune action observée.	
Shellsol A	Apolaire	Sans effet	Aucune action observée.	
Isopropanol	Polaire	Efficace	Solubilise le vernis, couche picturale insensible sauf couleur fragile (terre, vert)	
Isopropanol 80% / isooctane 20%	Polaire	Partiel	Allège le vernis sans solubiliser les pigments fragiles	
Éthanol	Polaire	Efficace	Solubilise la couche picturale. Pas assez de contrôle	

Tableau 38 Tests de solubilité du métal peint

Cadre doré

Solvant / Mélange	Polarité	Résultat	Observations
Eau	Polaire	Sans effet	Aucune action sur le cadre doré.
Solvants apolaires	Apolaire	Sans effet	Aucune action observée.
Isopropanol	Polaire	Quasi nul	Action infime, sans résultat significatif.

Solvant / Mélange	Polarité	Résultat	Observations
Éthanol	Polaire	Partiel / Risque	Action légère mais entraîne un blanchissement de l'ensemble, évaporation trop rapide.
Acétone	Polaire	Partiel	Entraîne un blanchissement, évaporation trop rapide pour observer un retrait de la couche
Isop. / Acétone (1:1)	Polaire	Assez efficace	Résultat léger, évaporation trop rapide.
Shellsol D40 20 % / Isop. 20 % / Acétone 60 % en gel Carbopol Ethomeen C25	Polaire	Optimal	Meilleur compromis efficacité / temps ouvert. Appliqué au pinceau N'a pas été retenu, en raison de l'écotoxicité de l'Ethomeen C/25, classé H412, et de la difficulté d'élimination complète des résidus de gel en surface (Cf fiche de sécurité Kremer).
Compresse, Shellsol D40 20 % / Isop. 20 % / Acétone 60 %	Polaire	Optimal	Meilleur compromis efficacité / temps ouvert. Appliqué en compresse de coton.
Gel PVA-Borax + EDTA 4 %	—	Complémentaire	Utilisé en complément pour les zones verdâtres résiduelles (action partielle sans le gel).

Tableau 39 Tests de solubilité de la bronzine gomme-laque du cadre doré

Décor (éléments papier / plâtre / carton)

Solvant / Produit	Polarité	Résultat	Observations
Eau	Polaire	À éviter	Solubilise les couches, pigment sur le coton.
Alcools (général)	Polaire	À éviter	Solubilise le vernis et couche picturale.
Isopropanol	Polaire	À éviter	Solubilise les couches de surface.
Éthanol	Polaire	À éviter	Solubilise les couches de surface.
Solvants apolaires (ex. Shellsol D40)	Apolaire	Compatible	Sans action sur le vernis et polychromie ; adapté au support.
Gomme Wishab	—	Partiel	Action mécanique douce ; résultats limités.
Smoke sponge	—	Efficace	Meilleur résultat pour le nettoyage à sec du décor.

Tableau 40 Tests de nettoyage du décor

Choix des matériaux de retouche, de comblement et de vernissage

Légende des couleurs

Fond **vert** : Favorable critère bien rempli, produit compatible ou recommandé.

Fond **orange** : Acceptable avec nuance critère partiellement rempli, test préalable requis ou avantage limité.

Fond **rouge** : Défavorable incompatibilité avérée, risque majeur ou produit écarté pour cet objet.

Fond **gris clair** : Intitulé du critère (ligne de paramètre).

Fond **bleu clair** : Verdict, synthèse ou préalable important à l'intervention.

Symboles : ✓ Favorable ~ Acceptable avec nuance X Incompatible ou écarté

Contraintes et paramètres de l'objet

L'objet contient un décor en carton peint et verni. Le vernis de surface est de type terpénique, présentant une sensibilité avérée aux alcools. Les solvants validés lors des tests préalables sont des aliphatiques de faible polarité : white spirit, Shellsol T, D40, A et benzine 100/140 [1, 2]. Le métal peint présente vraisemblablement le même type de vernis (dammar ou mastic) et une couche picturale à l'huile avec préparation au blanc de plomb, sensible à l'éthanol et à l'acétone.

Le support carton étant hygroscopique et susceptible de légères déformations, la flexibilité des films formés est un critère à prendre en compte. Les comblements à base de résine synthétique pure sont trop durs par rapport aux matériaux ; des charges minérales (blanc de Meudon, Champagne) sont donc nécessaires pour abaisser la dureté et permettre le travail mécanique de finition.

Note : l'argument de cohérence des matériaux (utiliser un même produit sur plusieurs supports) est un critère secondaire valable sur le plan déontologique, mais ne peut primer sur les propriétés intrinsèques des produits et sur la qualité du résultat pour chaque intervention. Les recommandations ci-après en tiennent compte.

Propriétés des résines comparées

Propriété	Laropal® A81	Plexigum® PQ611	Paraloid® B72	Réf.
Nature chimique	Résine aldéhyde aromatique (condensat cyclohexanone/formaldéhyde). Faible Mw. Kremer n° 79038.	Poly(isobutylméthacrylate). Résine acrylique souple. Evonik Röhm.	Copolymère éthylméthacrylate/méthacrylate de méthyle (70:30). Forte stabilité. Rohm & Haas / Dow.	[4]

Propriété	Laropal® A81	Plexigum® PQ611	Paraloid® B72	Réf.
Solvants compatibles (utilisés sur cet objet)	Shellsol A, D40, benzine 100/140. $\delta \approx 17-18 \text{ MPa}^{1/2}$.	Shellsol D40, A, benzine 100/140. Même plage de polarité.	Acétone, MEK. Solubilité partielle dans mélanges acétone/aliphatique (min. $\sim 15\%$ acétone). δ acétone $\approx 20 \text{ MPa}^{1/2}$. Toluène écarté (toxicité).	[1, 2, 4]
Indice de réfraction (n)	$n \approx 1,52$ — proche des liants huileux polymérisés.	$n \approx 1,48$ — légèrement moins saturant.	$n \approx 1,485$ — proche du Plexigum PQ611.	[3, 4]
Tg (température de transition vitreuse)	$T_g \approx 65 \text{ }^\circ\text{C}$ — film rigide.	$T_g \approx 55 \text{ }^\circ\text{C}$ — film souple.	$T_g \approx 40 \text{ }^\circ\text{C}$ — film très souple, voire mou à température ambiante.	[4]
Stabilité / jaunissement UV	✓ Excellente. Jaunissement quasi nul.	~ Bonne. Légèrement plus sensible au jaunissement UV long terme.	✓ Excellente. L'une des résines de référence en conservation.	[5, 6, 10]
Réversibilité	✓ Très bonne dans Shellsol A / D40.	✓ Bonne dans Shellsol D40 / A.	✓ Excellente dans acétone / MEK — solvants à contraindre selon la surface.	[4]

Tableau 41 Propriétés des résines

Note : Les pastels aquarelle (liant : gomme arabique, solvant : eau) sont exclus de la comparaison : leur médium aqueux est incompatible avec le vernis terpénique de surface. Les pastels secs en revanche ne nécessitent aucun solvant pour l'application et sont traités dans le tableau 2.

Note : Le toluène n'est pas utilisé dans ce protocole pour des raisons de sécurité en atelier (toxicité, classification CMR). Il n'est donc pas mentionné comme solvant de mise en œuvre.

Retouche picturale : carton peint

Critère	Laropal® A81 + pigments	Plexigum® PQ611 + pigments	Paraloid® B72 + pigments	Pastels secs	Appréciation
Solvant d'application	Shellsol A, D40, benzine 100/140.	Shellsol D40, A, benzine 100/140.	Acétone ou MEK (toluène écarté). Possible en mélange acétone/aliphatique.	Application à sec. Aucun solvant nécessaire.	

Critère	Laropal® A81 + pigments	Plexigum® PQ611 + pigments	Paraloid® B72 + pigments	Pastels secs	Appréciation
Compatibilité solvant / vernis terpénique	✓ Solvants aliphatiques (δ faible) sans effet significatif sur le vernis. [1, 2]	✓ Même plage de polarité. Éviter l'acétone seul. [1, 2]	~ Acétone/MEK : risque de ramollissement partiel du vernis terpénique. Test préalable obligatoire. [1, 2]	✓ Pas de solvant humide appliqué — aucun risque chimique sur le vernis lors de la pose.	Pastels secs : avantage sur solvant nul. Paraloid B72 : problème de polarité des solvants.
Stabilité / jaunissement	✓ Excellente. [5, 6]	~ Bonne, légèrement moins stable UV. [4]	✓ Excellente. [10]	✓ Pigments stables. Mais la couche non liée est pulvérulente sans fixatif.	
Rendu optique (saturation)	✓ $n \approx 1,52$ — proche liant huileux, bonne saturation. [3]	~ $n \approx 1,48$ — légèrement moins saturant.	~ $n \approx 1,485$ — proche Plexigum. [4]	~ Rendu mat, non saturé. Les pigments non liés diffusent davantage la lumière. Adapté à un rendu mat ou en mode <i>tratteggio</i> / <i>pointillisme</i> .	Avantage net Laropal A81 pour la saturation.
Flexibilité du film formé	~ $T_g \approx 65^\circ\text{C}$ — film rigide. Risque si le carton travaille. [4]	✓ $T_g \approx 55^\circ\text{C}$ — film souple, adapté au carton hygroscopique. [4]	~ $T_g \approx 40^\circ\text{C}$ — film très souple, risque de remouillage au pinceau et d'adhérence aux instruments. [4]	✓ Pas de film formé à l'application. La souplesse dépend du fixatif éventuel.	Plexigum PQ611 : meilleur équilibre souplesse / tenue pour retouche liée.
Réversibilité	✓ Très bonne dans Shellsol A / D40.	✓ Bonne dans Shellsol D40 / A.	✓ Excellente dans acétone / MEK solvant de reprise à tester sur le vernis. [4]	✓ Effaçable à sec ou au solvant du fixatif choisi.	
Adaptation à la retouche ponctuelle sur décor 3D	✓ Bon contrôle du médium au pinceau fin. Standard en restauration de peintures de chevalet. [5, 6, 7]	~ Utilisable. Moins documenté en retouche picturale sur ce type d'objet.	~ Utilisable. La T_g basse rend la manipulation délicate sur de petites surfaces. [4]	~ Technique valide pour ajustements de teinte, <i>tratteggio</i> ou zones mates. Moins adapté aux lacunes de	

Critère	Laropal® A81 + pigments	Plexigum® PQ611 + pigments	Paraloid® B72 + pigments	Pastels secs	Appréciation
				grande surface à intégrer totalement.	
VERDICT	Recommandé. Meilleur rendu optique, stabilité UV excellente, solvants pleinement compatibles avec le vernis terpénique.	Acceptable si flexibilité prioritaire.	Non retenu prioritairement : solvants (acétone/MEK) trop polaires pour ce vernis. Non mis en cause pour ses qualités intrinsèques.	Utilisable en complément ou pour petits ajustements de teinte. Fixatif aliphatique (Laropal A81 dilué) requis pour la pérennité.	

Tableau 42 Retouche picturale : carton peint

Note : Les pastels aquarelle sont exclus de ce tableau : leur solvant (eau) est rédhitoire sur ce support. Les pastels secs, qui ne requièrent aucun solvant à l'application, y figurent comme option complémentaire.

Comblement des lacunes

Critère	Papier japon + adhésif aliphatique	Blanc de Meudon + résine aliphatique (Plexigum D40 ou Laropal A81® D40)	Blanc de Meudon + Paraloid® B72 (acétone)	Modostuc (dispersion acrylique aqueuse commerciale)
Profondeur / usage adapté	Lacunes superficielles : perte de couche picturale, carton intact dessous.	Lacunes volumiques : perte de matière du carton. Formule préparée en atelier.	Lacunes volumiques. Formule bien documentée en restauration de peintures de chevalet. [8]	Lacunes volumiques. Produit prêt à l'emploi (aucun solvant ajouté à l'application).
Dureté du comblement vs carton	✓ Souple et fin ne génère pas de différentiel de dureté.	~ La résine seule serait trop dure. La forte proportion de charges (70–80 % blanc de Meudon) abaisse la dureté du stuc au niveau du carton et permet le travail au scalpel et au papier de	~ Même remarque : Paraloid B72 seul est trop rigide. L'ajout de blanc de Meudon ajuste la	~ Dureté intermédiaire, réglée par le fabricant. Généralement compatible avec un support carton mais non ajustable en atelier.

Critère	Papier japon + adhésif aliphatique	Blanc de Meudon + résine aliphatique (Plexigum D40 ou Laropal A81® D40)	Blanc de Meudon + Paraloid® B72 (acétone)	Modostuc (dispersion acrylique aqueuse commerciale)
		verre. Le ratio charges/résine est ajustable. [9]	dureté. Ratio à calibrer. [8, 9]	
Compatibilité avec le vernis terpénique	✓ Aucune eau introduite si adhésif aliphatique. Pleinement compatible. [1, 2]	✓ Solvants aliphatiques D40/A validés sur l'objet. Aucune eau. [1, 2]	~ Acétone nécessaire ($\delta \approx 20$ MPa ^{1/2}) risque de ramollissement du vernis terpénique en périphérie de la lacune. Test préalable obligatoire. [1, 2]	~ Le produit contient de l'eau dans sa formulation (dispersion aqueuse). Lors de l'application, l'eau de la dispersion est en contact avec les bords de la lacune au niveau du vernis, ce qui peut provoquer un gonflement ou un blanchiment localisé. Aucun solvant ajouté par le restaurateur, mais le risque du contact humide subsiste. À n'utiliser que si la lacune est parfaitement délimitée et que les bords du vernis sont protégés. [1, 2]
Réversibilité	✓ Très bonne dans le solvant de pose.	✓ Résoluble dans Shellsol D40 / A.	✓ Résoluble dans acétone solvant de reprise à tester préalablement sur le vernis. [4]	~ Résoluble à l'eau après séchage. Eau = risque sur le vernis lors de la dépose. Réversibilité pratiquement compromise sur ce type de surface.
Stabilité	✓ Stable si adhésif résine synthétique.	✓ Charges inertes + résine synthétique stable.	✓ Paraloid B72 : excellente stabilité documentée. [10]	~ Formulation commerciale variable selon lots. Résine acrylique en dispersion : stable une fois sèche, mais composition précise non contrôlée par le restaurateur.
VERDICT	Recommandé pour lacunes superficielles. Adhésif : Laropal A81 ou Plexigum PQ611 dilué dans D40.	Recommandé pour lacunes volumiques. Meilleure compatibilité solvant sur cet objet. Dureté réglable par le ratio charges/résine.	Acceptable sous réserve de test. Solvant de pose plus agressif que l'option précédente.	Utilisable avec précautions si lacune bien délimitée. Le contact humide lors de la pose reste un risque à documenter. Non recommandé en première intention.

Tableau 43 Comblement des lacunes

Note : Résine synthétique pure et dureté : une résine acrylique ou aldéhyde appliquée seule formerait un film nettement plus dur que le carton environnant, rendant tout travail mécanique de finition (scalpel, papier abrasif) risqué pour les zones originales adjacentes. Le blanc de Meudon, charge inerte et insoluble, est donc indispensable pour abaisser la dureté du stuc et la rapprocher de celle du support. Le ratio charges/résine est ajustable selon la dureté souhaitée et le niveau de la lacune à combler.

Note : Modostuc : ce produit commercial est une dispersion acrylique en phase aqueuse. Aucun solvant supplémentaire n'est ajouté par le restaurateur lors de l'application. Toutefois, la phase aqueuse de la dispersion entre en contact avec les bords de la lacune au niveau du vernis, ce qui peut provoquer localement un gonflement ou un blanchiment du vernis terpénique. Ce risque, bien que limité à la phase de pose, ne peut être ignoré et doit être documenté si le produit est utilisé.

Note : La cire microcristalline (ex. Cosmolloid H80), soluble dans les aliphatiques, peut être envisagée comme couche d'isolation avant retouche ou pour des finitions très superficielles, mais elle est trop molle mécaniquement pour constituer un comblement volumique structurant.

Retouche et vernis de protection du métal peint

Critère	Laropal® A81 + pigments	Plexigum® PQ611 + pigments	Paraloid® B72 + pigments	Remarques
PRÉALABLE Nature probable du liant de surface sur le métal peint	Le vernis de surface du métal peint est vraisemblablement de type terpénique (dammar ou mastic), à l'instar du décor en carton. La couche picturale est probablement à l'huile, avec une préparation probable au blanc de plomb. Ce type de peinture est sensible à l'éthanol et à l'acétone (risque de dissolution ou de ramollissement du liant). Les solvants apolaires (Shellsol D40, A, benzine 100/140) sont à privilégier. Identification à confirmer par test de solubilité sur zone cachée avant toute intervention.			
Compatibilité solvant / vernis terpénique et peinture à l'huile	✓ Shellsol A / D40 apolaires, sûrs sur vernis terpénique et liant huileux. [1, 2]	✓ Même solvants apolaires. Compatible.	✗ Acétone / MEK nécessaires trop polaires pour un vernis terpénique et une peinture à l'huile. Risque avéré. [1, 2]	Paraloid B72 écarté pour la retouche et le vernissage sur ce métal peint : solvants incompatibles avec la surface.
Adhérence sur métal (surface non poreuse)	~ Bonne sur surface préparée. Légèrement moindre que les acryliques sur métal nu. [4]	✓ Adhérence acrylique légèrement supérieure sur surfaces non poreuses. [4]	(écarté, voir ci-dessus)	
Flexibilité / résistance à la dilatation thermique du métal	~ Tg ≈ 65 °C film rigide. Risque de décollement sur métal soumis aux variations thermiques.	✓ Tg ≈ 55 °C film souple, mieux adapté aux contraintes de dilatation du métal.	(écarté)	Avantage net Plexigum PQ611 pour le vernis de protection sur métal.
Rendu optique en retouche	✓ n ≈ 1,52 meilleure saturation, accord	~ n ≈ 1,48 légèrement moins saturant.	(écarté)	Avantage Laropal A81 pour la retouche picturale fine.

Critère	Laropal® A81 + pigments	Plexigum® PQ611 + pigments	Paraloid® B72 + pigments	Remarques
	chromatique plus précis. [3]	Ajustement pigmentaire possible.		
Usage comme vernis final de protection	✓ Possible. Film stable, brillance régulable selon dilution. [5, 6]	✓ Possible. Film plus souple : avantage pour un vernis continu sur métal.	(écarté)	Les deux résines sont envisageables pour le vernis final. Voir verdict.
VERDICT retouche picturale	Recommandé. Meilleur rendu optique. Solvants compatibles.	Acceptable.	Écarté. Solvants incompatibles.	
VERDICT vernis de protection	Acceptable. Cohérence optique avec les zones retouchées.	Recommandé. Film souple, adapté à la dilatation thermique du métal.	Écarté. Solvants incompatibles.	

Tableau 44 Retouche et vernis de protection du métal peint

Synthèse : choix par intervention

Intervention	Produit retenu	Justification principale	Réf.
Retouche picturale carton peint	Laropal® A81 dilué dans Shellsol D40 et pigments	Meilleur rendu optique ($n \approx 1,52$, proche du liant huileux d'origine). Stabilité UV excellente et bien documentée. Solvants aliphatiques pleinement compatibles avec le vernis terpénique. Standard actuel en restauration de peintures de chevalet. Les pastels secs peuvent compléter ponctuellement (ajustement de teinte, rendu mat) ; ils requièrent alors un fixatif au Laropal A81 dilué.	[3, 5, 6, 7]
Comblement	Papier japon + Laropal® A81 dilué dans Shellsol D40 + couche de blanc de meudon et colle de peau (50 :50)	Matériau léger, non contraignant pour un support carton fragile. Aucune eau introduite. Cohérence du médium avec la retouche picturale (même résine, même solvant).	[4, 9]

Intervention	Produit retenu	Justification principale	Réf.
Retouche picturale métal peint	Laropal® A81 dilué dans Shellisol D40 et pigments	Meilleur rendu optique ($n \approx 1,52$). Solvants apolaires compatibles avec le vernis terpénique probable (dammar/mastic) et la peinture à l'huile, sensibles à l'éthanol et à l'acétone. Paraloid B72 écarté : solvants de mise en œuvre (acétone/MEK) incompatibles.	[1, 2, 3, 5]
Vernis de protection métal peint	Laropal® A81 dilué dans Shellisol D40	Film plus souple ($T_g \approx 55^\circ\text{C}$) — mieux adapté aux contraintes de dilatation thermique du métal. Adhérence légèrement supérieure des acryliques sur surface non poreuse. Réversible dans les mêmes solvants apolaires. Solvants compatibles avec le vernis terpénique et la peinture à l'huile.	[4, 5]

Tableau 45 Synthèse des interventions retenus

Références bibliographiques

- [1] MASSCHELEIN-KLEINER, Liliane, 1992. Les solvants. Bruxelles : IRPA/KIK.
- [2] PHENIX, Alan et SUTHERLAND, Ken, 2001. The cleaning of paintings: effects of organic solvents on oil paint films. *Reviews in Conservation*. 2001. N° 2, pp. 47-60.
- [3] DE LA RIE, E. René, 1987. Fluorescence of paint and varnish layers. *Studies in Conservation*. 1987. Vol. 32, n° 1, pp. 1-7.
- [4] HORIE, C. Velson, 2010. *Materials for Conservation: Organic Consolidants, Adhesives and Coatings*. 2e éd. Oxford : Butterworth-Heinemann.
- [5] DE LA RIE, E. René et MCGLINCHEY, Christopher W., 1990. New synthetic resins for picture varnishes. In : *Cleaning, Retouching and Coatings*. Bruxelles : IIC, pp. 168-173.
- [6] PHENIX, Alan, 1998. Solubility parameters and the cleaning of paintings : an overview and bibliography. *ZKK – Journal für Kunsttechnologie und Konservierung*. 1998. Vol. 12, n° 2, pp. 387-408.
- [7] TAUBER, Gun, 2012. Laropal A 81 — applications in conservation. In : *ICOM-CC 16th Triennial Conference Preprints*. Lisbonne : ICOM-CC.
- [8] BERGER, Gustav A., 1975. Testing adhesives for the consolidation of paintings. *Studies in Conservation*. 1975. Vol. 20, n° 4, pp. 209-214.
- [9] APPELBAUM, Barbara, 2007. *Conservation Treatment Methodology*. Oxford : Butterworth-Heinemann.
- [10] FELLER, Robert L., STOLOW, Nathan et JONES, Elizabeth H., 1985. *On Picture Varnishes and Their Solvents*. Washington D.C. : National Gallery of Art.
- [11] DOWN, Jane L. et al., 1996. Adhesive testing at the Canadian Conservation Institute. *Studies in Conservation*. 1996. Vol. 41, n° 1, pp. 19-44.

Fiches techniques fabricants : Kremer Pigmente GmbH & Co. KG (Laropal® A81, réf. 79038) ; Evonik Röhm GmbH (Plexigum® PQ611) ; Dow Chemical Company (Paraloid® B72). Consultées en atelier.

Tableaux des tests faites sur les cordages et fils du bateau

N° test	Technique / Système	Composition	Mode d'application	Temps de contact	Réaction du papier	Réaction des fils	Réaction PVAc 0 à 5	Interface	Diffusion	Évaluation globale	Décision	Remarques
1	Action mécanique à sec	-	Micro-spatule / aiguille	Immédiat	×	×	0	×	✓	Faible efficacité, sans risque chimique, risque mécanique	×	Méthode de base
2	Éthanol pur	100 % éthanol	Pinceau fin / micropipette	Court (10 s)	✓	✓	0	△	✓	Bonne tolérance	×	Sert de base comparative
3	Eau / éthanol (30/70)	30 % eau / 70 % éthanol	Application localisée	Court à moyen	✓ à △	✓ à △	0	△ à ✓	△	Bon compromis initial	×	Ajuster selon réaction papier
4	Eau / éthanol (50/50)	50 % eau / 50 % éthanol	Idem	Moyen	△	△	1	△ à ✓	△ à ×	Efficace mais plus risqué	×	À limiter si papier sensible
5	Gel (agar) mélange I (30/70)	Gel + solvant	Dépôt localisé	Moyen à long	✓	✓	2	△	✓	Difficulté avec la pose du gel sur les fils	△	Permet de légèrement solubiliser l'adhésif

6	Compresses (papier japon) mélange 50/50	Compresse + solvant	Dépôt localisé	Moyen à long (30-60s)	✓	✓	2 ou 3	✓	✓	Ramoliti légèrement PVAc	✓	Permet de légèrement solubiliser l'adhésif
7	Action mécanique après gel et compresses	-	Micro-outils		✓	✓ à △	4	✓ à △	✓	Danger pour l'objet	△	Matériaux trop fragile par action mécanique
8	Application de chaleur sur l'adhésif	-	Spatule chauffante	Moyen à long	✓	✓	4	✓	✓	Fonctionne légèrement, rend l'adhésif mou	△	Nécessite une forte action mécanique
le solvant déposé dans les fils migre vers le papier par capillarité c'est pour ça qu'il est pris en compte									✓	Bien		
									△	Attention		
									×	Rédibitoire		

Tableau 46 Tests sur les cordages du bateau

Annexe I : Recommandations de conservation préventive

La présente annexe rassemble les recommandations de conservation préventive élaborées à l'issue du traitement de conservation-restauration réalisé entre février et juin 2026. Elle s'adresse en premier lieu au personnel du MIH chargé de la conservation et de la médiation de l'objet. Elle couvre les conditions environnementales de conservation et d'exposition, les protocoles de manipulation et de conditionnement en réserve, les modalités de pose et de retrait de la plaque de plexiglas, les procédures de mise en fonctionnement lors de l'exposition de 2027, et le programme d'entretien mécanique préventif.

I1 Conditions environnementales de conservation et d'exposition optimales

1.1 Conservation en réserve

Paramètre	Valeur recommandée	Justification
Température	18 °C ± 2 °C	Limite les réactions de dégradation chimique des liants organiques (peinture, adhésifs, papier) et du métal.
Humidité relative (HR)	50 % ± 5 %	Évite les mouvements hygroscopiques du bois (cadre fragilisé, caisson), le décollement des éléments en papier et carton.
Variations admissibles	Variations lentes uniquement (< 5 % HR / 24 h)	Les chocs hygrométriques sont plus dommageables que les valeurs absolues.
Éclairage en réserve	Obscurité totale ou éclairage à LED sans UV, < 50 lux lors des accès	Protection de la couche picturale et des éléments en papier et carton sensibles au rayonnement UV.

Tableau 47 Conditions environnementales de conservation en réserve

1.2 Conditions d'exposition (2027)

Paramètre	Valeur recommandée	Justification
Température	18–22 °C, stable	Compatibilité avec le confort du public tout en restant dans des valeurs acceptables pour les matériaux.
Humidité relative	50 % ± 5 %	Identique aux conditions de réserve pour limiter le choc climatique lors des sorties.
Éclairement sur l'objet	≤ 150 lux, LED sans UV	La peinture à l'huile est sensible aux UV et à la chaleur rayonnante. Le papier du décor est encore plus sensible (≤ 50 lux idéalement).
Rayonnement UV	< 10 µW/lm	Protection des pigments et des papiers.
Dose lumineuse annuelle	À calculer selon la durée d'exposition prévue	-
Distance public / objet	Prévoir un espace de recul ; barrière physique recommandée	Le plexiglas protège le décor tridimensionnel des contacts accidentels, mais une mise à distance reste conseillée.
Vibrations	Eviter les sources de vibration continue à proximité (haut-parleurs, climatisation, passages fréquents)	Les vibrations cycliques peuvent provoquer la formation de microfissures dans les couches picturales (Wei, 2021) et contraindre les éléments en papier et carton.

Tableau 48 Condition d'exposition

I2 Manipulation et conditionnement en réserve

2.1 Principes généraux de manipulation

L'objet est lourd (cadre inclus, dimensions 73 × 98 × 20 cm) et structurellement fragile en plusieurs points. Toute manipulation requiert au minimum deux personnes.

	Règle de manipulation
1	Éviter de saisir l'objet par le cadre. Le cadre, consolidé mais fragile, n'est pas conçu pour supporter le poids de l'ensemble. Les points de prise sont les bords du caisson en bois.
2	Ne jamais poser l'objet côté avers au sol ou sur une surface plane non protégée. La face avant (cadre , plexiglas, décor) ne doit jamais supporter le poids de l'ensemble. L'objet se pose côté revers ou se conserve accroché ou à plat revers vers le bas.
3	Porter des gants propres lors des manipulations. Les surfaces métalliques (plaque peinte, mécanismes) sont sensibles aux traces de mains.
4	Ne pas incliner l'objet à plus de 45° lors du transport. Le pendule du mécanisme horloger peut osciller et créer des chocs internes, si du personnel qualifié est disponible il est préférable de le retirer lors de transports, il est sinon nécessaire au minimum de l'immobiliser avec des mousses en retirant la porte de la tour du mouvement horloger. Le décor tridimensionnel (bateau, papier mer) est sensible aux mouvements brusques.
5	Deux personnes minimums pour tout déplacement.
6	Arrêter le mécanisme horloger avant tout déplacement : soulever le pendule et le bloquer doucement contre la structure. Remettre le pendule en oscillation après installation dans la position définitive.
7	Ne pas actionner le mécanisme d'automates pendant les manipulations ou le transport.

Tableau 49 Principe pour la manipulation de l'objet

2.2 Orientation et positionnement de conservation

L'objet peut être conservé selon deux orientations acceptables :

Orientation	Modalités	Précautions
-------------	-----------	-------------

Accroché verticalement (position d'usage)	Accrocher à un système d'accrochage solide, fixé dans un mur porteur ou sur un panneau de cimaise prévu à cet effet. Vérifier la solidité du système avant toute utilisation.	Bloquer le pendule si l'objet doit rester accroché sans fonctionner sur une longue période.
À plat, revers vers le bas	Reposer le caisson sur une surface plane rembourrée (mousse de polyéthylène ou équivalent). Le revers du caisson constitue la seule surface d'appui admissible.	Interposer une mousse de polyéthylène entre le caisson et la surface de stockage. Ne rien poser par-dessus l'objet.
À NE JAMAIS FAIRE	Poser l'objet côté avers (cadre vers le bas) que l'objet soit supporté par le cadre (la partie inférieure notamment), que ce soit au sol ou sur une table. Le cadre, fragile et ornemental, ne peut supporter le poids de l'ensemble.	Risque de fracture du cadre, de dommages irréversibles au décor tridimensionnel, et d'écrasement du plexiglas.

Tableau 50 Orientations de conservation

2.3 Conditionnement en réserve

En l'absence d'une caisse de transport dédiée, le conditionnement minimal recommandé est le suivant :

	Action	Matériau recommandé
1	Retirer la plaque de plexiglas selon la procédure décrite en J.4 avant tout emballage ou transport.	-
2	Envelopper la plaque de plexiglas séparément dans du papier de soie non acide, puis dans une enveloppe de polyéthylène.	Papier de soie non acide (pH neutre), sachet polyéthylène.

3	Protéger les zones fragiles du cadre (angles, motifs décoratifs en relief) avec de la mousse de polyéthylène découpée.	Mousse de polyéthylène à cellules fermées.
4	Intercaler une couche de papier de soie non acide sur l'avvers (décor tridimensionnel) avant tout contact avec un matériau d'emballage.	Papier de soie.
5	Poser le caisson revers vers le bas sur une mousse de polyéthylène (≥ 3 cm). Caler latéralement pour éviter tout mouvement.	Mousse polyéthylène, cales mousse.
6	Bloquer le pendule avant le conditionnement (ficelle douce autour du pendule et de la structure interne).	Ficelle de coton propre ou cordon de polyéthylène.

Tableau 51 Conditionnement en réserve

I3 Montage et démontage des éléments du décor tridimensionnel

Le décor tridimensionnel de l'IV-913 est constitué d'éléments fragiles en carton, papier et bois qui peuvent nécessiter un accès lors d'interventions de maintenance ou de transport. La présente section décrit les points d'attention spécifiques. Les manipulations de démontage et de remontage ne doivent être réalisées que par un professionnel de la conservation-restauration ou sous sa supervision directe.

3.1 Accès aux mécanismes

	Procédure
1	Retirer la plaque de plexiglas (cf. J.4).
2	Ouvrir le cadre : le cadre est fixé au caisson par deux charnières en partie supérieure. Il se désolidarise en soulevant doucement par le bas en décrochant les crochets des deux côtés latéraux. Deux personnes requises : une tient le cadre pendant que l'autre assure la stabilité du caisson pour caler la béquille et donc maintenir le cadre ouvert.
3	Le cadre ouvert, les éléments du décor tridimensionnel (décors architecturaux latéraux, élément mer, bateau) sont accessibles. Les décors architecturaux sont posés et maintenus par la boîte et le cadre : ils ne sont pas fixés de façon permanente et peuvent être retirés délicatement à la main, il faut cependant dévisser la bague de butée sur la partie latérale droite du caisson qui empêcherai le décor de pouvoir être sorti.
4	Le retrait du décor s'effectue en trois temps : retirer la bague de butée ; soulever le décor légèrement de part et d'autre depuis le dessous ; dégager en soulevant la partie gauche en la sortant progressivement du caisson jusqu'à son extraction complète. La remise en place suit la démarche inverse.
5	Le mécanisme d'automates est vissé au revers du décor (accessible depuis le fond du caisson une fois les éléments architecturaux retirés).
6	Le mécanisme horloger est vissé sur la structure en bois par 3 vis actives (2 supérieures, 1 inférieure).

7 La remise en place du décor s'effectue comme suit :

1. Nouer une ficelle à un petit bâtonnet en bois, et attacher son autre extrémité au filetage de la tige servant à bloquer ou relâcher le volant des automates.
2. Passer le bâtonnet dans le trou, depuis l'intérieur du caisson vers l'extérieur (figure ci-dessous).
3. Poser la partie droite du décor sur la partie droite de la caisse.
4. Tirer doucement sur le bâtonnet pour guider la tige dans le trou, tout en remettant le décor en place dans le caisson, cadre ouvert. Retirer la ficelle et le bâtonnet.

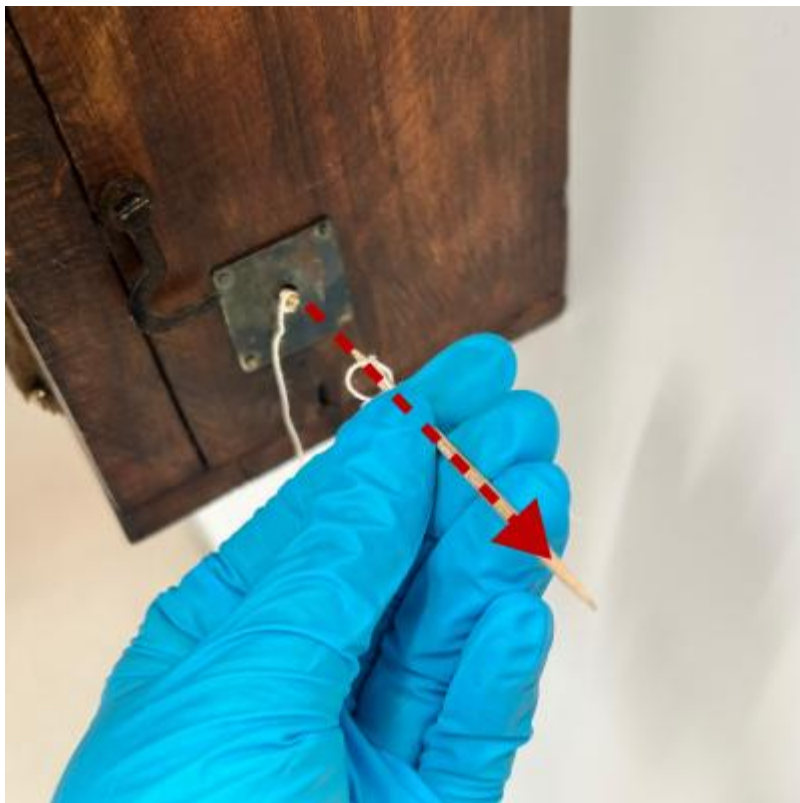


Tableau 52 Comment accéder aux mécanismes ?

Points de vigilance spécifiques au décor tridimensionnel :

- Le papier de l'eau est solidaire du support en bois portant le bateau. Ne pas tirer sur le bateau ou ses cordages pour le déplacer : risque de déchirure du papier mer.
- Les cordages du gréement sont fragiles et leur organisation perturbée. Éviter tout contact non nécessaire.

- La baguette en verre de la colline gauche est traversante et fragile. Ne pas exercer de pression latérale sur la colline gauche.
- Le liséré inférieur est fixé par clouage et collage sur un support ferreux : ne pas exercer de traction.

I4 Pose et retrait de la plaque de plexiglas

Une plaque de plexiglas a été commandé lors du traitement (juin 2026) en remplacement du verre de protection absent. Cette plaque est la dernière étape de la restauration. La plaque est maintenue par avec des feuilures dans les rainures intérieures du cadre côté droit, côté haut, côté droit et côté bas uniquement. Le côté gauche est celui sans feuilures (en regardant le tableau de face), ce qui permet d'insérer et de retirer la plaque par glissement latéral.

4.1 Retrait de la plaque de PMMA (plexiglas)

Procédure de retrait	
1	Deux personnes requises, porter des gants. La première tient le cadre fermement des deux mains en appuyant sur ses montants latéraux. La seconde manipule la plaque.
2	La personne manipulant la plaque se positionne, du côté gauche (quand on est face à l'objet, côté sans feuillure). Placer les deux mains à plat sur la surface de la plaque, paumes ouvertes, sans appuyer sur le décor tridimensionnel visible derrière.
3	Ouvrir légèrement le cadre en le basculant vers soi (les charnières sont en haut) afin de créer un espace de dégagement côté gauche entre la rainure du cadre et la plaque. La béquille ne doit pas être mise, elle est placé du côté ou la plaque doit être insérée.
4	Glisser lentement la plaque en la maintenant verticale.
5	Poser la plaque de plexiglas à plat sur une surface rembourrée. Eviter de poser le plexiglas en appui sur sa tranche (risque de rayure ou de fracture), protéger la surface de la poussière.
6	Refermer le cadre une fois la plaque retirée.

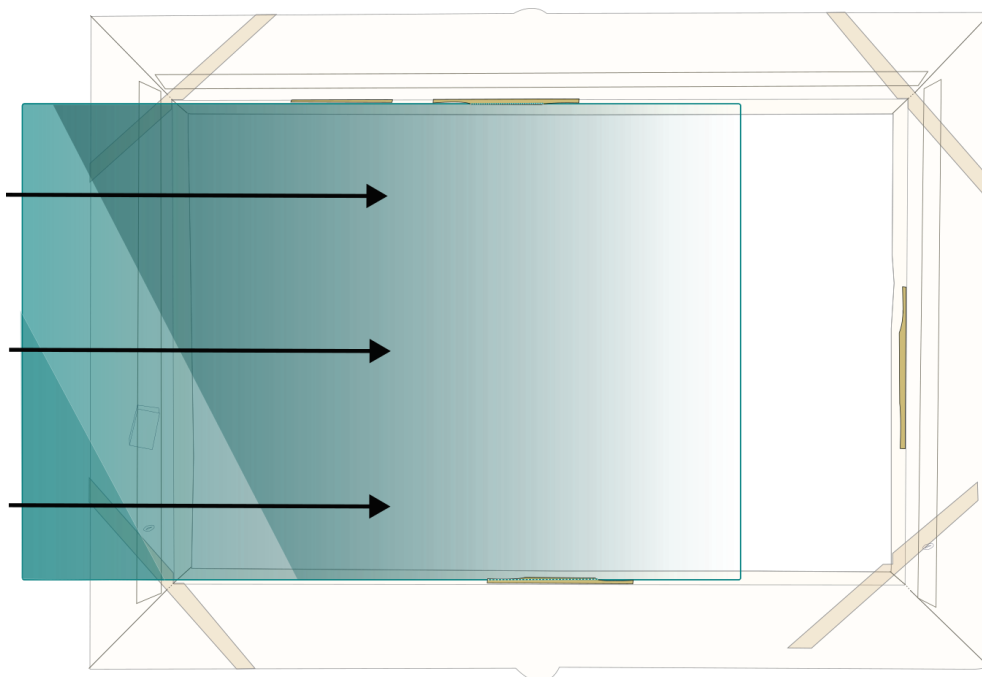
Tableau 53 Retrait du PMMA

4.2 Pose de la plaque de plexiglas

Procédure de pose	
1	Deux personnes requises, porter des gants. Vérifier au préalable que la plaque est propre des deux côtés (dépoussiérer doucement à l'aide d'un chiffon doux non pelucheux ou d'une soufflette à air sec).

2	La première personne tient le cadre ouvert des deux mains sur ses montants latéraux, en le maintenant légèrement écarté du caisson (quelques centimètres) pour permettre l'insertion.
3	La seconde personne saisit la plaque par ses deux extrémités longues (bords supérieur et inférieur), en évitant de toucher les faces. Présenter la plaque verticalement du côté gauche de l'objet.
4	Introduire le bord droit de la plaque dans la rainure du cadre côté droit. Vérifier simultanément que le bord supérieur et le bord inférieur s'engagent dans les rainures correspondantes.
5	Glisser doucement la plaque vers la droite jusqu'à ce que le bord gauche affleure la tranche gauche du cadre. La plaque est alors en position. Le côté gauche n'est pas retenu par une feuillure : il est maintenu par la fermeture du cadre.
6	La première personne referme le cadre délicatement contre le caisson. Vérifier que la plaque ne dépasse pas et qu'elle ne crée pas de contrainte sur les charnières.
7	Contrôler visuellement l'absence de jeu excessif ou de déformation de la plaque une fois le cadre refermé.

Tableau 54 Pose de la plaque de PMMA



Entretien de la plaque de plexiglas :

- Nettoyer uniquement avec un chiffon doux légèrement humide (eau déminéralisée).
Jamais de solvants (alcool, acétone) : le plexiglas se raye facilement et les solvants peuvent l'opacifier.
- En cas de rayure superficielle, ne pas tenter de polir sans consulter quelqu'un de qualifié.
- Stocker la plaque à plat ou verticalement calée, éviter l'appui sur sa tranche.

I5 Protocole de mise en fonctionnement lors d'exposition

La remise en fonctionnement des deux mécanismes constitue l'un des objectifs centraux du mandat confié par le musée. Elle implique des contraintes mécaniques sur les matériaux les plus fragiles de l'objet, en particulier le décor tridimensionnel en papier et carton. Le protocole ci-dessous définit les conditions dans lesquelles la mise en fonctionnement peut être réalisée de manière compatible avec la conservation de l'objet.

5.1 Conditions préalables au fonctionnement

	Vérification préalable
1	L'objet est accroché parfaitement verticalement et stable dans sa position d'exposition. Un niveau est nécessaire pour cette manipulation.
2	Le plexiglas est en place.
3	Les conditions climatiques de la salle sont dans les valeurs recommandées.
4	Vérifier qu'aucun élément du décor ne présente de décollement, déchirure nouvelle ou déformation depuis le dernier contrôle visuel.
5	La personne déclenchant le mécanisme est formée à la procédure décrite ci-dessous.

Tableau 55 Condition préalable au fonctionnement

5.2 Mise en fonctionnement du mécanisme horloger

	Procédure
1	Le mécanisme horloger fonctionne en continu une fois remonté. Sa durée de marche est d'environ 8 jours avec un ressort remonté au maximum (mouvement de Paris standard).
2	Remonter le mécanisme avec une clé de remontage, par la tige de remontage accessible depuis l'extérieur ou depuis le revers. Remonter doucement jusqu'à sentir une résistance, ne jamais forcer.
3	Si le pendule s'est arrêté, lui donner une légère impulsion latérale pour relancer l'oscillation. L'échappement doit reprendre automatiquement.

4	Vérifier que la sonnerie fonctionne correctement lors du premier passage d'heure ou de demi-heure suivant le remontage.
5	Si le mouvement s'avère trop rapide ou trop lent après remontage, agir sur la vis de la suspension Brocot pour en modifier la longueur effective (sens antihoraire pour raccourcir = accélérer ; sens horaire pour allonger = ralentir).

Tableau 56 Mise en fonction du mouvement horloger

5.3 Mise en fonctionnement du mécanisme d'automates

Le mécanisme d'automates est à déclenchement entièrement manuel. Une fois le ressort remonté, l'actionnement du volant régulateur déclenche le fonctionnement jusqu'à dissipation de l'énergie ou arrêt manuel avec la tirette sur la partie latérale droite du caisson en bois. Les automates animent le bateau (mouvement vertical) et la baguette en verre (rotation).

	Procédure
1	Remonter le barillet du mécanisme d'automates via la tige de remontage prévue à cet effet. Remonter doucement jusqu'à sentir la résistance, ne jamais forcer, un tour de barillet suffit au bon fonctionnement.
2	Actionner le volant régulateur depuis le dispositif accessible en extérieur de l'objet pour déclencher l'animation.
3	Observer le premier cycle complet de fonctionnement : le bateau doit se déplacer verticalement de façon régulière, la baguette en verre doit tourner. Un fonctionnement irrégulier ou un blocage impose un arrêt immédiat et une consultation d'un horloger.
4	Arrêter le mécanisme en bloquant manuellement le volant régulateur avant que le ressort soit totalement détendu.

Tableau 57 Mise en fonction des automates

Fréquence et durée recommandées pour le mécanisme d'automates :

- Limiter les actionnements à quelques cycles par session de médiation. Une sollicitation trop fréquente génère des contraintes mécaniques cumulées sur le papier et le grément du bateau.

- Un contrôle visuel du papier mer et du gréement est recommandé après chaque série d'actionnements.
- En cas de bruit inhabituel, de vibration anormale ou de mouvement irrégulier du bateau, arrêter immédiatement et ne pas relancer sans examen par un horloger ou un restaurateur qualifié.

I6 Programme d'entretien mécanique préventif

Les mécanismes ont été nettoyés et lubrifiés avec des produits synthétiques de la gamme Moebius lors du traitement (juin 2026). Les lubrifiants synthétiques retenus présentent une durée de vie supérieure aux lubrifiants naturels et une moindre tendance à la gommification lors des périodes de repos. Ils ne dispensent toutefois pas d'un suivi régulier.

6.1 Tableau de suivi des interventions d'entretien

Action	Fréquence recommandée	Opérateur recommandé	Observations
Contrôle visuel général de l'objet (surfaces, décor, gréement, plexiglas)	Avant chaque exposition et au minimum 1 fois par an en réserve	Personnel de conservation du MIH	Signaler tout changement par rapport à l'état documenté lors du traitement.
Remontage du mécanisme horloger	Toutes les 7 à 8 jours lors du fonctionnement en exposition	Personnel formé du MIH	Ne jamais forcer. Si résistance anormale, consulter un horloger.
Contrôle visuel du papier et du gréement après actionnement des automates	Après les sessions d'actionnement	Personnel de médiation ou conservation du MIH	Rechercher tout décollement, déchirure nouvelle ou déformation.

Dépoussiérage de la plaque de plexiglas (extérieur)	Mensuel ou selon besoins	Personnel de conservation du MIH	Chiffon doux non pelucheux. Pas de solvants.
Révision complète des mécanismes (démontage, nettoyage, relubrification)	Tous les 5 à 10 ans, ou en cas de dysfonctionnement	Horloger qualifié, restaurateur qualifié	Lubrifiants Moebius synthétiques recommandés (cf. J.6.2).
Contrôle climatique en réserve et en salle d'exposition	Continu; lecture mensuelle minimum	Responsable de la conservation du MIH	Comparer aux valeurs recommandées en J.1.
Examen approfondi par un conservateur-restaurateur	Tous les 5 ans minimum, ou avant chaque exposition	Conservateur-restaurateur spécialisé objets composites / horlogerie	Inclure un examen sous lumière rasante, UV, contrôle de l'état des consolidants.

Tableau 58 Suivi des interventions d'entretiens

6.2 Lubrifiants utilisés lors du traitement (pouvant servir de référence pour les interventions futures)

Les tableaux suivants récapitulent les produits utilisés lors du traitement de juin 2026, à titre de référence pour les interventions d'entretien futures. Toute relubrification doit être réalisée par un horloger qualifié, les quantités appliquées étant déterminantes : un excès de lubrifiant peut migrer vers les matériaux organiques adjacents (papier, carton, bois).

Mécanisme horloger :

Zone	Produit Moebius	Propriétés
Axes, pivots, trains de rouage	9104 (SYNTH-HP 1300, 1300 cSt)	Huile synthétique haute viscosité, zones lentes à haute pression.
Zones haute vitesse (vis sans fin, volant)	9010 (SYNTH-A-LUBE, 10 cSt)	Huile synthétique basse viscosité.

Palettes et roue d'ancre (échappement)	9415 (huile synthétique)	Huile pour zones d'échappement.
Leviers, goupilles de chaussée, ressorts de cliquet	9501 (176 cSt, graisse synthétique)	Faible quantité.

Tableau 59 Mouvement horloger : lubrifiants

Mécanisme d'automates :

Zone	Produit Moebius	Propriétés
Axes, pivots, trains de rouage, vis sans fin	HP-1300 (huile synthétique 1300 cSt)	Zones lentes à haute pression.
Zones de contact (leviers d'arrêt du volant)	Graisse synthétique (gamme Moebius)	Quantité minimale.

Tableau 60 Mouvement automates : lubrifiants

I7 Signaux d'alerte

Les situations listées ci-dessous doivent entraîner un arrêt du fonctionnement et une notification au responsable de la conservation de l'objet.

Signal observé	Action immédiate	Urgence
Déchirure ou décollement nouveau sur le papier/eau ou les éléments architecturaux	Arrêt du fonctionnement. Ne pas tenter de recoller.	Haute
Bruit inhabituel lors du fonctionnement d'un mécanisme (craquement, frottement, claquement)	Arrêt immédiat du mécanisme concerné.	Haute
Blocage ou irrégularité du mouvement des automates ou du pendule	Arrêt immédiat. Ne pas forcer.	Haute
Chute ou déplacement d'un élément du décor	Ne pas reposer l'élément. Isoler l'objet.	Haute

Trace de poudre de bois fraîche sur ou sous l'objet (activité xylophage)	Isoler l'objet en sac polyéthylène fermé. Contacter un spécialiste.	Haute
Sonnerie du mécanisme horloger absente ou erronée	Ne plus remonter la sonnerie. Contacter un horloger.	Modérée

Tableau 61 Signaux d'alerte

Annexe J : Calculs des ressorts et trains de rouages du mouvement horloger

Nomenclature des roues et pignons

Mouvement horloger (barillet → échappement) :

Axe	Nom du mobile	Roue (Z, dents)	Pignon (Z, dents)
Z1	Barillet	84	—
Z2,Z3	Grande moyenne	80	12
Z4,Z5	Centre	84	8
Z6,Z7	Moyenne	70	7
Z8,Z9	Echappement	30	7

Tableau 62 Nombre de dents du train de rouage du barillet jusqu'à l'échappement

Rapport n_4/n_1

$$n_4 / n_1 = (z_1 \times z_3) / (z_2 \times z_4)$$

$$n_4 / n_1 = (84 \times 80) / (12 \times 8)$$

$$n_4 / n_1 = 6720 / 96$$

$$n_4 / n_1 = 70$$

n_4 nécessaire pour 8 jours de marche effective

Le pignon de centre tourne à 1 tour/heure (il entraîne l'aiguille des minutes).

$$n_4 (8 \text{ jours}) = 24 \text{ h/jour} \times 8 \text{ jours} \times 1 \text{ tour/h}$$

$$n_4 (8 \text{ jours}) = 192 \text{ tours}$$

n_1 (tours de barillet nécessaires)

$$n_1 = n_4 / 70$$

$$n_1 = 192 / 70$$

$$n_1 \approx 2,74 \text{ tours}$$

Comparaison avec l'armage réel (au moins 5 tours)

$$\text{marge} = \text{armage réel} - n_1 \text{ nécessaire}$$

$$\text{marge} = 5 - 2,74$$

$$\text{marge} \approx 2,26 \text{ tours (soit environ +83 \%)}$$

comparaison avec la méthode de marge de Reymondin (marche effective = 10 jours pour un mouvement annoncé 8 jours)

$$n_4 (10 \text{ jours}) = 24 \times 10 \times 1$$

$$n_4 (10 \text{ jours}) = 240 \text{ tours}$$

$$n_1 (10 \text{ jours}) = 240 / 70$$

$$n_1 (10 \text{ jours}) \approx 3,43 \text{ tours}$$

Minuterie (roue des heures → pignons des minutes)

Nom du mobile	Nombre de dents	
Roue des heures	84	Z1
Chaussée	36	Z2
Roue des minutes	36	Z3
Pignons des minutes	7	Z4

Tableau 63 Nombre de dents de la minuterie

$$\text{Rapport} = (Z1 \times Z3) / (Z2 \times Z4)$$

$$\text{Rapport} = (84 \times 36) / (36 \times 7)$$

$$\text{Rapport} = 3024 / 252$$

$$\text{Rapport} = 1/12$$

Train de sonnerie (barillet → volant):

Axe	Nom du mobile	Roue (Z, dents)	Pignon (Z, dents)
1	Barillet	84	—
2	Huitaine	72	14
3	Roue de chevilles	70	7
4	Roue d'arrêt	70	7
5	Roue de délai	72	7
6	Volant	—	6

Tableau 64 nombre de dents de la sonnerie du barillet au volant

Vérification du rouage et de la fréquence (mouvement horloger)

$OH = (z_{\text{centre}} \times z_{\text{moyenne}}) / (p1 \times p2) \times N$ $Ah = 2 \times OH \quad (Ah : \text{alternances par heure})$		
Grandeur	Valeur	Unité
z centre	84	dents
z moyenne	70	dents
p1, p2	7, 7	dents
(Ze) N (roue échappement)	30	dents
OH	3 600	oscillations/h
Ah	7 200	alternances/h
F	1,0000	Hz
T	1,0000	s

Tableau 65 Données des calculs

$$OH = (z_{\text{centre}} \times z_{\text{moyenne}}) / (p1 \times p2) \times N$$

$$OH = (84 \times 70) / (7 \times 7) \times 30$$

$$OH = 5880 / 49 \times 30$$

$$OH = 120 \times 30$$

$$\mathbf{OH = 3600 \text{ oscillations/h}}$$

$$Ah = 2 \times OH$$

$$Ah = 2 \times 3600$$

$$\mathbf{Ah = 7200 \text{ alternances/h}}$$

$$F = OH / 3600$$

$$F = 3600 / 3600$$

$$\mathbf{F = 1,0000 \text{ Hz}}$$

$$T = 1 / F$$

$$T = 1 / 1,0000$$

T = 1,0000 s

Résultat : F = 1,0000 Hz, identique à la valeur N = 30 d'une table de rouage multiplicatif à 120 (OH = 3 600, L balancier = 0,248 m), elle-même identique à l'inscription relevée sur la platine du mouvement (92 -> 248,1 cm, convertie via la table pouces-lignes-millimètres français).

Calcul des ressorts (barillets de sonnerie et de minuterie)

Méthode appliquée d'après Reymondin et al. (1998), chap. 14.3.2, p. 306-309 : détermination du facteur $f_b = d/D$, lecture du facteur f_e (Graphe 1) puis f_L (Graphe 2) pour obtenir la longueur théorique L_t , calcul du facteur $k = r/e$, lecture du facteur d'augmentation f (Graphe 3), et longueur pratique $L_p = f \times L_t$.

$$f_b = d / D \quad f_e = e / D \quad L_t = f_L \times D$$

$$k = r / e \quad L_p = f \times L_t$$

d, r : diamètre / rayon de la bonde [mm] D : diamètre intérieur du tambour [mm]
e : épaisseur du ressort [mm] L_t : longueur théorique [mm] L_p : longueur pratique [mm]

Données mesurées

Grandeur	Unité	Sonnerie	Minuterie
D (Ø intérieur tambour)	mm	43,2	41,5
d (Ø bonde)	mm	14	13
r (rayon bonde)	mm	7	6,5
e (épaisseur ressort)	mm	0,325	0,34
n (nombre de tours enroulé)	tours	18	17
L mesurée (longueur totale)	mm	2000	1885

Tableau 66 Données mesurées pour le calcul des ressorts

Facteurs calculés

Facteur	Unité	Sonnerie	Minuterie	Plage graphes Reymondin
$f_b = d/D$	sans unité	0,324	0,313	0,20 - 0,38
$f_e = e/D$	sans unité	0,00752	0,00819	0 - 0,025

Facteur	Unité	Sonnerie	Minuterie	Plage graphes Reymondin
$k = r/e$	sans unité	21,5	19,1	12 - 22

Tableau 67 Résultat par rapport aux graphes

n (17-18 tours) dépasse la plage des Graphes 1-2 (max 15 tours) : Lt calculée par formule analytique de la spirale, pas par lecture graphique.

$$Lt = n \times n \times (D + d) / 2$$

Résultats : longueur pratique et comparaison à la mesure

Grandeur	Unité	Sonnerie	Minuterie
Lt (théorique)	mm	1617,3	1455,3
f (Graphe 3)	sans unité	1,108	1,152
$Lp = f \times Lt$ (méthode A)	mm	1792,0	1676,6
$Lp = 1,20 \times Lt$ (méthode B, +20 %)	mm	1940,8	1746,4
L mesurée	mm	2000	1885
Écart L mesurée - Lp (méth. A)	%	+11,6	+12,4
Écart L mesurée - Lp (méth. B)	%	+3,1	+7,9

Tableau 68 Résultats : longueur pratique et comparaison à la mesure

Graphe 1

Détermination de l'épaisseur du ressort
 (fig. 14-11).

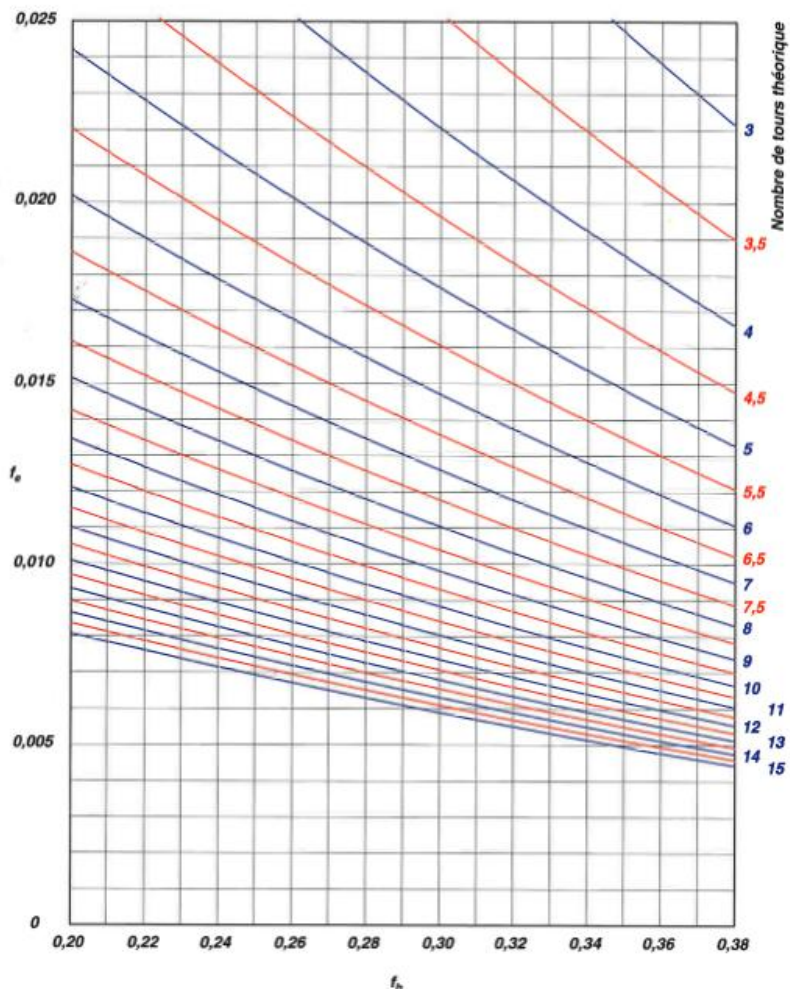


Figure 92 Détermination de l'épaisseur du ressort D'après Reymondin et al., *Théorie de l'horlogerie*, CPIH, 1998, p307

Graph 2

Détermination de la longueur théorique du ressort (fig. 14-12).

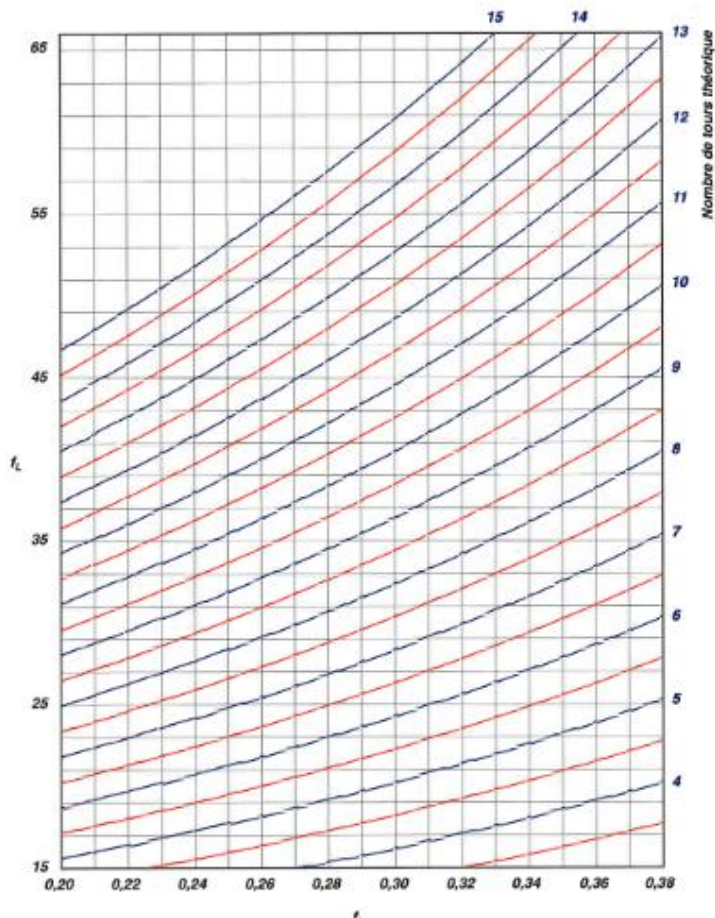


Figure 93 Détermination de la longueur théorique du ressort D'après Reymondin et al., *Théorie de l'horlogerie*, CPIH, 1998, p308

Graphe 3

Détermination de la longueur pratique du ressort (fig. 14-13).

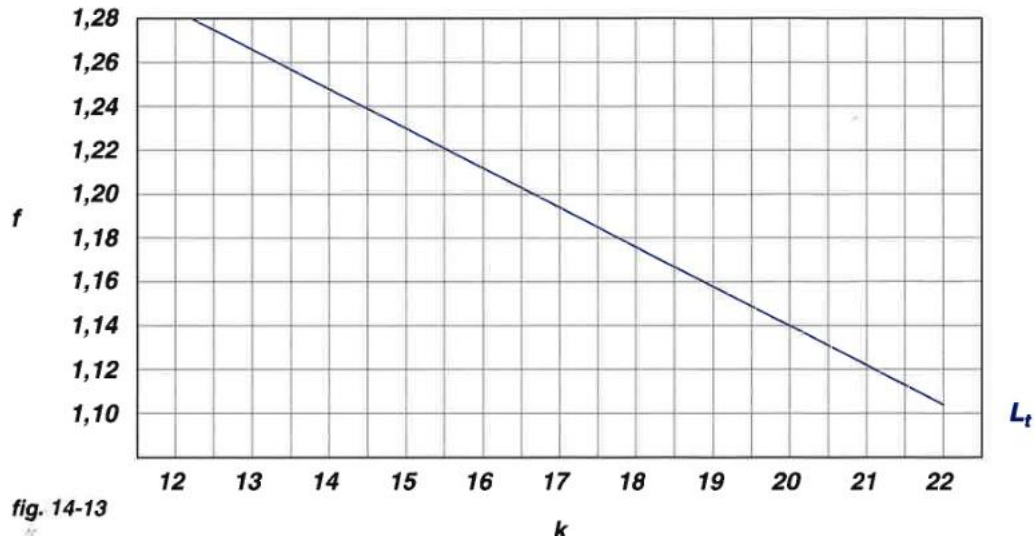


Figure 94 Détermination de la longueur pratique du ressort D'après Reymondin et al., *Théorie de l'horlogerie*, CPIH, 1998, p309

Ressort de sonnerie

$$fb = d / D$$

$$fb = 14 / 43,2$$

$$\mathbf{fb = 0,3241}$$

$$fe = e / D$$

$$fe = 0,325 / 43,2$$

$$\mathbf{fe = 0,00752}$$

$$k = r / e$$

$$k = 7 / 0,325$$

$$\mathbf{k = 21,54}$$

$$Lt = n \times n \times (D + d) / 2$$

$$Lt = n \times 18 \times (43,2 + 14) / 2$$

$$Lt = n \times 18 \times 57,2 / 2$$

$$Lt = n \times 18 \times 28,6$$

$$L_t = n \times 514,8$$

$$L_t = 1617,3 \text{ mm}$$

Méthode A - facteur f du Graphe 3 (lu pour k = 21,54) : f = 1,108

$$L_p = f \times L_t$$

$$L_p = 1,108 \times 1617,3$$

$$L_p \text{ (méthode A)} = 1792,0 \text{ mm}$$

$$\text{Écart A} = (L \text{ mesurée} - L_p) / L_p \times 100$$

$$\text{Écart A} = (2000 - 1792,0) / 1792,0 \times 100$$

$$\text{Écart A} = 208,0 / 1792,0 \times 100$$

$$\text{Écart A} = +11,61 \%$$

Méthode B - règle des +20 % (Reymondin, p. 306)

$$L_p = 1,20 \times L_t$$

$$L_p = 1,20 \times 1617,3$$

$$L_p \text{ (méthode B)} = 1940,8 \text{ mm}$$

$$\text{Écart B} = (L \text{ mesurée} - L_p) / L_p \times 100$$

$$\text{Écart B} = (2000 - 1940,8) / 1940,8 \times 100$$

$$\text{Écart B} = 59,2 / 1940,8 \times 100$$

$$\text{Écart B} = +3,05 \%$$

Ressort de minuterie :

$$fb = d / D$$

$$fb = 13 / 41,5$$

$$fb = 0,3133$$

$$fe = e / D$$

$$fe = 0,34 / 41,5$$

$$fe = 0,00819$$

$$k = r / e$$

$$k = 6,5 / 0,34$$

k = 19,12

$$Lt = n \times n \times (D + d) / 2$$

$$Lt = n \times 17 \times (41,5 + 13) / 2$$

$$Lt = n \times 17 \times 54,5 / 2$$

$$Lt = n \times 17 \times 27,25$$

$$Lt = n \times 463,25$$

Lt = 1455,3 mm

Méthode A - facteur f du Graphe 3 (lu pour k = 19,12) : f = 1,152

$$Lp = f \times Lt$$

$$Lp = 1,152 \times 1455,3$$

Lp (méthode A) = 1676,6 mm

$$\text{Écart A} = (L \text{ mesurée} - Lp) / Lp \times 100$$

$$\text{Écart A} = (1885 - 1676,6) / 1676,6 \times 100$$

$$\text{Écart A} = 208,4 / 1676,6 \times 100$$

Écart A = +12,43 %

Méthode B - règle des +20 %

$$Lp = 1,20 \times Lt$$

$$Lp = 1,20 \times 1455,3$$

Lp (méthode B) = 1746,4 mm

$$\text{Écart B} = (L \text{ mesurée} - Lp) / Lp \times 100$$

$$\text{Écart B} = (1885 - 1746,4) / 1746,4 \times 100$$

$$\text{Écart B} = 138,6 / 1746,4 \times 100$$

Écart B = +7,94 %

La méthode B (règle des +20 %, Reymondin p. 306) se rapproche davantage de la longueur mesurée que la méthode A (facteur f du Graphe 3), pour les deux ressorts. Dans les deux cas, l'écart est positif : la longueur réelle dépasse la longueur calculée, conformément au sens de la marge prévue.

Annexe K : Estimation de l’empreinte carbone du traitement

Objectif et périmètre

La présente annexe propose une estimation de l'empreinte carbone du traitement à partir des produits, équipements, déplacements et volumes de données mentionnés au fil de l'intervention. Elle couvre quatre catégories de postes : les produits chimiques et matériaux consommés, les commandes passées auprès des fournisseurs (transport amont), l'énergie et l'usage des équipements, ainsi que les déplacements et le transport de l'objet. Un dernier poste, mineur, concerne le stockage numérique de la documentation.

Cette estimation ne constitue pas un bilan carbone réglementaire au sens de la méthode *Bilan Carbone®* ou du *GHG Protocol*, qui suppose une couverture exhaustive des trois scopes et le recours à des facteurs d'émission certifiés pour chaque poste. Il s'agit d'un exercice indicatif, destiné à situer les ordres de grandeur des différents postes du traitement les uns par rapport aux autres, et à identifier les postes les plus significatifs.

Méthodologie et sources des facteurs d'émission

Chaque poste est calculé selon le principe suivant : émissions (kgCO₂e) = quantité × facteur d'émission (kgCO₂e par unité). Les facteurs d'émission proviennent, lorsque cela est possible, de la Base Empreinte de l'ADEME (Agence de la transition écologique) ou de sources apparentées (SNCF Voyageurs, Mobitool pour le contexte suisse). Pour l'électricité consommée en Suisse, un facteur moyen de 0,055 kgCO₂e/kWh est retenu, en approche dite « location-based » (mix électrique moyen consommé, sans contrat d'électricité verte).

Pour la majorité des produits de conservation-restauration (résines de synthèse, solvants spécifiques, polymères), aucun facteur d'émission spécifique n'est disponible dans la base d'empreinte, faute de fiches de données environnementales ou d'analyses de cycle de vie publiées par les fabricants. Des facteurs génériques par famille chimique sont alors utilisés (solvant pétrolier, polymère de synthèse, minéral, matière première naturelle peu transformée), à titre d'ordre de grandeur. Ces valeurs sont signalées comme des hypothèses dans les tableaux suivants.

Les postes pour lesquels une donnée déterminante n'est pas connue avec précision (distance, poids, puissance d'un appareil, durée d'utilisation) sont signalés en surbrillance dans la colonne « Statut / hypothèse » de chaque tableau. Une synthèse de ces points figure en fin d'annexe.

Produits chimiques et matériaux

Poste	Quantité	Unité	Facteur (kgCO ₂ e/unité)	Émissions (kgCO ₂ e)	Source du facteur	Statut / hypothèse
Acétone	0,237	kg	3	0,711	Estimation générique, production chimique de base (ordre de grandeurecoinvent)	HYPOTHÈSE : facteur générique non spécifique au fournisseur ; 300 mL convertis à une densité de 0,79 g/mL

Poste	Quantité	Unité	Facteur (kgCO2e/unité)	Émissions (kgCO2e)	Source du facteur	Statut / hypothèse
Shellsol D40 (hors mélange de consolidation)	0,474	kg	1	0,474	Estimation générique, solvant pétrolier aliphatique (type white-spirit désaromatisé)	HYPOTHÈSE : 600 mL convertis à une densité approximative de 0,79 g/mL
Isopropanol	1,572	kg	2,6	4,087	Estimation générique, alcool de synthèse	HYPOTHÈSE : 2 L convertis à une densité de 0,786 g/mL
Borax	0,0012	kg	1	0,001	Estimation générique, minéral raffiné (borate de sodium)	Quantité négligeable (1,2 g)
PVA-OH en poudre	0,016	kg	3,2	0,051	Estimation générique, polymère synthétique (polyvinylalcool)	Facteur générique de polymère.
Plexigum PQ611 (hors mélange de consolidation)	0,04	kg	4,5	0,18	Estimation générique, résine acrylique (polymère synthétique)	Facteur générique.
Shellsol A	0,0352	kg	1,2	0,042	Estimation générique, solvant aromatique désaromatisé partiel	4 cL convertis à une densité approximative de 0,88 g/mL
Laropal A81®	0,04	kg	3,5	0,14	Estimation générique, résine urée-aldéhyde de synthèse	Facteur générique.
Mélange de consolidation (microballons phénoliques, Claytone, Plexigum® dans Shellsol D40, 100 mL) fraction solvant	0,063	kg	1	0,063	Estimation générique solvant (cf. Shellsol D40)	Répartition solvant/charges
Mélange de consolidation fraction charges solides (microballons phénoliques et Claytone)	0,02	kg	2,7	0,054	Estimation générique, moyenne microsphères phénoliques / argile organomodifiée	Masse et proportion respectives des deux.

Poste	Quantité	Unité	Facteur (kgCO2e/unité)	Émissions (kgCO2e)	Source du facteur	Statut / hypothèse
Papier japon (environ 20 cm ² , grammage supposé 25 g/m ²)	0,0005	kg	1	0,001	<i>Estimation générique, pâte à papier / fibres cellulosiques</i>	<i>Grammage supposé, masse réelle non pesée</i>
Colle de peau	0,012	kg	1	0,012	<i>Estimation générique, matière première animale transformée (co- produit)</i>	<i>Impact généralement faible, sous- produit de l'industrie de la viande</i>
Amidon de blé	0,02	kg	0,6	0,012	<i>Estimation générique, amidon alimentaire</i>	<i>Impact faible, produit agricole courant</i>
Eau du robinet	50	L	0,0003	0,015	<i>Estimation générique, traitement et distribution d'eau potable (contexte CH/FR)</i>	<i>Poste mineur</i>
Eau démminéralisée	1	L	0,001	0,001	<i>Estimation générique, eau démminéralisée (traitement supplémentaire)</i>	<i>Poste mineur</i>
Pigments (mélange de plusieurs couleurs)	0,005	kg	5	0,025	<i>Estimation générique, moyenne pigments minéraux et synthétiques</i>	<i>Mélange non quantifiable pigment.</i>
Craie de Champagne (carbonate de calcium naturel)	0,1	kg	0,02	0,002	<i>Estimation générique, minéral naturel/ peu transformé</i>	<i>Impact très faible</i>
Éponge « smoke sponge » (caoutchouc vulcanisé), 1 unité	0,05	kg	2,5	0,125	<i>Estimation générique, caoutchouc synthétique vulcanisé</i>	<i>Masse unitaire à 50 g</i>
EDTA (agent chélatant, sel disodique)	0,0005	kg	3,5	0,002	<i>Estimation générique, agent chélatant de synthèse</i>	<i>Quantité négligeable (0,5 g)</i>
Acide tannique	0,003	kg	1,2	0,004	<i>Estimation générique, tanin d'origine végétale</i>	<i>Quantité négligeable (3 g)</i>

Poste	Quantité	Unité	Facteur (kgCO ₂ e/unité)	Émissions (kgCO ₂ e)	Source du facteur	Statut / hypothèse
					(matière première renouvelable, transformation modérée)	
TOTAL Produits chimiques et matériaux				6,001		

Tableau 69 Empreinte carbone : produits chimiques et matériaux

Commandes fournisseurs (transport amont)

Poste	Quantité	Unité	Facteur (kgCO ₂ e/unité)	Émissions (kgCO ₂ e)	Source du facteur	Statut / hypothèse
Commande d'huile Moebius (Moebius → MIH, La Chaux-de-Fonds), transport du colis	1	colis	1	1,00	Estimation générique pour un petit colis, transport routier national ou régional (Suisse)	Poids et distance exacts du colis non connus ; valeur forfaitaire indicative
Commande Kremer Pigmente (environ 4,5 kg), transport du colis Allemagne → Suisse	4,5	kg	0,35	1,575	Facteur de fret routier européen (environ 0,00015 à 0,0002 kgCO ₂ e/t.km, Base Empreinte ADEME) appliqué à une distance estimée de 450 à 500 km, majoré pour tenir compte du faible taux de remplissage d'un envoi fractionné	Distance entre Kremer (Aichstetten, Allemagne) et Neuchâtel/La Chaux-de-Fonds estimée à environ 470 km
Commande Deffner & Johann, transport du colis Allemagne → Suisse	1	colis	2	2,00	Estimation générique pour un petit colis de messagerie internationale	Distance de la commande non détaillés ; valeur forfaitaire indicative
TOTAL Commandes fournisseurs				4,575		

Tableau 70 Empreinte carbone : commandes fournisseurs

Énergie et équipements

Poste	Quantité	Unité	Facteur (kgCO ₂ e/unité)	Émissions (kgCO ₂ e)	Source du facteur	Statut / hypothèse
Spatule chauffante (CTS), environ 5 h d'utilisation cumulée, puissance estimée à 120 W	0,6	kWh	0,055	0,033	Facteur électricité suisse, approche location-based, mix moyen (environ 0,055 kgCO ₂ e/kWh)	Puissance de l'appareil estimée, non relevée sur la plaque signalétique
Lampe UV (CTS), environ 2 h d'utilisation cumulée, puissance estimée à 40 W	0,08	kWh	0,055	0,004	Facteur électricité suisse (environ 0,055 kgCO ₂ e/kWh)	Puissance de l'appareil estimée
Bain à ultrasons chauffé à 30°C, environ 20 minutes, petit bain (≤ 500 mL), puissance estimée à 100 W	0,033	kWh	0,055	0,002	Facteur électricité suisse (environ 0,055 kgCO ₂ e/kWh)	Puissance estimée ; les solvants du bain sont comptabilisés dans le tableau des produits chimiques, seule l'énergie figure ici
FRX portable, environ 20 mesures (50 à 65 secondes par mesure), puissance estimée à 25 W	0,008	kWh	0,055	0,00	Facteur électricité suisse (environ 0,055 kgCO ₂ e/kWh)	Poste négligeable ; durée cumulée estimée à environ 20 minutes
FTIR-ATR, 6 mesures, puissance estimée à 200 W, environ 5 minutes par mesure (préparation et acquisition)	0,1	kWh	0,055	0,006	Facteur électricité suisse (environ 0,055 kgCO ₂ e/kWh)	Puissance et durée par mesure estimées
Hotte à solvants (MIH), environ 20 h d'utilisation cumulée, puissance estimée à 500 W (moteur d'extraction)	10	kWh	0,055	0,55	Facteur électricité suisse (environ 0,055 kgCO ₂ e/kWh)	Puissance du moteur d'extraction estimée, variable selon le modèle
Ordinateur portable, rédaction du mémoire du 9 février au 7 juillet 2026, environ 5 h	23,85	kWh	0,055	1,312	Facteur électricité suisse (environ 0,055 kgCO ₂ e/kWh) ; environ 106	

Poste	Quantité	Unité	Facteur (kgCO2e/unité)	Émissions (kgCO2e)	Source du facteur	Statut / hypothèse
par jour ouvré, puissance estimée à 45 W					jours ouvrés estimés sur la période (149 jours calendaires × 5/7)	
Mesure d'émission acoustique (surveillance sur un week-end)	0	kWh	0,055	0,00	Facteur électricité suisse (environ 0,055 kgCO2e/kWh)	Type d'appareil, puissance non calculés ; quantité laissée à zéro.
Stockage numérique du dossier du mémoire (photographies, documentation, fichiers), environ 5 Go, sur la durée du projet (une copie cloud et une sur disque dur)	5	Go	0,0123	0,062	Étude CNRS (plateforme Bettik) : environ 12,3 gCO2e/Go/an pour un stockage sur centre de données français (PUE et taux d'occupation moyens)	
TOTAL Énergie et équipements				1,968		

Tableau 71 Empreinte carbone : énergie et équipements

Note méthodologique. Les puissances des appareils (spatule chauffante, lampe UV, bain à ultrasons, hotte à solvants, FTIR-ATR, ordinateur portable) sont estimées par défaut, faute de relevé sur plaque signalétique ou de mesure au wattmètre. Le facteur électrique suisse est pris en approche moyenne (« location-based », environ 0,055 kgCO2e/kWh).

Transport et déplacements

Poste	Quantité	Unité	Facteur (kgCO2e/unité)	Émissions (kgCO2e)	Source du facteur	Statut / hypothèse
Voiture, un aller-retour La Chaux-de-Fonds ↔ Haute Ecole Arc Neuchâtel, environ 40 km au total, véhicule à essence	40	km	0,218	8,72	Base Empreinte ADEME : voiture thermique moyenne, environ 218 gCO2e/km (véhicule, hors covoiturage)	Distance aller-retour estimée à 40 km (20 km par trajet)
Train, aller-retour Suisse (Neuchâtel/La Chaux-de-Fonds) ↔ Paris pour la	920	km	0,004	3,68	SNCF Voyageurs, ligne Lyria : environ 4 gCO2e/km par voyageur	Distance aller-retour estimée à 920 km (460 km par trajet)

Poste	Quantité	Unité	Facteur (kgCO ₂ e/unité)	Émissions (kgCO ₂ e)	Source du facteur	Statut / hypothèse
comparaison des collections du MuAM, environ 920 km au total					(usage, fabrication et maintenance, liaison France-Suisse)	
TOTAL Transport et déplacements				12,40		

Tableau 72 Empreinte carbone : transports et déplacements

Note méthodologique. Le trajet en train bénéficie du mix électrique très décarboné des réseaux ferrés suisse et français, d'où un facteur par kilomètre nettement inférieur à celui de la voiture.

Synthèse générale

Le tableau suivant récapitule les émissions estimées par catégorie de poste. Le poste « Transport et déplacements » constitue la part la plus importante du total estimé, suivi des produits chimiques et matériaux, puis des commandes fournisseurs. Le poste « Énergie et équipements », qui bénéficie du mix électrique suisse fortement décarboné, reste marginal.

Catégorie	Émissions (kgCO ₂ e)	Part du total	Renvoi
Produits chimiques et matériaux	6,001	24,1 %	<i>Cf. tableau correspondant, ci-dessus</i>
Commandes fournisseurs (transport amont)	4,575	18,3 %	<i>Cf. tableau correspondant, ci-dessus</i>
Énergie et équipements	1,968	7,9 %	<i>Cf. tableau correspondant, ci-dessus</i>
Transport et déplacements	12,40	49,7 %	<i>Cf. tableau correspondant, ci-dessus</i>
TOTAL GÉNÉRAL ESTIMÉ	24,945	100 %	

Tableau 73 Empreinte carbone : total général estimé

Émissions totales estimées : environ 24,945 kgCO₂e, soit environ 0,025 tCO₂e.

Limites de l'estimation

Cette estimation présente plusieurs limites méthodologiques qu'il convient de souligner. D'une part, les facteurs d'émission utilisés pour les produits de conservation-restauration sont, dans leur grande majorité, des valeurs génériques par famille chimique et non des facteurs spécifiques certifiés, faute de données environnementales publiées par les fabricants concernés. D'autre part, plusieurs quantités déterminantes (distances de transport, poids des colis, puissances des appareils, durées d'utilisation) reposent sur des estimations plutôt que sur des mesures ou des données documentées, et sont signalées comme telles dans les tableaux précédents.

Bibliographie

ADEME. Calculez les émissions de carbone de vos trajets. In : *Agir pour la transition* [en ligne]. [Consulté le 08.07.2026]. Disponible à l'adresse : <https://agirpourlatransition.ademe.fr/particuliers/evaluer-son-impact/calculer-empreinte-carbone/calculer-emissions-carbone-trajets>

ADEME. *Base Empreinte®* [en ligne]. [Consulté le 08.07.2026]. Disponible à l'adresse : <https://base-empreinte.ademe.fr/>

ALTERNA. Comment réussir et utiliser son bilan carbone ? [en ligne]. [Consulté le 06.07.2026]. Disponible à l'adresse : <https://www.alterna.eco/post/comment-r%C3%A9ussir-et-utiliser-son-bilan-carbone>

CHARRET, Guillaume, ARNAUD, Alexis, BERTHOUD, Françoise, BZEZNIK, Bruno, DEFIZE, Anthony, et al. *Estimation de l'empreinte carbone du stockage de données* [en ligne]. Rapport de recherche. CNRS - GRICAD, 2020. [Consulté le 07.07.2026]. Disponible à l'adresse : <https://cnrs.hal.science/hal-03573790>

GREENLY. Empreinte carbone transport : quel trajet est le moins impactant ? [en ligne]. 2026. [Consulté le 07.07.2026]. Disponible à l'adresse : <https://greenly.earth/blog/secteurs/empreinte-carbone-comparatif-transports>

SNCF VOYAGEURS. Le calcul de l'empreinte carbone des transports [en ligne]. 2024. [Consulté le 07.07.2026]. Disponible à l'adresse : <https://www.sncf-voyageurs.com/fr/decouvrez-notre-entreprise/rse-et-transitions/le-calcul-de-l'empreinte-carbone-des-transports/>

Annexe L : Identifications des bois par microscope USB

Neuf prises de vue ont été réalisées au microscope numérique Dino-Lite sur trois composants distincts de l'objet : les éléments de maintien du décor tridimensionnel, les poulies du mécanisme des automates au revers du décor tridimensionnel et les parois intérieures de la caisse en bois. L'identification des essences repose sur l'observation des critères anatomiques macroscopiques et semi-microscopiques visibles en coupe longitudinale tangentielle ou radiale : nature des fibres, structure des pores, présence et visibilité des rayons ligneux, et teinte du bois. En l'absence de coupe transversale, les identifications proposées constituent des hypothèses étayées par les observations disponibles, et non des déterminations certifiées.

Une identification certaine des essences de bois nécessite l'observation de coupes anatomiques dans les trois plans (transversal, radial, tangentiel). Les conclusions ci-dessous sont formulées en termes d'hypothèses probables, accompagnées des éléments d'observations qui les étayent.

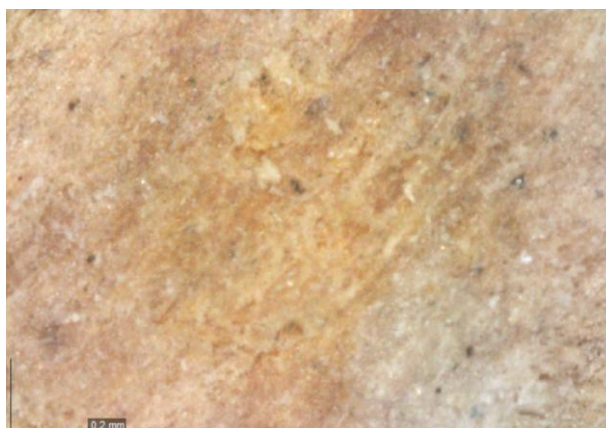
Éléments du décor tridimensionnel

Les images correspondent toutes trois à la même pièce ou au même ensemble de pièces de bois constituant le décor tridimensionnel de l'objet. Elles représentent trois zones ou trois angles de prise de vue différents sur ce même matériau.

Images



A001 coupe longitudinale, fibres diagonales bien visibles



A002 texture homogène



A003 zone avec bois de réaction ou intersection de fibres, teinte orangée plus intense au centre

Observations anatomiques

Type de bois	Résineux (gymnospermae) absence totale de pores vasculaires
Cellules conductrices	Trachéides longitudinales parallèles bien visibles en coupe tangentielle
Bois de printemps / été	Contraste modère entre zones claires (bois de printemps) et zones plus denses (bois d'été), net sur, sur la première estompée sur la seconde
Rayons ligneux	Fins, peu visibles, unisériés, caractéristique des Pinaceae
Teinte	Brun-rose à brun-orange, avec reflets dorés compatible avec pin sylvestre (<i>Pinus sylvestres</i>) ou épicéa (<i>Picea abies</i>)
Canaux résinifères	Non identifiées avec certitude à ce grossissement, mais présence possible (troisième photo : zones orangées intenses pouvant correspondre à des poches de résine)
Grain	Grain moyen à assez grossier

Hypothèse d'identification

Hypothèse principale : Pinus sylvestris L. (pin sylvestre) ou Picea abies (L.) H. Karst. (épicéa commun). Ces deux résineux sont anatomiquement proches en coupe longitudinale et ne peuvent être distingués avec certitude sans coupe transversale. Tous deux étaient largement disponibles et couramment utilisés au XIXe siècle pour les éléments de décor, les pièces de remplissage et les structures secondaires. Le pin sylvestre est légèrement plus probable en raison de la teinte rose-saumonnée observée, caractéristique de son aubier, et de la densité modérée des cernes.

L'emploi d'un résineux commun pour les éléments de décor est cohérent avec la pratique habituelle des fabricants de tableaux-horloges du XIXe siècle, qui réservaient les bois plus nobles (feuillu, noyer) aux parties visibles ou structurantes de la caisse.

Poules du mécanisme des automates

Les images A004 à A006 correspondent aux poules en bois du mécanisme des automates. La poule est une pièce mécanique soumise à des contraintes de friction et de résistance : l'essence choisie devait donc présenter une bonne dureté, un grain fin permettant un bon usinage, et une faible tendance à l'éclatement.

Images



A004 coupe longitudinale, grain fin, fibres serrées, teinte brune chaude



A005 Revers de la poulie A004; points verts (oxyde de cuivre ?) à la jonction



A006 vue de bord de la poulie ; à droite, surface avec dépôt de graphite

Observations anatomiques

Type de bois	Feuillu (angiosperme) -- absence de trachéides longitudinales parallèles, structure anatomique différente des résineux du groupe I
Pores vasculaires	Non individualisables à ce grossissement, ce qui suggère une zone poreuse diffuse ou semi-diffuse -- fibre très fine et homogène
Rayons ligneux	Peu visibles ou très fins -- caractéristique d'une essence à rayons fins (tilleul, bouleau, ou poirier)
Teinte	Brun-chaud a brun-roux, plus fonce que le groupe I, homogène -- compatible avec du buis, du poirier ou du charme
Grain	Grain fin a très fin, texture serrée -- confirme un feuillu dur a pores diffus
A005	Interface nette de fabrication ; traces d'oxydation verte (probable contact avec un élément en alliage cuivreux du mécanisme)
A006 surface	Dépôts gris de graphite ; arrête arrondie caractéristique d'une pièce tournée

Hypothèse d'identification

Hypothèse principale : Buxus sempervirens L. (buis) ou Pyrus communis L. (poirier). Ces deux essences sont les plus couramment utilisées pour les petites pièces mécaniques en bois au XIXe siècle (engrenages, poulies, galets) en raison de leur grain très fin, de leur grande dureté et de leur stabilité dimensionnelle. Le buis est légèrement plus probable : sa teinte jaune-brun chaud caractéristique est cohérente avec A004, et il était l'essence de référence pour les pièces d'horlogerie mécanique en bois. Le poirier, plus brun-roux, reste plausible. Le charme (Caprins betulus L.) constitue une troisième hypothèse, moins probable mais possible pour des pièces de friction.

Certitude élevée sur la catégorie : feuillu dur à grain très fin, utilise pour ses propriétés mécaniques. Incertitude sur l'espèce exacte, non déterminable sans coupe transversale.

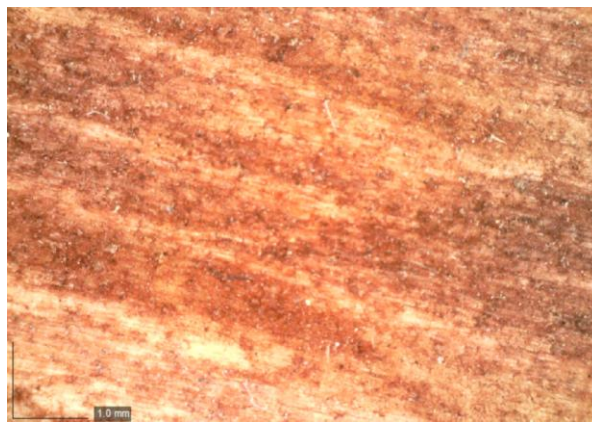
Caisse en bois

Les images A019 à A021 correspondent aux parois de la caisse principale de l'objet. Deux des trois images montrent la présence partielle d'une teinture pouvant être du brou de noix (A019, A020), teinture traditionnellement appliquée pour foncer et unifier l'aspect du bois des caisses d'horlogerie. A021 présente une zone du bois nu.

Images



A019 zone de transition : brou de noix à gauche (brun-acajou intense), bois quasi-nu à droite (beige clair)



A020 zone coloré avec une teinture type brou de noix ; fibres parallèles visibles sous la teinture



A021 zone bois nu ; texture cotonneuse très fine, fibre homogène, teinte crème-beige

Observations

Type de bois	Feuillu (angiosperme) - pas de trachéides visibles, homogène, pores visibles
Pores vasculaires	Non visibles individuellement - zone poreuse diffuse, fibres très fines et régulières
Rayons ligneux	Fins, à peine perceptible en A021 - caractéristique d'une essence à rayons unisériés ou peu larges
Teinte naturelle (A021)	Crème à beige très clair- caractéristique du tilleul (<i>Tilia spi.</i>) ou du peuplier (<i>Populus spi.</i>)
Texture	Cotonneuse, douce, fibres courtes - confirme un bois léger à grain fin
Effet du brou de noix (A019, A020)	Pénétration uniforme et profonde de la teinture dans les fibres, sans auréoles ni rejet - compatible avec un bois à faible porosité, prenant bien les teintures aqueuses
Interface brou / nu (A019)	Limite nette, montrant une application localisée ou un masquage partiel lors du traitement

Hypothèse d'identification

Hypothèse principale : Tilia sp. (tilleul, probablement Tilia platyphyllos Scop. ou Tilia cordata Mill.). Le tilleul est une des essences les plus utilisées pour les caisses de pendules du XIXe siècle : léger, homogène, facile à travailler et à coller, il prend parfaitement les teintures et encollages. Sa teinte naturelle crème-blanche (bien visible en A021), sa texture cotonneuse caractéristique et sa faible distinction anatomique entre bois de printemps et bois d'été sont tous cohérents avec les observations. Le peuplier (Populus sp.) constitue une hypothèse secondaire, anatomiquement proche, mais moins fréquent pour cet usage. La certitude est relativement élevée pour la catégorie (feuillu tendre à grain fin), et probable pour l'espèce (tilleul).

A noter : la brou de noix (*Juglans regia* L.) applique sur la caisse est bien identifiable sur A019 et A020 par sa teinte caractéristique brun-acajou, sa transparence permettant de voir le fil du bois en dessous, et sa pénétration profonde dans les fibres. Il s'agit d'une teinture à base de péricarpe de noix, hydrosoluble, traditionnellement utilisée pour foncer le bois des caisses d'horlogerie et simuler l'aspect du noyer.

Synthèse et interprétation

L'observation comparative des trois groupes révèle une logique de choix des essences cohérente avec les pratiques de fabrication des tableaux-horloges parisiens du XIXe siècle.

Composant	Hypothèse d'essence	Niveau de certitude	Critères déterminants
Décor tridimensionnel	<i>Pinus sylvestris</i> ou <i>Picea abies</i> (résineux)	Modérée (genre certain, espèce hypothétique)	Trachéides longitudinales, absence de pores, teinte rose-beige, résineux
Poulies des automates	<i>Buxus sempervirens</i> ou <i>Pyrus communis</i> (feuillu dur)	Trop d'incertitude (catégorie), hypothétique (espèce)	Grain très fin, feuillu dur, teinte brun-chaud, usage mécanique
Caisson	<i>Tilia sp.</i> (tilleul, probable)	Bonne (catégorie et espèce)	Texture cotonneuse, tendre et homogène, teinte crème, grain

Composant	Hypothèse d'essence	Niveau de certitude	Critères déterminants
			très fin, brou pénétrante uniformément, feuillu

Ces choix peuvent refléter une logique fonctionnelle et économique caractéristique de la production horlogère décorative du XIXe siècle : un bois commun et économique pour les éléments non visibles ou structurellement peu sollicités (décor en résineux), un bois plus dur et usinable pour les pièces mécaniques (buis ou poirier), et un bois léger, stable et apte à la finition pour la caisse de présentation (tilleul).

Une confirmation par xlogie en laboratoire (coupes dans les trois plans + comparaison avec collection de référence) pourrait être envisagée si l'identification précise des essences est requise pour la documentation scientifique de l'objet. Des coupes transversales permettraient notamment de distinguer Pinus de Picea et de confirmer l'hypothèse du buis pour les poulies.