

Table des matières

Remerciements	1
Table des matières	2
Résumé	4
Abstract	5
Introduction générale	6
Problématique de conservation	6
Objectifs	6
Organisation	7
Chapitre 1 : Les vernis anciens sur alliage cuivreux	8
1.1. Fonctions des vernis	8
1.2. Contexte historique	8
1.3. Composition des vernis	8
1.4. Processus de vernissage	9
Chapitre 2 : L'imagerie par la transformation de la réflectance (ITR)	10
2.1. Principes de fonctionnement	10
2.2. Méthodes	11
2.3. Utilisation en conservation-restauration	12
Chapitre 3 : Définitions des objets de l'étude	13
3.1. Définition des vernis de référence pour l'étude	13
3.2. Définition des éprouvettes	13
3.3. Application du vernis	15
3.4. Constats d'état des éprouvettes	16
3.5. Mesures de courant Foucault	16
3.6. Conditionnement des éprouvettes	16
3.7. Conditions de conservation des éprouvettes durant l'étude	17
3.8. Choix des objets historiques	17
Chapitre 4 : Mise en place de la méthodologie ITR	22
4.1. Construction d'un dispositif	22
4.2. Matériels et prises de vue	23
4.3. Surface réfléchissante	24
4.4. Gestion de l'imprécision de l'image	26
4.5. Spécificités méthodologiques	26
4.6. Traitements informatiques des images	27
	2

4.7. Interactivité	28
Chapitre 5 : Etude comparative	29
5.1. Techniques d'imagerie sélectionnées	29
5.2. Exploitabilité des fichiers ITR	30
5.3. Lecture des résultats de l'étude	31
5.4. Résultats sur les éprouvettes	32
5.4.1. Critère 1 : mise en évidence des modes d'application du vernis	32
5.4.2. Critère 2 : mise en évidence des paramètres du vernis	34
5.4.3. Critère 3 : mise en évidence des traces de surface	36
5.5. Résultats sur les objets historiques	39
5.5.1. Horloge électrique à mouvement secondaire (no d'inventaire IV-1035)	39
5.5.2. Frise (no d'inventaire IV-957)	43
5.5.3. Pendulette de voyage	46
Chapitre 6 : Discussion des résultats	48
Chapitre 7 : Bilan critique	49
7.1. Atouts et limites de l'imagerie par la transformation de la réflectance (ITR)	49
7.2. Limites de l'étude	50
7.3. Gestion du projet	51
Conclusion générale	52
Références bibliographiques	53
Glossaire	58

Crédits photographiques

Sauf indications contraires, les crédits photographiques sont : © HE-Arc CR, Rebecca Rochat.

Liste des abréviations

ITR : Imagerie par transformation de la réflectance

XRF : X-ray fluorescence spectrometry

UV : rayonnement ultraviolet

IRTF : spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier

Résumé

Les vernis anciens sur alliage cuivreux font parties intégrantes des collections patrimoniales. Ils sont appliqués à la fois pour protéger le métal contre la corrosion mais aussi pour rehausser la couleur jaune de l'alliage afin d'imiter l'or. On retrouve cette technologie dans le domaine des bronzes d'ameublement, de l'horlogerie et des objets scientifiques. Dans le but de préserver cette finition de surface, le conservateur-restaurateur est confronté à des difficultés pour l'identifier et la caractériser. La technique actuellement en vigueur, la photographie sous fluorescence UV, présente quelques limites, tout vernis ne présentant pas d'autofluorescence.

Pour trouver une alternative, nous avons évalué la pertinence de l'imagerie par la transformation de la réflectance (ITR), technique qui enregistre et accentue la texture de surface. Elle a été comparée avec la photographie sous fluorescence UV et la photographie standard en lumière blanche. Notre comparaison s'effectue sur des éprouvettes en laiton satinées et polie-miroirs préalablement vernies artisanalement selon trois recettes d'origines mais aussi sur trois objets patrimoniaux issus des domaines des arts décoratifs et de l'horlogerie.

Pour faciliter la récolte de données et obtenir des résultats exploitables, nous avons construit, pour la technique ITR, un dispositif à bras gradué. Nous avons vite été confrontés à des difficultés de prises de vue, causées principalement par la surface brillante métallique.

De cette étude comparative, nous pouvons ressortir que l'imagerie par la transformation de la réflectance n'est pas adaptée pour identifier la présence d'un vernis sur un alliage cuivreux. La méthode accentue les détails de surface du métal (traces caractéristiques de fabrication et traces d'usure). La technique est particulièrement efficace pour caractériser les traces de surface sur les finitions polie-miroirs. Nous estimons que ce résultat plutôt défavorable est causé par trois paramètres principaux : la transparence du vernis, les faibles épaisseurs du vernis et un relief de surface du vernis très peu marqué. La photographie sous fluorescence UV reste la technique la plus adéquate, à la fois pour identifier la présence d'un vernis et ses altérations, à condition d'une autofluorescence de ce dernier. Un résultat est à relever : la finition de surface métallique influence la teinte de l'autofluorescence du vernis.

Abstract

Ancient varnishes on copper alloys are part of the patrimonial collections. They are applied to protect the metal against corrosion but also to enhance the yellow colour in order to imitate gold. We find this technology in the areas of decorative bronze objects, horology and scientific-technical objects. In order to preserve this surface treatment, the conservator-restorer faces difficulties in identifying and characterizing it. The technique currently in use to identify the varnishes, UVA-induced visible fluorescence photography, has some limitations, as some varnishes do not fluoresce.

To find an alternative, the relevance of Reflectance Transformation Imaging (RTI) was evaluated, a technique that records and accentuates the surface texture. It was compared with UVA-induced visible fluorescence photography and standard photography. The comparison is made on satin finish and mirror finish brass samples previously varnished artisanally according to three original recipes but also on three patrimonial objects from the areas of decorative arts and horology.

To facilitate data collection and to obtain reproducible results, a RTI rig was constructed. Image capture difficulties arose, caused mainly by the shiny metallic surface.

This comparative study thus shows that Reflectance Transformation Imaging is not adapted to identify the presence of a varnish on a brass alloy. The method emphasizes the surface details of the metal (traces of manufacture and abrasion). The technique is particularly effective in characterizing surface traces on polished-mirror surfaces. We believe that this rather unfavourable result is caused by three main parameters: the transparency of the varnish, the thin layers of the varnish and a very little marked surface relief of the varnish. UVA-induced visible fluorescence photography is still the most appropriate technique, both for identifying the presence of a varnish and its alterations, provided that it is autofluorescent. Some interesting results regarding UV fluorescence photography, the surface finish of the metal directly influenced the colour shade of the autofluorescence.

Introduction générale

Problématique de conservation

En vue d'un projet d'intervention, le conservateur-restaurateur est confronté à devoir identifier des surfaces en alliages cuivreux vernies, avec cependant des difficultés pour l'interprétation (fragilité des vernis, mauvais état de conservation) et la préservation de la surface vernie.

L'examen sous rayonnement ultraviolet est actuellement la méthode d'imagerie principalement utilisée pour l'identification des vernis sur alliages cuivreux, avec cependant des limites à relever : on a de la peine à identifier un vernis très fin ou qui ne présente pas d'autofluorescence*¹ particulière. Enfin, il manque un référentiel pour interpréter les données². L'ensemble de ces contraintes font que la méthode n'est pas toujours adaptée pour permettre au conservateur-restaurateur de différencier une surface vernie, dorée ou sans revêtement. Ces lacunes peuvent aboutir à une interprétation erronée avec pour conséquence des traitements inadaptés, des informations partielles voire la perte irréversible du vernis. L'Unité de Recherche appliquée et développement (Ra&D) de la HE-Arc conservation-restauration Neuchâtel a lancé deux projets : le projet VAAC (Vernis Anciens sur Alliages de Cuivre) qui vise, à la fois, à fabriquer des éprouvettes de référence polie-miroirs vernies en laiton et à valider un protocole de mesure d'épaisseur. Il est suivi par le projet LacCa (Lacquer Copper Alloys), consacré à développer et optimiser les méthodes pour l'identification des vernis.

Objectifs

L'objectif principal du travail de Bachelor consiste à étudier la pertinence et l'intérêt de l'imagerie par la transformation de la réflectance (ITR) pour l'examen et l'identification des vernis sur laiton.

Nous allons focaliser l'utilisation de la technique sur les aspects suivants :

- mise en évidence de la présence d'un vernis notamment par l'identification de traces technologiques,
- mise en évidence de paramètres propres au vernis (épaisseur, homogénéité, topographie de surface),
- mise en évidence d'altérations particulières (liées à la présence d'un vernis en surface),
- effectuer une étude de cas en comparant les caractéristiques sur les éprouvettes et des objets du Musée International de l'Horlogerie (MIH) et
- résoudre le problème lié au pouvoir réfléchissant de la surface métallique des éprouvettes (surface « polie-miroir ») durant les prises de vue.

¹ Les termes suivis d'un astérisque sont définis dans le glossaire, p. 58

² Schröter, 2016, p. 7 ; Jeanneret, 2010, p. 27-28

Comme élément de comparaison, l'étude sera complétée par des prises de vue avec différents rayonnements : ultraviolets et lumière blanche, effectuées en vue macroscopique. Ces différents paramètres serviront comme outil de référence et de comparaison à la technique ITR.

Il s'agit d'une étude de faisabilité, séparée en deux phases principales : dans un premier temps, la mise en place d'une méthodologie d'utilisation des techniques d'imagerie présélectionnées ; dans un deuxième temps, la comparaison des techniques en fonction du type et de la qualité de l'information obtenue.

Organisation

Ce travail de mémoire est composé de la manière suivante : nous introduirons d'abord les vernis anciens sur alliages cuivreux et leur place dans les biens patrimoniaux. Ensuite, nous nous intéresserons à la technique de l'imagerie par la transformation de la réflectance (ITR), en se concentrant sur son principe de fonctionnement et de l'adaptation faite de la méthodologie dans le cadre de ce travail. Nous présenterons entre temps le corpus des objets de l'étude, s'en suivra l'étude comparative des images obtenues avec la technique ITR et deux méthodes d'imageries (photographies sous fluorescence UV et photographie standard en lumière blanche). Enfin, nous évaluerons la pertinence de la technique ITR dans l'étude des vernis anciens sur alliages cuivreux.

Chapitre 1 : Les vernis anciens sur alliage cuivreux

1.1. Fonctions des vernis

Les vernis* historiques appliqués aux surfaces métalliques ont une double fonction : c'est à la fois un revêtement protecteur qui fait barrière entre le métal poli et les agents atmosphériques permettant d'éviter l'oxydation mais il est aussi utilisé pour conférer au métal un aspect esthétique³. Plusieurs types d'objets sont concernés : les objets décoratifs (bronzes d'ameublement), liturgiques, horlogers ainsi que les objets scientifiques. Pour les instruments scientifiques, le vernis garantit une précision de lecture. Pour les objets décoratifs, la fonction du vernis est à la fois protectrice mais surtout esthétique, dans le but d'imiter l'or⁴.

1.2. Contexte historique

La « pseudo-dorure au vernis » sur alliages de cuivre est attestée dès le XVIIe siècle⁵. A la fin du XVIIIe siècle, les manufactures recherchaient des alternatives à la dorure au mercure*, procédé de dorure long, cher et dangereux. Les vernis étaient appliqués sur un métal de moindre valeur, comme le laiton, pour imiter l'or⁶. Comme les finitions dorées sont des marqueurs sociaux et économiques, l'engouement pour les objets en alliage cuivreux dorés permet une démocratisation des objets décoratifs, avec la possibilité d'acquérir ces derniers à moindre coût⁷.

1.3. Composition des vernis

La composition de ces vernis est à base de liants*, d'un solvant avec l'ajout éventuel de colorants* ou plus rarement de pigments. Les recettes des vernis sur alliage cuivreux du XIXe siècle, et qui sont étudiées dans le cadre du projet VAAC, sont très variées. Il ressort dans la littérature une tendance quant aux liants et aux colorants utilisés. Nous sommes renseignés sur la composition des vernis grâce notamment aux manuels de vernisseurs, de doreurs et aux bulletins industriels. Sur 60 recettes recensées dans 23 publications entre 1800 et 1893, le liant le plus fréquemment cité est la gomme laque*, suivi de l'ambre, de la sandaraque*, du copal et de l'élémi*. Pour obtenir une solution liquide, le liant est dissout dans un solvant (« esprit de vin », c'est-à-dire l'alcool éthylique contenant un pourcentage d'eau variable selon l'époque et l'avancée des techniques de distillation). Des résines colorantes sont parfois ajoutées pour obtenir une teinte dorée. Dans cette catégorie, ce sont le sang-dragon, suivi de la gomme-gutte et du safran qui prédominent⁸.

³ Long, 2000, p. 319

⁴ Schröter, 2017, p. 3

⁵ Arminjon et Bilimoff, 2000, p. 294

⁶ Long, 2000, p. 320 ; Thomson, 1991, [p. 2]

⁷ Schröter, 2016, p. 4-5

⁸ Schröter, 2017, p. 9-10 ; Long, 2000, p. 321

1.4. Processus de vernissage

Avant d'appliquer le vernis sur le métal, la surface était décapée dans un bain d'acide et rincée par plusieurs bains d'eau. La surface était ensuite polie mécaniquement ou au brunissoir* (pour obtenir une surface brillante sans retirer de la matière) et finalement dégraissée. L'étape de l'application du vernis suivait (méthodes chaudes ou froides). La surface de la plaque de fer assure la diffusion de la chaleur sur l'entièreté de l'objet. La chaleur provoque la réticulation* presque immédiate du vernis. Comme exemple de procédé à chaud, la surface était prête à l'application lorsqu'un sifflement audible se faisait entendre quand le pinceau chargé de vernis venait toucher la surface du métal chaud⁹. Pour le vernissage à chaud, les objets étaient chauffés sur un poêle. Pour le vernis à froid, l'objet était brossé et vernis à température ambiante et ensuite placé dans un four. Si lors de l'application la surface est trop chaude, le vernis frise. A l'inverse, si la surface est trop froide, le vernis est terne¹⁰. Le résultat final dépend également de la couleur de l'alliage sélectionné¹¹.



Figure 1 : vernisseur avec le pinceau et le blaireau. © gallica.bnf.fr



Figure 2 : récipient du vernis. © gallica.bnf.fr

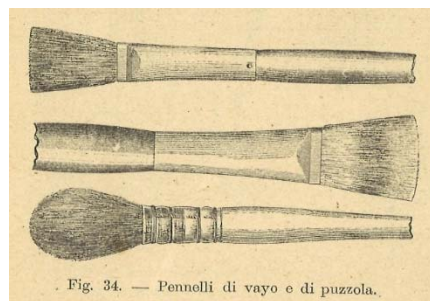


Figure 3 : types de pinceaux traditionnels pour le vernissage. © Massenz

Au XIX^{ème} siècle, le vernis était appliqué au pinceau, notamment en poils de putois ou de petit-gris (fig. 3). L'ouvrage de Roseleur est un des ouvrages qui nous renseignent plus précisément sur les gestes du vernisseur : pour les surfaces ornementées, l'excès de vernis était retiré avec un blaireau (ou un pinceau en soie de porc). Les deux pinceaux se tenaient avec la même main (fig. 1), le blaireau tenu dans la paume fermée afin de limiter l'intervalle d'utilisation des deux outils. Les objets ronds se vernissaient au tour¹². Le récipient du vernis (fig. 2) était en verre ou en faïence, où un fil de laiton est tendu sur la partie supérieure. Ce dernier permettait de débarrasser le pinceau de l'excès de vernis. On le refermait avec un couvercle pour éviter l'évaporation du solvant¹³.

⁹ Long, 2000, p. 321 ; Brown, 1900, p. 21, 23

¹⁰ Timmins, 1866, p. 301-302

¹¹ Thomson, 1991, p. [2]

¹² Roseleur, 1873, p. 54-56

¹³ Massenz, 1927, p. 105 ; Roseleur, 1873, p. 55

Chapitre 2 : L'imagerie par la transformation de la réflectance (ITR)

2.1. Principes de fonctionnement

L'imagerie par la transformation de la réflectance (ITR) ou Reflectance Transformation Imaging (RTI) est une technique d'imagerie basée sur le principe Polynomial Texture Maps (PTM), développé par Tom Malzbender et Dan Gelb dans les laboratoires Hewlett Packard (HP) en 2001. Cette méthode, non-invasive, est capable d'accentuer les déformations et la texture de la surface¹⁴.

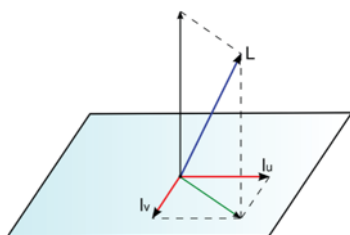


Figure 4 : projection du vecteur de la lumière sur l'image plane. © Palma et al. La normale est perpendiculaire à la surface plane.

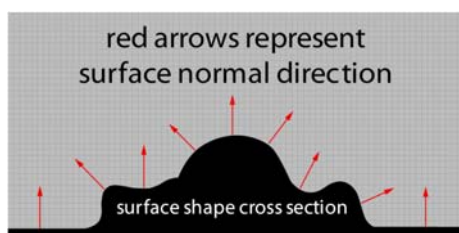


Figure 5 : la normale de la surface. © Cultural Heritage Imaging

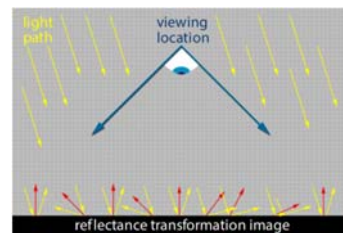


Figure 6 : informations de la réflectance enregistrées par la technique ITR. © Cultural Heritage Imaging

La technique consiste à produire une séquence d'images où l'objet et l'appareil photographique se trouvent à une position fixe, où seul l'éclairage change. Chaque image est éclairée par une source lumineuse ponctuelle à une position connue¹⁵. Un logiciel transforme et synthétise l'ensemble des images réalisées en un seul fichier interactif de haute définition. Sur le plan mathématique, un algorithme calcule la normale à la surface* (fig. 4) pour chaque pixel en utilisant les informations provenant des angles d'éclairage (fig. 5-6). Plus précisément, les différents angles d'éclairage fournissent un échantillon de données et par des outils de statistiques, l'algorithme calcule les coefficients d'un polynôme de régression en résolvant un système linéaire. Les coefficients obtenus permettent ainsi d'obtenir la normale à la surface. Cette normale calculée en chaque point va fournir les informations sur les spécificités de la surface en 3D¹⁶. Il enregistre également les informations colorimétriques (RGB)¹⁷. Le résultat final est un fichier 2D que l'on peut se représenter comme une carte visuelle ou un « *hémisphère virtuel de lumière* »¹⁸. Il est visionné avec un logiciel, permettant un contrôle interactif de l'éclairage. On visualise la surface de l'objet comme si elle était éclairée par une source ponctuelle de lumière, peu importe sa position¹⁹.

¹⁴ Malzbender *et al.*, 2001 [En ligne]

¹⁵ Cultural Heritage Imaging, 2017 [En ligne] ; Smithsonian, 2015 [En ligne]

¹⁶ MacDonald and Robson, 2010, p. 423

¹⁷ Cultural Heritage Imaging, 2017 [En ligne] ; Malzbender *et al.*, 2001 [En ligne] ; Artal-Isbrand et Klausmeyer, 2013, p. 338 ; Duffy, 2013, p. 3

¹⁸ Malzbender *et al.*, 2001 [En ligne]

¹⁹ MacDonald and Robson, 2010, p. 424

2.2. Méthodes

Il existe actuellement deux méthodes officielles : la *Highlight-Reflectance Transformation Imaging* (H-RTI) et le *light array*, un dôme d'éclairage.

La H-RTI (fig. 7) nécessite du matériel généralement disponible dans les musées : un trépied, un appareil photographique fixe, deux sphères réfléchissantes, une ficelle et une source de lumière (fig. 10). Cette technique, qui requiert en moyenne 35 à 40 clichés, demande que l'on place à côté de l'objet deux sphères noires réfléchissantes et brillantes dans une position fixe. En déplaçant la source lumineuse, l'angle d'éclairage est localisé sur cette sphère (fig. 8). La réflexion sur les sphères permet au logiciel de détecter le point lumineux sur la sphère pour chaque photographie et de calculer l'angle exact d'éclairage de l'image²⁰. Afin d'obtenir un fichier ITR exploitable, la distance de la source lumineuse à l'objet doit être constante. On utilise une ficelle pour la mesurer. La distance recommandée est égale à trois ou quatre fois le diamètre de l'objet étudié²¹.



Figure 7 : méthode H-RTI. © Piquette

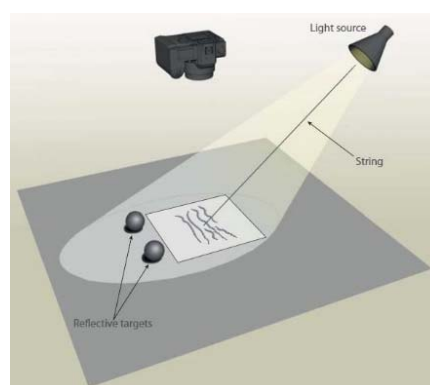


Figure 8 : diagramme de la technique H-RTI. © Historic England, John Vallender

La deuxième technique, *light array*, utilise un dôme préfabriqué (fig. 9) où l'éclairage est obtenu par des sources d'éclairages fixées à des positions connues (généralement des LED) (fig. 10). Le dôme est noir et mat afin de minimiser les éclairages parasites. Le logiciel utilise la position connue de la lumière pour établir un plan lumière, un fichier informatique qui cartographie l'angle de la lumière, pour associer chaque image à l'angle d'éclairage²². Les avantages de cette technique sont la position de l'éclairage préétablie, une rapidité de la prise de vue, un gain de temps et une systématique²³. Elle est cependant plus coûteuse et encombrante que la H-RTI et il y a une restriction pour la forme et la taille de l'objet²⁴. D'autres méthodologies sont apparues ces dernières années. On peut mentionner celle développée en 2016 par Samantha Thi Porter, étudiante à l'Université du Minnesota²⁵. Il s'agit d'une méthode intermédiaire entre la méthode « Highlight » et le dôme. Le principe consiste à faire tourner un bras en

²⁰ Gabov et Bevan, 2011, p. 4-5 ; Duffy, 2013, p. 5 ; Cultural Heritage Imaging, 2014, p. 8 [En ligne]

²¹ Cultural Heritage Imaging, 2014, p. 9 [En ligne]

²² Cultural Heritage Imaging, 2017 [En ligne] ; Duffy, 2013, p. 8 ; Piquette et Crowther, 2011 [En ligne]

²³ Piquette et Crowther, 2011 [En ligne]

²⁴ Duffy, 2013, p. 4

²⁵ Porter, 2016 [En ligne]

quart de cercle (fig. 11), gradué de 4 angles lumineux (15° , 30° , 45° , 60°), sur un plateau circulaire stationnaire gradué de 0° à 345° . Le plateau est posé sur une base imprimée en 3D et le bras est fixé à un plateau tournant.

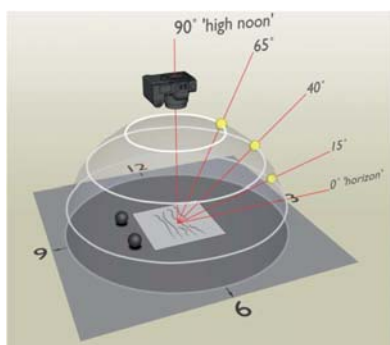


Figure 9 : méthode du dôme virtuel de lumière © Historic England, John Vallender



Figure 10 : méthode du dôme virtuel de lumière © Mona Hess

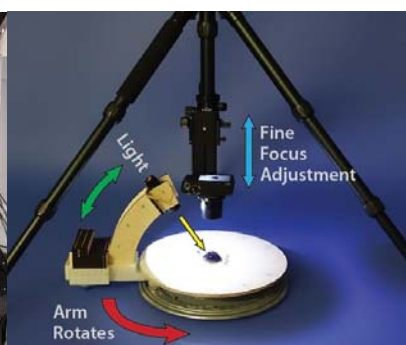


Figure 11 : dispositif à plateau tournant. © Porter

2.3. Utilisation en conservation-restauration

Comme la technique simule une surface améliorée pour permettre une étude de l'objet²⁶, son utilisation en conservation-restauration est un atout de documentation. Le contrôle interactif des conditions d'éclairage améliore la perception de la surface et la lisibilité des reliefs des inscriptions²⁷. Elle permet d'examiner en détail la surface de l'objet, d'identifier les techniques de façonnage (traces d'outils), d'étudier les reliefs et les surfaces altérées²⁸. Parmi les domaines d'étude intéressants, il y a l'épigraphie, la numismatique, la peinture et l'art rupestre²⁹.

²⁶ Earl et al., 2011, p. 150

²⁷ MacDonald and Robson, 2010, p. 423

²⁸ Artal-Isbrand et Klausmeyer, 2013, p. 358 ; Piquette et Crowther, 2011 [En ligne]

²⁹ Duffy, 2013, p. 3

Chapitre 3 : Définitions des objets de l'étude

3.1. Définition des vernis de référence pour l'étude

Avec le grand choix de recettes proposées par les manuels des doreurs et de vernisseurs, il convenait de choisir des vernis représentatifs de la problématique, à la fois utilisés sur des bronzes d'ameublement, des instruments scientifiques et dans l'horlogerie. Les trois vernis sélectionnés couvrent le XIXe siècle (tableau 10, p. 72)³⁰ :

- Le vernis A (fig. 67, p. 71) est une gomme laque blonde* (fin XIXe siècle, recette de 1893). Vernis monocomposant et incolore, il forme le film le plus invisible et est la référence de base pour toutes les manipulations (1 seul paramètre à gérer). Avec une utilisation plus technique qu'esthétique, ce vernis était notamment appliqué sur les instruments de précision³¹.
- Le vernis B est le vernis anglais (fig. 68, p. 71) (milieu XIXe siècle, recette de 1839, les recettes rencontrées dans les sources francophones du XIXe siècle varient néanmoins). Les vernis anglais sont déjà mentionnés au temps de Louis XVI sur les dorures³². C'est un vernis neutre complémentaire au A. Trois liants sont ici utilisés : le mastic, l'élémi et la sandaraque.
- Vernis C (fig. 69-70, p. 71-73) : Vernis mutatif (Tingry) (début XIXe siècle, recette de 1803). Plus ancienne recette de la sélection, c'est le vernis qui vise à imiter l'or. On retrouve comme colorant le sang-dragon, du safran et de la gomme-gutte. La dissolution est facilitée par l'ajout de verre pilé. Il est composé de moins de liants que le vernis B (élémi* et sandaraque*).

3.2. Définition des éprouvettes

Pour mener à bien cette étude, il convenait de sélectionner une série d'éprouvettes avec des surfaces comparables aux objets historiques en alliages cuivreux vernis.

Le choix s'est porté sur les paramètres suivants :

- La géométrie des éprouvettes : planes (6 x 6 x 0.3 cm) et cylindriques (fig. 14) (4.6 x 5 x 0.25 cm)³³. La forme cylindrique a été sélectionnée car c'est une forme courante des objets historiques.
- Les finitions de surface : satinée* (fig. 12) (que l'on retrouve dans certains cas sur les surfaces usinées des instruments scientifiques) et polie-miroir*³⁴ (fig. 13). La finition très polie peut être mise en relation ici avec les parties brunies de certains bronzes décoratifs³⁵.

³⁰ Les recettes complètes se trouvent en annexe 1, p. 71-72.

³¹ Londe, 1893, p. 58 ; Entretien avec Julie Schröter, responsable des projets VAAC et LacCa, le 20 juin 2017.

³² Arminjon et Bilimoff, 2000, p. 294

³³ Fournisseur Prometall pour les tubes cylindriques et Kaufmann pour les éprouvettes planes.

³⁴ Les éprouvettes sont fabriquées et polies par l'entreprise Cortinas à la Chaux-de-Fonds.

³⁵ Entretien avec Julie Schröter, responsable des projets VAAC et LacCa, le 20 juin 2017.

- L'alliage cuivreux : il s'est porté sur l'alliage CuZn37 (laiton), laminé et demi-dur. Une concentration de zinc plus élevée est caractéristique des alliages cuivreux au XIX^e siècle. L'alliage est sans plomb, pour éviter les problèmes techniques lors du polissage³⁶.

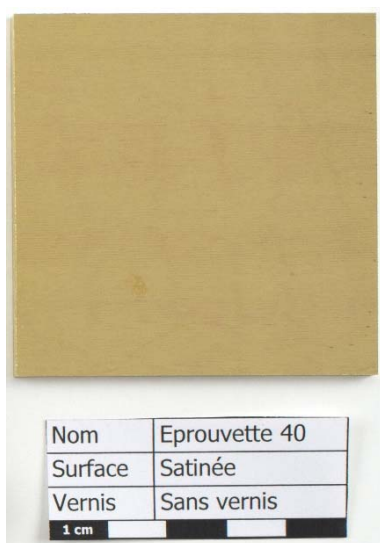


Figure 12 : épreuve (no 40) plane satinée

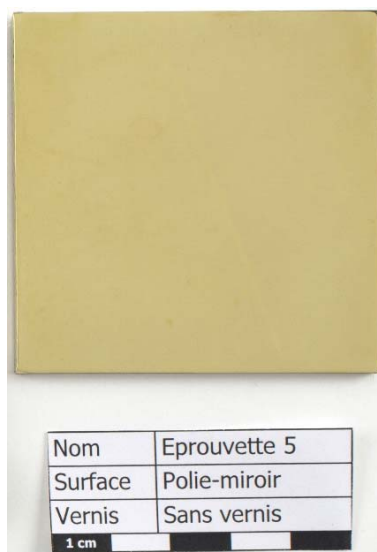


Figure 13 : épreuve (no 5) plane polie miroir



Figure 14 : épreuve (no 10) cylindrique polie-miroir

Avec l'ensemble de ces paramètres, nous avons sélectionnés 12 épreuves en laiton, dont la répartition est la suivante :

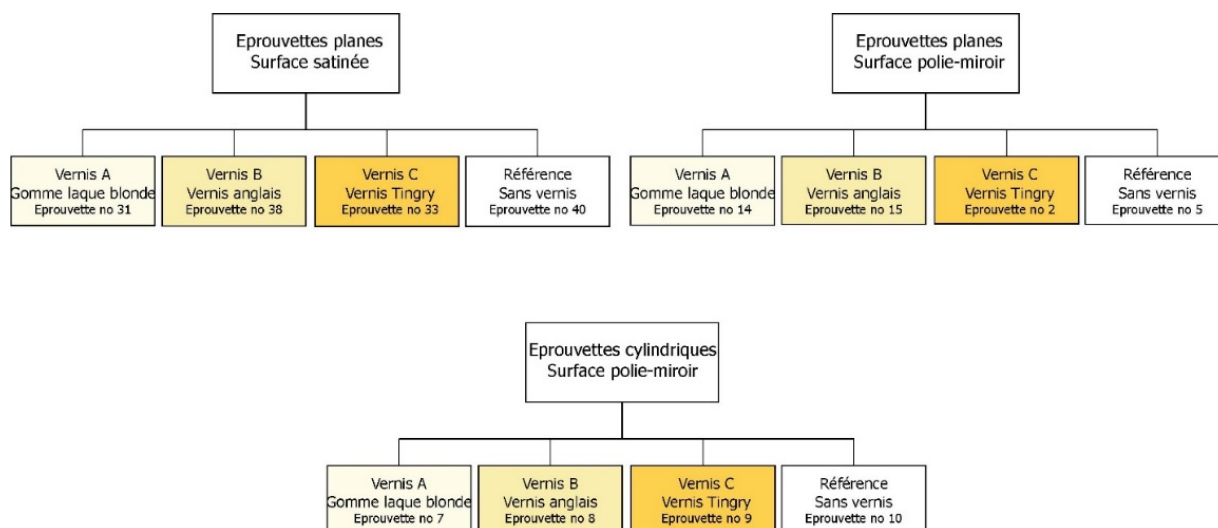


Figure 15 : répartition des épreuves.

³⁶ Schröter, 2017, p. 18

3.3. Application du vernis

Il s'agit exclusivement d'une application artisanale, au pinceau. On peut ainsi étudier à la fois la couleur du vernis et les traces d'application (avec des hétérogénéités d'application probables).

Éprouvettes planes : L'application des vernis s'est déroulée dans le laboratoire de chimie de la HE-Arc (conditions thermohygrométriques 20.9°C et 30 % HR). Les éprouvettes sont préalablement dépoussiérées et dégraissées à l'acétone (fig. 72-73, p. 73). Les vernis sont ensuite appliqués avec un pinceau plat, imitation « petit gris »³⁷ (fig. 16), dans le sens du laminage. Avant l'application, le pinceau est essoré sur un fil en laiton tendu autour d'un récipient en verre pour retirer l'excès de vernis. Le pinceau est rincé à l'éthanol dès qu'on change de vernis. Lors des premiers essais de vernissage, à froid, un voile mat se formait pendant le séchage (fig. 75, p. 74). Pour faciliter l'application et éviter ce phénomène, les éprouvettes ont été préalablement chauffées à l'étuve à env. 35°C³⁸ (fig. 74, p. 73). Des phénomènes d'interférence sont apparus sur les éprouvettes polie-miroirs, probablement parce que la couche de vernis appliquée est trop fine (fig. 82, 84, 86, p. 77)³⁹.

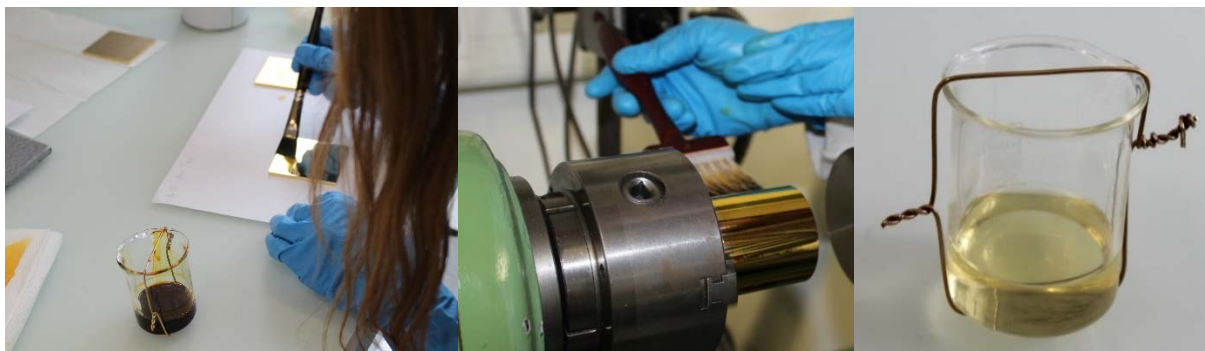


Figure 16 : application du vernis C sur l'éprouvette plane polie-miroir.

Figure 17 : application au tour du vernis C sur l'éprouvette cylindrique polie-miroir.

Figure 18 : récipient du vernis.

Éprouvettes cylindriques (fig. 71, p. 73) : Pour respecter l'application traditionnelle des objets ronds, les éprouvettes cylindriques ont été vernies au tour⁴⁰ (fig. 17) avec un pinceau à poils de blaireau (2") dans l'atelier mécanique de la HE-Arc CR. Les éprouvettes sont préalablement chauffées avec un décapeur thermique à env. 37°C. La température est estimée en approchant la main (fig. 76, p. 74). En raison de la dureté du pinceau, la surface polie-miroir a été rayée.

Conditions de l'application : comme les éprouvettes ne sont pas vernies dans une chambre blanche, de la poussière s'est incrustée dans la couche de vernis.

³⁷ Marque Raphaël Softaqua no 14

³⁸ Les sources historiques indiquaient une chauffe préalable faible sans donner de température exacte. Des essais ont permis de définir une température adaptée.

³⁹ Le nombre de couches n'est pas un point exploité/abordé dans ce travail. Nous nous sommes limités à une seule couche. Néanmoins, les essais de vernissage au tour démontrent que les interférences/irisations ont tendance à disparaître lorsque l'épaisseur de la couche de vernis augmente.

⁴⁰ Tour Schaublin 102, avec une vitesse de 270 tours/minute (en moyenne 2 tours par vernis). Embout 180 (FO3262)

3.4. Constats d'état des éprouvettes

Les constats d'état (fig. 98, 116, p. 80, 82) des éprouvettes planes (fig. 82-97, p. 77-79) et cylindriques (fig. 100-115, p. 81-82) sont une trace de l'état de conservation des éprouvettes avant les prises de vue pour l'étude comparative. Il est mis en évidence des traces technologiques (application au pinceau, rayures de polissage), des traces d'usure ainsi que des défauts du métal (des piqûres). Des photographies sous fluorescence UV sont effectuées. Nous allons présenter les résultats complets dans le chapitre 6.

3.5. Mesures de courant Foucault

Pour avoir une idée de l'épaisseur de la couche de vernis appliquée, des mesures d'épaisseur par courant Foucault⁴¹ sont effectuées sur les éprouvettes planes (fig. 99, p. 80). Le vernis le plus épais est le vernis C (de 2.2 à 7.4 μm), suivi du vernis B (de 1.2 à 4 μm) et du vernis A (de 1.4 à 3.1 μm)⁴².

3.6. Conditionnement des éprouvettes

Éprouvettes de références non vernies : Pour éviter une oxydation des éprouvettes de référence non vernies, il convenait de trouver un conditionnement où l'humidité relative*(HR) est aussi sèche que possible (inférieure à 30 %)⁴³. Pour y parvenir, on utilise comme dessicatif* un sachet d'argile activée (Claypack) qui est préalablement déshydraté dans une étuve ventilée à 80°C pendant 107 minutes. On atteint une humidité relative d'environ 15 % HR. Le sachet est ensuite placé avec les éprouvettes dans une boîte hermétique en polypropylène (fig. 19). Les éprouvettes sont séparées par du carton non-acide et du papier de soie⁴⁴.



Figure 19 : conditionnement pour les éprouvettes de référence non vernies.



Figure 20 : conditionnement définitif pour les éprouvettes vernies.

Éprouvettes vernies : Dans un premier temps, les éprouvettes étaient stockées dans des boîtes en polystyrène (fig. 77, p. 74). Matériau très électrostatique, il a été convenu de les conditionner dans une

⁴¹ Mesures effectuées avec l'appareil Phynix Surfex FN. Le protocole des mesures se trouve en annexe 2, p. 75.

⁴² Le laps de temps entre l'application du vernis et les mesures d'épaisseur est d'environ deux mois, 27 avril-16 juin 2017.

⁴³ Bergeron et Naud, 2016 [En ligne]

⁴⁴ Le choix du carton et du papier comme matériaux repose notamment sur leurs propriétés hygroscopiques. Ils vont permettre un effet tampon et absorber l'humidité (Illes, 2004, p. 107).

boîte hermétique en polypropylène avec des intercalaires en carton non acide et du papier de soie (fig. 78, p. 74). Il s'est avéré qu'au bout de deux jours, la poussière du papier de soie, en contact direct avec la surface de l'objet, s'accumulait et restait incrustée à la surface du vernis. Ce dernier n'était apparemment pas complètement sec. Vu les problèmes rencontrés, il était plus judicieux de ne rien poser à la surface des éprouvettes. Nous avons finalement décidé de remettre les éprouvettes dans les boîtes en polystyrène (fig. 20). Bien qu'électrostatique, la poussière va préférentiellement se déposer autour de l'éprouvette lorsqu'on ouvrira la boîte⁴⁵.

3.7. Conditions de conservation des éprouvettes durant l'étude

Deux capteurs thermohygrométriques Hamster Elprolog ont été placés dans chaque conditionnement pour la durée de l'étude, soit du 10 mai au 2 juin 2017 (graphes 1-2, p. 106). Pour les éprouvettes de référence non vernies, le dessicatif a permis de maintenir une humidité relative moyenne de 17.8 % HR (tableau 16, p. 106). Les pics d'humidité relative observés sur les deux graphes correspondent à l'ouverture des boîtes, où un renouvellement de l'air se produit. Pour les éprouvettes vernies, comme il n'y a pas de matériau tampon, les valeurs hygrométriques augmentent progressivement au fil de l'étude. Elles sont dépendantes des conditions thermohygrométriques de la salle de stockage, salle sans régulation de l'humidité⁴⁶.

3.8. Choix des objets historiques

Comme élément de comparaison avec les éprouvettes, nous avons choisi trois objets patrimoniaux où on parlait du principe qu'il s'agissait d'alliages de cuivre vernis: un bronze d'ameublement, un instrument scientifique ainsi qu'un objet d'horlogerie. Si les objets sont bien vernis, c'était à la fois pour protéger la surface métallique contre la corrosion mais aussi pour rehausser la couleur jaune de l'alliage cuivreux. Avec cette sélection d'objets, nous sommes directement confrontés à la problématique de recherche, à savoir si les surfaces métalliques sont vernies ou dorées. Des analyses élémentaires par fluorescence des rayons X (XRF)⁴⁷ et des analyses moléculaires en spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier (IRTF) sont effectuées pour déterminer les matériaux constitutifs⁴⁸. Pour l'identification et la

⁴⁵ Entretiens avec Bluenn Boulangé, conservatrice-restauratrice d'objets métalliques, le 28 avril et 11 mai 2017

⁴⁶ L'humidité relative intérieure dépend de la température intérieure et du rapport de mélange intérieur (Diaz-Pedregal, 2009, p. 42). Comme ces deux valeurs variables dépendent de la température extérieure et du rapport de mélange extérieur, une augmentation de la température et du rapport de mélange extérieur va provoquer une augmentation de l'humidité relative intérieure. Il n'est ainsi par étonnant qu'avec l'élévation de la température extérieur au mois de mai, la courbe thermohygrométrique augmente dans la salle.

⁴⁷ Les mesures sont effectuées durant un cours XRF du 26 avril 2017 par Marc Dupayrat, spécialiste de l'analyse par fluorescence des rayons X, département investigation analytique distribution, support du laboratoire Dovre & Fallinger.

⁴⁸ Les analyses sont réalisées le 18 mai 2017 par Laura Brambilla, docteure en chimie et adjointe scientifique en conservation de l'unité Ra&D de la HE-Arc CR. Le protocole est présenté en annexe 2, p. 76.

caractérisation des vernis, des photographies sous fluorescence UV⁴⁹ et des mesures de courant Foucault sont réalisées.

3.8.1. Horloge électrique à mouvement secondaire



Figure 21 : Horloge à mouvement secondaire, platine métallique avec le vernis jaune.



Figure 22 : Horloge à mouvement secondaire. En haut, platine métallique avec le vernis orange et en dessous, le système électroaimant.

Fabricant : Peyer, Favarger, successeurs de M.Hipp

Datation : vers 1900 (1889-1908⁵⁰)

Lieu de conservation : Musée International de l'Horlogerie (MIH)

No d'inventaire : IV-1035

Dimensions max. (L x l x h) : 16.7 x 9 x 14.7 cm

Matériaux : alliage cuivreux, alliage ferreux, vernis, textile, bois, acier bleui.

Description : Les horloges électriques à mouvement secondaire sont des compteurs d'impulsions, qui sont additionnés sous forme de minutes et d'heures sur un cadran. Elles ne peuvent ainsi pas donner l'heure mais nécessitent « une horloge-mère qui envoie des impulsions à intervalles réguliers. ⁵¹ » C'est le courant dans les bobines qui agissent sur l'aimant et font démarrer l'horloge⁵².

L'horloge, fixée à un socle en plexiglas, se compose de deux platines en alliages cuivreux vernies reliées par des piliers secondaires (fig. 121, p. 85) et fixées par des vis en acier bleuis (fig. 21-22). Les éléments du mécanisme (roue d'échappement et pignons) sont maintenus par l'intermédiaire de ces deux platines. Chaque platine comporte une roue d'engrenage centrale, maintenue par des plaquettes métalliques. Le système est composé d'un électroaimant à armature polarisée. Il est constitué de deux bobines, entourées par une partie en fer et au-dessus un aimant.

⁴⁹ Le protocole de prises de vue sous fluorescence UV est présenté en annexe 6, p. 119-120, celui des courants Foucault en annexe 2, p. 75.

⁵⁰ Période durant laquelle l'entreprise de Hipp est reprise par les deux ingénieurs Peyer et Favarger. En 1908, l'entreprise Peyer, Favarger & Cie, Successeurs de Hipp devient Favarger & Cie (Schraven, 2003, p. 24-27).

⁵¹ Viredaz, 2010 [En ligne]

⁵² Entretien avec François Goetz, enseignant de physique à la HE-Arc, le 12 mai 2017.

Un n° série 16384 est poinçonné à l'arrière de la platine vernie jaune.

Zones d'intérêts pour l'étude : L'intérêt principal de cet objet pour l'étude sont les deux platines métalliques en alliages cuivreux vernies : un vernis jaune (autofluorescence UV orange clair) et un vernis orange (autofluorescence UV orange foncé) (fig. 117-120, p. 85). Leur aspect différent (couleur) a attiré notre attention sur un éventuellement remaniement. Le constat d'état (fig. 123-124, tableau 11, p. 86-87), uniquement axé sur les platines en alliages cuivreux vernies, a mis en avant quelques éléments intéressants. Pour le vernis orange, les altérations de surface observées sont un chanci du vernis, des taches d'oxydation et une corrosion filiforme dans les arrêtes. Sous la roue d'engrenage centrale, une partie du vernis est lacunaire. Il y a une absence d'autofluorescence UV sur la plaquette métallique qui maintient cette même roue (fig. 120, p. 85). L'état de conservation du vernis jaune est meilleur. On y distingue quelques traces d'usage et des traces d'usure (rayures). Les deux platines métalliques présentent plusieurs piqûres.

Mesures de courant Foucault : Le vernis orange est le plus épais, tout objet/éprouvette confondu. Les mesures varient entre 8.2 µm et 18.6 µm. Les valeurs du vernis jaune vont de 3.3 µm et 10.2 µm⁵³.

⁵³ Le détail des mesures des épaisseurs se trouvent en annexe 3, p. 89.

3.8.2. Frise d'une horloge française en corne

Figure 23 : Avers de la frise.



Figure 24 : Revers de la frise

Fabricant : Bailly l'ainé, Paris

Datation : milieu du XVIIIe siècle

Lieu de conservation : Musée International de l'Horlogerie (MIH)

No d'inventaire : IV-957

Dimensions max. (L x l x h) : 13.5 x 4.5 x 0.7 cm

Matériaux : laiton, dorure (?), vernis (?)

Technique de fabrication : fonte au sable (?)

Description : Frise florale qui a été prélevée sur la partie latérale droite de la console d'une horloge française en corne (fig. 25-26). L'avert (fig. 23) est ciselé en mat sablé et le centre des pétales est bruni. Le revers (fig. 24) est marqué par des traces de façonnage (stries de la lime).

Zones d'intérêts pour l'étude : Cet objet a été sélectionné de par sa forme complexe et irrégulière, représentatif des bronzes d'ameublement. Le responsable des collections soupçonnait initialement la

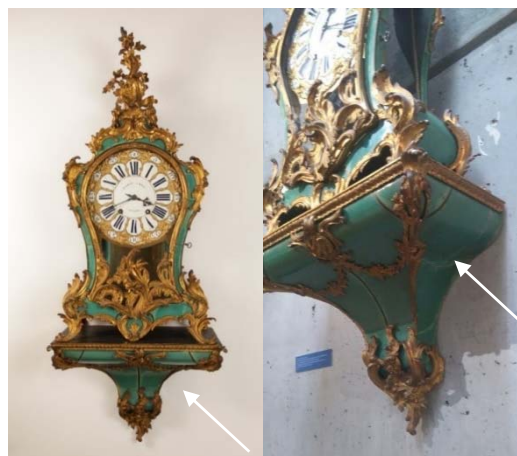


Figure 25 : Horloge française en corne IV-957. © MIH

Figure 26 : détail de l'emplacement de la frise. © HE-Arc CR, CvK

présence d'un revêtement sur l'avert en raison d'un aspect relativement uniforme et d'une teinte brunâtre. Ainsi, plusieurs hypothèses ont été émises concernant les finitions. S'agit-il d'un alliage cuivreux vernis, d'une dorure électrolytique, d'une dorure au mercure ou d'une dorure patinée avec un revêtement coloré? L'analyse XRF indique une composition de cuivre et de zinc (laiton). Il est difficile de déterminer s'il y a de l'or en raison des pics du zinc qui se trouvent aux mêmes emplacements (spectre 1-2, p. 94). Nous pouvons ressortir du constat d'état (fig. 135, tableau 12, p. 92-93) qu'une substance brune-orange recouvre en partie le revers (fig. 24) et présente une autofluorescence orangée sous UV (fig. 134, p. 91). Au sujet des analyses IRTF, ce qui nous pensions être un ternissement de la surface sur la zone brunâtre de l'avert s'est révélé être un colorant, l'alizarine* (spectre 4, p. 96). En revanche, l'extrémité droite de l'avert que l'on pensait préservée du ternissement est ternie (l'analyse IRTF a confirmé un produit de corrosion, probablement du sulfate de cuivre CuSO_4) (spectre 3, p. 95). L'analyse a en plus identifié de l'huile de lin au revers (spectre 5, p. 96).

Mesures de courant Foucault : pas de mesure d'épaisseur pour cet objet. La surface est trop irrégulière pour la calibration de l'appareil de mesure.

3.8.3. Pendulette de voyage « Les Frères Vuilleumier des Reussilles »



Figure 27 : vue générale de la face de la pendulette de voyage



Figure 28 : vue générale de la clé de remontage de la pendulette de voyage.

Fabricant : Ergas, fabrique d'horlogerie aux Reussilles.

Datation : seconde moitié du XXe siècle. Avant 1996⁵⁴. Imitation d'une horloge de 1851.

Lieu de conservation : collection privée.

Dimensions max. (L x l x h) : 10.4 x 8.7 x 15 cm (boîtier) ; 7.8 x 3.4 x 0.6 cm (clé)

Matériaux : alliage cuivreux (laiton), verre, vernis synthétique (polyester), émail.

Description : Cette pendulette (Luxe 23) se compose de trois parties : un double cadran, une partie mécanique (le mouvement) et un boîtier doré vitré sur quatre faces (fig. 27). Le cadran principal est en émail avec chiffres romains pour indiquer les heures. Il y a un cadran auxiliaire pour la mise à l'heure du réveil. Le mouvement à échappement d'ancre est visible à travers une ouverture vitrée sur la partie supérieure (fig. 149, p. 100). Le boîtier est rectangulaire, avec une poignée de transport. De par les faces vitrées, nous observons le mouvement dans les côtés et la sonnerie à gong à l'arrière. Une clé de remontage est fournie avec la pendulette (fig. 28).

Les zones d'intérêts pour l'étude : Nous sommes ici intéressés par le boîtier doré et la clé de remontage. L'analyse XRF sur le boîtier doré a décelé du zinc et du cuivre (laiton) (spectre 6, p. 103). Il n'y a pas d'or. Les analyses IRTF effectuées sur la clé de remontage indiquent la présence d'un vernis synthétique à base de polyester (spectre 7, p. 104), avec une autofluorescence sous UV dans les teintes bleu-vert (fig. 141-154, p. 98-100).

Le constat d'état révèle (fig. 156-159, tableau 14, p. 101-102) que la surface métallique est recouverte d'un dépôt brun dur et cassant à la surface (autofluorescence UV grisâtre). Ces altérations sont causées par un contact direct avec une mousse de polyuréthane dans la boîte de conditionnement (fig. 155, p.

⁵⁴ Date de la garantie

100). La clé de remontage présente des altérations circulaires et homogènes sur l'extrémité de l'anneau et la tige, causées probablement par une réaction chimique avec la mousse de polyuréthane.

Mesures courants Foucault : les mesures effectuées sur la partie supérieure indiquent une épaisseur du vernis comprise entre 4.4 μm et 6.5 μm ⁵⁵.

Chapitre 4 : Mise en place de la méthodologie ITR

4.1. Construction d'un dispositif

Dans l'idée d'obtenir des fichiers ITR des éprouvettes reproductibles, un dispositif à bras rotatif a été construit. Il est directement inspiré de la méthode développée par Samantha Thi Porter de l'Université du Minnesota⁵⁶.

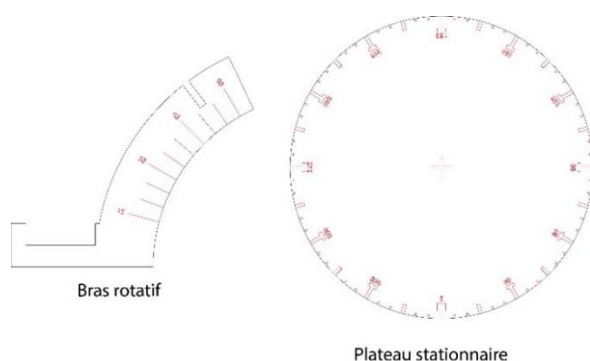


Figure 29 : extrait des plans. © Thi Porter

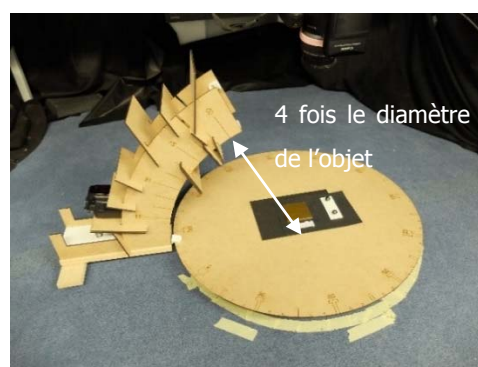


Figure 30 : dispositif terminé.

Dans le cadre du Bachelor, le dispositif est adapté et propose deux formats de plateaux différents (30 et 60 cm)⁵⁷ et deux bras rotatifs (LED et flash) (fig. 164, p. 107). Les plans du plateau au diamètre de 30 cm (fig. 29), disponibles en OpenSource, sont agrandis au format de 60 cm. Les plateaux et les bras sont découpés au laser au FabLab de la HE-Arc de Neuchâtel (fig. 165-168, p. 107-108) dans un panneau de fibres à densité moyenne (MDF) de 4 mm d'épaisseur. Le bras est maintenu à un plateau tournant par une coulisse à tiroir. Le plateau stationnaire est posé sur quatre cylindres pour permettre une bonne répartition du poids. Pour la fixation du flash, il est arrêté par des angles droits en plastique et des plaquettes MDF (fig. 175-176, p. 110)⁵⁸.

La technique ITR nécessite, dans l'idéal, que la distance entre l'objet et l'angle lumineux soit de 3-4 fois le diamètre de l'objet (fig. 30). Comme le diamètre des éprouvettes fait 8.5 cm, le rayon du plateau doit être au minimum de 25.5 cm, raison pour laquelle nous n'allons utiliser que le plateau de 60 cm de diamètre.

⁵⁵ Le détail des mesures d'épaisseur en annexe 3, p. 103

⁵⁶ Porter, 2016 [En ligne]. Méthode présentée au chapitre 2, p. 12

⁵⁷ Le format de 30 cm a été réalisé dans l'idée d'utiliser le dispositif pour des objets plus petits que les éprouvettes. Il ne sera pas employé dans le cadre de ce travail.

⁵⁸ Les détails de la construction du dispositif se trouve en annexe 4, p. 107-110

4.2. Matériels et prises de vue

Tableau 1 : matériels pour l'imagerie par la transformation de la réflectance

Matériel	Description
Appareil photographique	Reflex Canon EOS 700D. Pour la documentation en conservation, l'utilisation d'un appareil photographique reflex numérique est considérée comme le meilleur compromis entre qualité et prix ⁵⁹ . Pour obtenir la meilleure qualité, les prises de vue sont effectuées au format RAW.
Objectif	Zoom standard (Canon EF-S 18-55 mm f/3.5-5.6 IS II).
Sphères réfléchissantes	Le diamètre des sphères réfléchissantes doit représenter au moins 250 pixels sur la photographie. Dans notre cas, nous allons utiliser les sphères 1/2" (12.7 mm). Il est préférable d'utiliser deux sphères au cas où le reflet sur l'une des sphères est obscurci ⁶⁰ . Les deux sphères sont fixées sur un carton avec des pastilles adhésives (type Patafix®).
Sources lumineuses	La source lumineuse doit être suffisamment forte pour créer des points distincts sur les sphères réfléchissantes. Deux sources lumineuses ont été testées : un éclairage continu avec une LED (LED Lenser P3 AFS S) et un éclairage discontinu avec un flash (Canon Speedlite 580EX II). C'est avec le flash que nous avons obtenu le meilleur rendu des couleurs et la plus grande homogénéité d'éclairage (fig. 181-182, p. 111).
Charte colorimétrique	ColorChecker Passport (X-Rite). Il s'agit d'une charte colorimétrique qui permet d'effectuer une balance des blancs précise et de calibrer les couleurs de l'appareil photo.
Statif	Table de reproduction Kaiser 5512. La table de reproduction est particulièrement adaptée pour les prises de vue sur des petits objets plats, comme des éprouvettes.
Ordinateur et programme informatique	HP Elite Book connecté au logiciel EOSUtility pour contrôler le reflex à distance.

⁵⁹ Frey, *et al.*, 2008, p. 15

⁶⁰ Cultural Heritage Imaging, 2013a, p. 12 [En ligne]

Comme la technique ITR demande un environnement sans vibration, le Campus 2 de la Haute-Ecole Arc, situé à côté de voies ferrées, n'est pas adapté. Il a été convenu d'effectuer les prises de vue au Crêt-Taconnet. Les objets sont manipulés avec des gants en nitrile pour éviter une oxydation de la surface. Pour stabiliser et centrer les éprouvettes sur le plateau, on les place dans un cadre sur un fond noir (fig. 32). La surface métallique est débarrassée de tout parasite avec une poire dépoussiérante. Pour créer une séquence d'image⁶¹, on effectue 48 photographies autour du plateau stationnaire (12 photos avec quatre angles lumineux différents) (fig. 31)⁶². On produit 12 images dans un premier temps autour du plateau, tous les 30 degrés. Après ces premières images, on déplace le flash et on effectue de nouveau 12 photos. On répète cette action encore deux fois. En respectant cette répartition, on obtient un dôme virtuel. Le flash et l'appareil photographique sont contrôlés à distance par un transmetteur et une télécommande infrarouge.

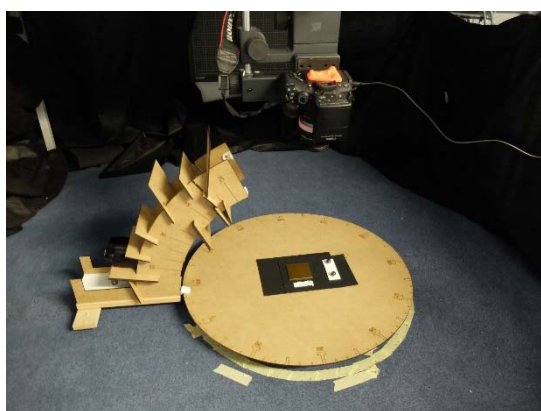


Figure 31 : vue d'ensemble du dispositif.



Figure 32 : exemple d'une prise de vue pour une séquence d'image ITR sur une éprouvette satinée.

4.3. Surface réfléchissante

Un élément central de la méthodologie consiste à résoudre le problème lié au pouvoir réfléchissant de la surface métallique des éprouvettes polie-miroirs. L'une des premières solutions apportée fut de placer un carton blanc autour de l'objectif, technique employée au Museum Conservation Institute Smithsonian Institution pour réaliser des fichiers ITR sur des daguerréotypes⁶³. Les résultats obtenus n'étaient toutefois toujours pas concluants, une partie de l'objectif était encore visible sur la surface réfléchissante métallique (fig. 33). Nous avons décidé de déplacer le plateau de telle sorte



Figure 33 : objectif de l'appareil photo visible sur l'éprouvette.

⁶¹ Le protocole de prises de vue ITR se trouve en annexe 6, p. 116-118

⁶² Tableaux de répartitions des angles en annexe 5, p. 114-115

⁶³ Echange par e-mail du 2 et 17 mai 2017 avec Madame Keats Webb, spécialiste en imagerie digitale au Museum Conservation Institute Smithsonian Institution.

que le reflet ne soit plus visible sur la surface (fig. 34). Cette solution présentait encore deux désavantages, à savoir la perte du principe du dôme virtuel et le fait que l'éprouvette ne soit plus au centre de la photographie. Un autre compromis devait être trouvé. Nous avons décidé de basculer légèrement l'appareil photo de 5° vers l'avant (fig. 34). Avec cette solution, l'objectif de l'appareil photo disparaît de la surface métallique, nous nous rapprochons du dôme virtuel et l'objet réfléchissant est au centre de l'image, permettant un cadrage rapproché. Le désavantage est un impact sur les propriétés géométriques de l'objet, avec une légère déformation de la perspective.

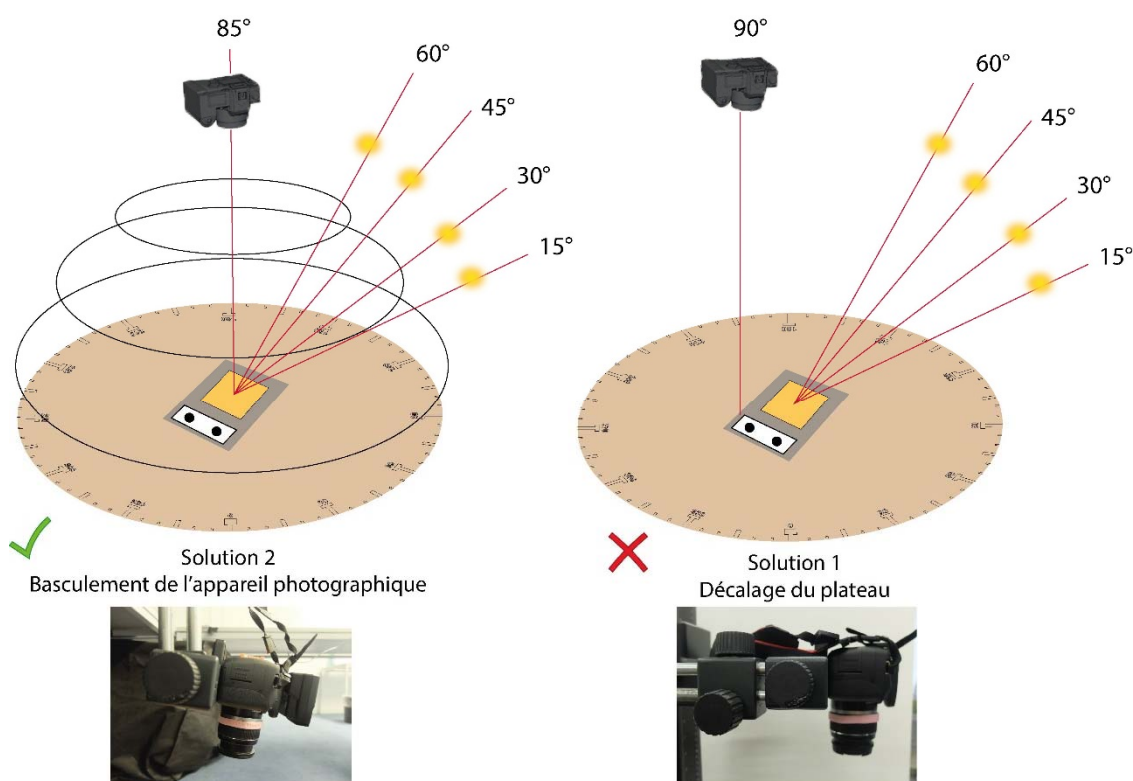


Figure 34 : choix des paramètres pour les surfaces réfléchissantes.

Un phénomène optique a rapidement été identifié sur les surfaces satinées et polie-miroirs. Lors des prises de vue, on observe, pour chaque éprouvette, un reflet lumineux sur la surface métallique aux angles 60° et 240° du plateau stationnaire (fig. 185-188, p. 112)⁶⁴. Le halo lumineux sur l'éprouvette polie-miroir est une réflexion spéculaire*, celle de l'éprouvette satinée, une réflexion diffuse*⁶⁵. Ce phénomène, que l'on ne peut contrôler, est lié à l'orientation de surface.

⁶⁴ Les angles où le phénomène se produit varient selon l'emplacement de l'éprouvette. La différence entre les deux angles est cependant toujours de 180°.

⁶⁵ Ces réflexions sont confirmées par une expérience qui consiste à pointer sur la surface métallique une source lumineuse monochromatique (pointeur laser) (fig. 183-184, p. 111). Entretien avec François Goetz, enseignant de physique à la HE-Arc, le 12 mai 2017.

4.4. Gestion de l'imprécision de l'image

La technique d'imagerie ITR requiert une série de plus de 40 photos où l'appareil photo et l'objet ne doivent pas bouger et où seul l'angle lumineux change. Hors, lors des premiers essais, la stabilité de l'image n'était pas obtenue. Un décalage de 5 mm entre la première et la dernière photographie était visible (tableau 17, p. 113). Plusieurs raisons possibles ont été identifiées : instabilité du dispositif à plateau tournant, le poids du flash (inclinaison du plateau), la moquette de la salle et le mouvement de l'objectif⁶⁶. Des améliorations techniques ont été apportées au dispositif (ajout de poids au dispositif, placement sur une plaque en acier). On a fixé un bracelet élastique autour de l'objectif pour le verrouiller (fig. 180, p. 111). Ces modifications ne se sont révélées que partiellement efficaces, avec un léger décalage encore perceptible (0.5-1 mm). Pour permettre la récolte de données dans le temps imparti, nous avons décidé de retirer le plateau tournant et de poser le dispositif à même le sol (fig. 35). Cette solution s'est révélée adéquate.

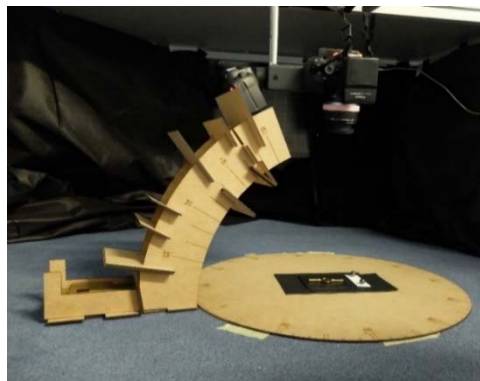


Figure 35 : dispositif final, sans le plateau tournant.

4.5. Spécificités méthodologiques

Nous avons décidé de doubler les prises de vue pour les objets poli-miroirs en raison des problèmes de réflexion et de halo lumineux. Cette couverture lumineuse plus complète (tableau 19, p. 115) favorise les angles lumineux faibles. Les halos lumineux et la réflexion de la surface réfléchissante sont plus prononcés lorsque les photos sont prises avec des angles lumineux élevés. En tant que telle, cette option permet de choisir les photographies les moins impactées tout en ayant suffisamment de photos pour générer un fichier ITR⁶⁷.

Pour les objets en 3 dimensions, le dispositif avec le bras atteint ses limites. La hauteur des objets sont trop importantes et la distance minimale entre la source lumineuse et l'objet n'est plus remplie. L'alternative sélectionnée est la méthode ITR appelée « Highlight Method », où le bras gradué est remplacé par une ficelle⁶⁸. La ficelle permet de garder la même distance entre le flash et la zone de l'objet photographiée. Une tige métallique est fixée à l'extrémité du flash et rend plus facile pour l'opérateur de voir l'angle de la ficelle par rapport à la direction de la lumière (fig. 36)⁶⁹. La reproductibilité des résultats est inférieure au dispositif au bras rotatif (fig. 189-190, p. 112).

⁶⁶ Comme on utilise une table de reproduction, le mouvement de l'objectif est une piste plausible. L'appareil photo est dirigé vers le bas. Pour s'assurer que l'objectif, par gravité, ne modifie progressivement le cadrage, on utilise un bracelet élastique (*lens band*) pour le verrouiller (CHI Forums, 2016 [En ligne]).

⁶⁷ Pagi *et al.* 2015, p. 20-21

⁶⁸ Description du protocole ITR « Highlight Method » en annexe 6, p. 118.

⁶⁹ Cultural Heritage Imaging, 2013a, p. 24

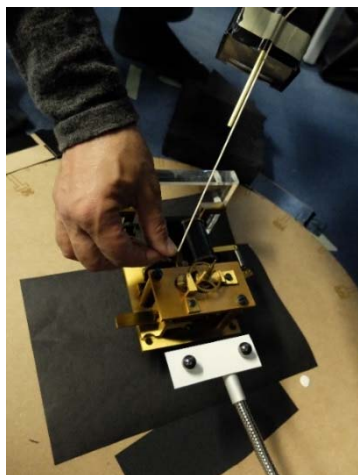


Figure 36 : mesure de la distance avec la ficelle.

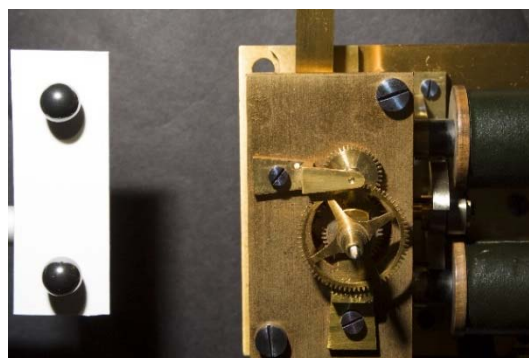
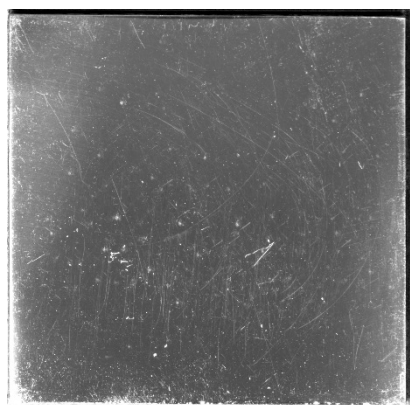


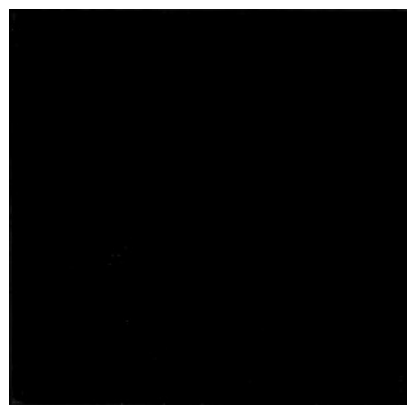
Figure 37 : exemple d'une prise de vue avec la méthodologie « Highlight method » pour une séquence d'image ITR

4.6. Traitements informatiques des images

Un profil colorimétrique est créé sous le logiciel ColorChecker Passport. Il est utilisé pour calibrer les couleurs sous le logiciel Adobe Photoshop's Camera RAW.



a)



b)

Figure 38 : Eprouvette 14, surface polie-miroir. Mêmes paramètres de réglage : a) HSH Fitter, extension .rti. b) PTM Fitter, extension .ptm

Le logiciel RTIBuilder va combiner les prises de vue pour créer le fichier ITR final⁷⁰. Ce logiciel propose deux séquences d'algorithmes possibles : PTM fitter (extension .ptm), algorithme original développé par Tom Malzbender en 2001, et HSH fitter (extension .rti), algorithme développé par l'Université de Santa Cruz entre 2007 et 2008. Pendant que la séquence PTM est adaptée pour les surfaces mates (pierre, papier, peintures murales), elles démontrent d'importantes limites pour les surfaces métalliques, surtout brillantes⁷¹. Les surfaces satinées présentent d'importantes zones sombres (fig. 191, p. 112) et les surfaces polie-miroirs apparaissent noires sous certains angles lumineux (fig. 38). Nous avons décidé de procéder avec la séquence HSH, avec néanmoins l'inconvénient de ne disposer que de trois modes de visionnement interactifs contre huit avec le format PTM.

⁷⁰ L'explication complète du traitement informatique se trouve en annexe 7, p. 123-137

⁷¹ Cultural Heritage Imaging Forums, 2012 [En ligne] ; Drew *et al*, 2012, p. 6

4.7. Interactivité

Le logiciel RTViewer⁷² permet de visualiser et d'examiner le fichier ITR de manière interactive. Le fichier donne l'accès à un contrôle des conditions d'éclairage et permet à l'utilisateur de déplacer l'angle d'éclairage, d'observer les reliefs de la surface, de changer les propriétés de la surface, de simuler les sources de l'éclairage et de zoomer⁷³. Le format de HSH Fitter (.rt) propose 3 modes de visionnement : *Default*, *Specular Enhancement*, *Normals Visualisation*. *Default* présente l'image sans paramètres d'amélioration. Le mode *Specular Enhancement* (fig. 39), une amélioration du rendu de la surface par un ré-éclairage de l'image, supprime la couleur RGB de chaque pixel pour ne fournir que la réflectivité⁷⁴. C'est le mode principalement utilisé dans le cadre de ce travail. Le mode *Normals Visualization* code la couleur de la surface en fonction de la direction perpendiculaire à chaque pixel de l'image⁷⁵.

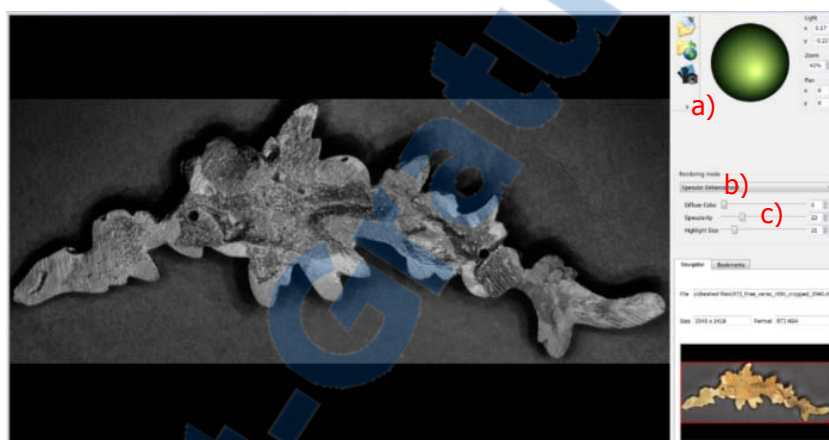


Figure 39 : mode *Specular Enhancement* sur le revers de la frise. a) position virtuelle de la lumière ; b) sélection du mode de visionnage ; c) paramètres de réglage.

C'est la sphère virtuelle (fig. 40) qui permet de contrôler l'éclairage. Lorsque vous faites glisser le point lumineux, la lumière virtuelle s'approche de l'horizon, créant un effet d'éclairage en lumière rasante⁷⁶.

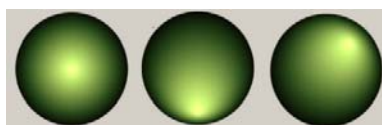


Figure 40 : à gauche, éclairage à « high noon », c'est-à-dire par-dessus l'objet, au centre, éclairage rasant et à droite, éclairage semi rasant. © CHI

⁷² Protocole de visionnement avec le logiciel RTViewer en annexe 7, p. 134-137

⁷³ Artal-Isbrand et Klausmeyer, 2013, p. 338 ; Malzbender et al., 2001 [En ligne]

⁷⁴ Cosentino et al., 2015, p. 28 ; Smithsonian, 2015 [En ligne]

⁷⁵ Cultural Heritage Imaging, 2013b, p. 23

⁷⁶ Cultural Heritage Imaging, 2013b, p. 9

Chapitre 5 : Etude comparative

Comme outil de référence et de comparaison à la technique de l'imagerie par transformation de la réflectance (ITR), nous avons sélectionné deux méthodes d'imagerie fréquemment utilisées par le conservateur-restaurateur, avec deux rayonnements différents : la photographie sous fluorescence UV et la photographie standard en lumière blanche. En se focalisant sur les informations de surface des vernis sur les alliages cuivreux, nous allons comparer les trois techniques en fonction du type et de la qualité de l'information obtenue

5.1. Techniques d'imagerie sélectionnées

Photographie sous fluorescence UV⁷⁷ : L'examen sous rayonnement ultraviolet est à l'heure actuelle la méthode d'imagerie communément employée pour l'identification et l'étude des vernis sur les alliages cuivreux. La technique permet d'observer l'autofluorescence émise par certains vernis. Les fluorescences ont des couleurs et des contrastes différents selon la nature du matériau⁷⁸. Les prises de vue ont été effectuées avec une lampe UVA⁷⁹ (fig. 41) avec un temps de pose de 10 secondes. Les lampes UVA sont les plus fréquemment utilisées car elles produisent une fluorescence visible pour beaucoup de matériaux différents (résines, pigments, etc.). Un filtre (B+W 486) est utilisé pour éliminer l'émission des rayonnements ultraviolets, infrarouges et visibles indésirables (fig. 42). Il ne laisse passer que la fluorescence visible⁸⁰.



Figure 41 : Détail du dispositif de la photographie sous fluorescence UV.

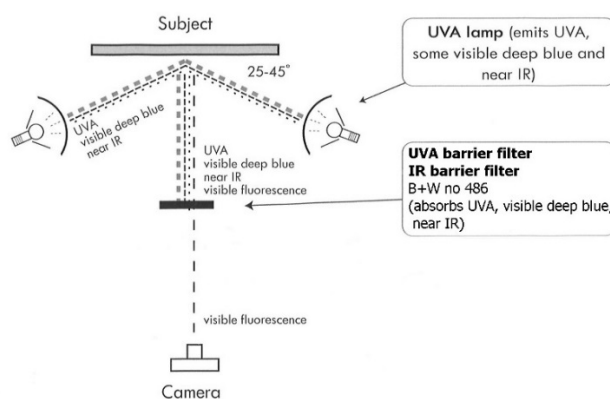


Figure 42 : schéma du dispositif de la photographie sous fluorescence UV. © AIC, adapté par HE-Arc CR, RR

⁷⁷ Le protocole des prises de vue complet se trouve en annexe 6, p. 119-120

⁷⁸ Regert et Guerra, 2015, p. 47

⁷⁹ Lampe UVA Hand de Honle (250W)

⁸⁰ Frey *et al.*, 2008, p. 73

Photographie standard en lumière blanche⁸¹ : c'est un outil indispensable pour la documentation des œuvres en conservation-restauration. Elle enregistre les caractéristiques matérielles, l'état physique et les altérations de l'objet.

Les objets de l'étude sont dans un premier temps photographiés avec un zoom standard. Ensuite, en fonction des zooms effectués sur les fichiers ITR, des macrophotographies* sont réalisées.

5.2. Exploitabilité des fichiers ITR

Les éprouvettes cylindriques polie-miroirs ne font pas parties de l'étude comparative (éprouvettes 7 à 10). L'essai sur l'éprouvette 7 est inexploitable (fig. 202, p. 143). De par la brillance et la forme géométrique de l'objet, les conditions de prises de vue étaient inadaptées. La surface du cylindre reflète l'environnement de la salle⁸².

Bien qu'en supprimant les photos avec d'importants halos lumineux, on retrouve ce dernier sur plusieurs captures d'écran (fig. 204-205, p. 143).

En se concentrant sur les sphères lumineuses (fig. 43-45), on constate que la surface du matériau influence le résultat. Plus la surface est brillante, plus la sphère est surexposée. On obtient une sphère idéale avec les surfaces mates (frise et lames de verre⁸³).

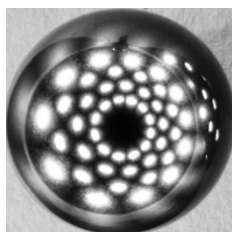


Figure 43 : sphère de la lamelle de verre, surface mate

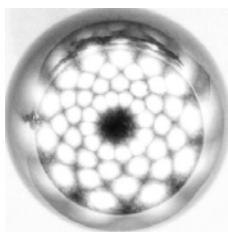


Figure 44 : sphère du revers de la frise, surface mate

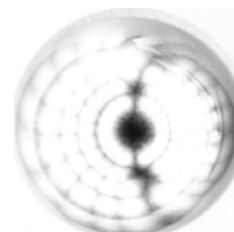


Figure 45 : sphère de l'éprouvette 2, polie-miroir.

Nous avons dû réduire les zones d'intérêt à analyser pour l'horloge électrique à mouvement secondaire en raison d'importants problèmes d'ombres (socle, roue d'engrenage) et de zones surexposées (fig. 203, p. 143 et tableau 28, p. 141)⁸⁴.

⁸¹ Le protocole des prises de vue complet se trouve en annexe 6, p. 121-122

⁸² Nous avons essayé de photographier le cylindre avec une tente à lumière. Cette solution n'était pas adaptée pour notre cas. Le désavantage de l'utilisation de la tente pour l'éclairage est, qu'en diminuant les ombres, elle donne l'impression que l'objet est sans relief (Bigras, 2010, p. 52).

⁸³ Nous avons verni des lames de verre polies pour microscope comme élément de comparaison avec le métal (fig. 206-208, p. 144).

⁸⁴ Les tableaux d'exploitabilité se trouvent en annexe 8, p. 138-142



5.3. Lecture des résultats de l'étude

Les résultats sont présentés à travers 3 critères :

- Critère 1 : Mise en évidence des modes d'application du vernis
- Critère 2 : Mise évidence des paramètres du vernis (épaisseur, homogénéité, topographie).
- Critère 3 : Mise en évidence des traces de surface du vernis et/ou du métal. Ce critère englobe à la fois les abrasions de surface (traces d'usure et d'utilisation), les altérations ainsi que les traces liées à la fabrication (traces technologiques).

Un code couleur est attribué à chaque critère :

Tableau 2 : système d'évaluation des techniques d'imagerie et des abréviations

	Les informations obtenues sont pertinentes. Technique d'imagerie adaptée
	La technique d'imagerie ne répond que partiellement au critère.
	Aucune information pertinente obtenue. Technique inadaptée.
Abréviations techniques	UV : Photographie sous fluorescence UV ITR : fichier ITR (Imagerie par transformation de la réflectance) VIS : photographie en lumière blanche
Abréviations mode <i>Specular Enhancement</i>	DC : <i>Diffuse Color</i> S : <i>Specularity</i> HS : <i>Highlight Size</i> x et y : position de l'angle lumineux

Les termes traces technologiques, d'usinage, de façonnage et de fabrication sont des synonymes. Ils désignent l'ensemble des traces que laissent les opérations mécaniques durant la fabrication des pièces.

Vous avez à disposition sur le serveur M:, toutes les photographies en haute résolution de cette étude comparative.

5.4. Résultats sur les éprouvettes

5.4.1. Critère 1 : mise en évidence des modes d'application du vernis

5.4.1.1. Résultats

Tableau 3 : résultats sur les éprouvettes, critère 1

Critère 1 : Mise en évidence des modes d'application du vernis			
Annexe 3, p. 78 ; Annexe 8, p. 145-147			
Surface	Eprouvette	Vernis	Observations
polie-miroir	14	A	ITR : Non observé (fig. 210, p. 145).
			UV : Observation d'une autofluorescence dans les teintes froides, verte. Les traces de pinceau sont visibles (fig. 209, p. 145).
			VIS : Non observé (fig. 211, p. 145).
	15	B	ITR : Non observé (fig. 216, p. 146).
			UV : Traces et déchargement du pinceau légèrement perceptibles. Légère autofluorescence dans les teintes froides, bleu-vert (fig. 215, p. 146).
			VIS : Non observé (fig. 217, p. 146).
	2	C	ITR : Traces de pinceau détectable avec le mode <i>Specular Enhancement</i> (fig. 222, p. 147).
			UV : Traces et déchargement du pinceau bien visibles. L'autofluorescence est de couleur orangé, plus froide que celle de l'éprouvette satinée avec le même vernis (fig. 221, p. 147).
			VIS : Traces de pinceau partiellement visibles (fig. 223, p. 147).
	5		Référence sans vernis pour comparaison (fig. 88-89, p. 78).
satinée	31	A	ITR : Non observé (fig. 213, p. 145).
			UV : Non observé (fig. 212, p. 145).
			VIS : Non observé (fig. 214, p. 145).
	38	B	ITR : Non observé (fig. 219, p. 146).
			UV : Très légère autofluorescence dans les teintes froides (fig. 218, p. 146). Traces et déchargement du pinceau peu perceptibles.
			VIS : Non observé (fig. 220, p. 146).
	33	C	ITR : Non observé (fig. 225, p. 147).
			UV : Déchargement du pinceau durant l'application bien visible. L'autofluorescence est de couleur orangé, plus chaude que celle de l'éprouvette polie-miroir avec le même vernis (fig. 224, p. 147).
			VIS : Non observé (fig. 226, p. 147).
	40		Référence sans vernis pour comparaison (fig. 90-91, p. 78).

L'observation sous UV est la méthode qui permet de détecter les modes d'application (au pinceau) du vernis. Les images obtenues avec la technique ITR et la photographie en lumière blanche, à l'exception de l'éprouvette 2 (vernis C, polie-miroir), ne sont pas exploitables pour ce critère.

De toutes les éprouvettes, c'est avec le vernis C que le mode d'application est le plus facilement observable sous fluorescence UV (et à demi-mesure avec le fichier ITR et la lumière blanche) (fig. 221-224, p. 147). On perçoit le nombre de passage du pinceau et différentes épaisseurs du vernis liées au « déchargement » progressif du pinceau (fig. 46-47). Ces résultats peuvent s'expliquer par la composition du vernis. Comme il vise à imiter l'or, c'est le vernis le plus chargé en colorant mais aussi le plus épais parmi les éprouvettes⁸⁵. Les colorants de la recette C qui influencent le résultat sont la gomme-gutte et le curcuma, qui ont une autofluorescence sous UV jaune or⁸⁶. Pour les vernis A et B, l'autofluorescence est moins perceptible. La finesse des vernis A et B rend plus difficile la lecture de l'autofluorescence.

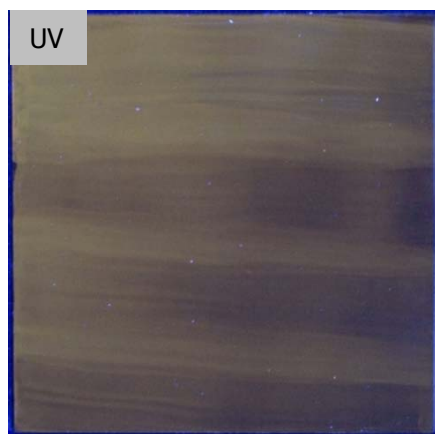


Figure 46 : éprouvette polie-miroir 2 (vernis C).
Autofluorescence sous UV dans les teintes orangée plus froide que l'éprouvette satinée.

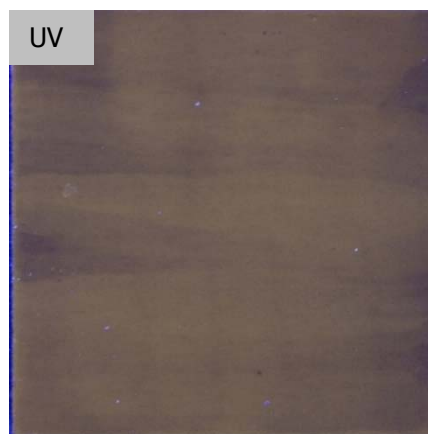


Figure 47 : éprouvette satinée 33 (vernis C).
Autofluorescence sous UV dans les teintes orangée plus chaude que l'éprouvette polie-miroir.

Avec un même vernis, on observe une différence de teinte et d'intensité de l'autofluorescence selon la finition de surface (fig. 209, 212, 215, 218, 221, 224, p. 145-147)⁸⁷. Prenons l'exemple du vernis C. La surface satinée (fig. 47) présente une autofluorescence sous UV plus chaude que la surface polie-miroir (fig. 46). Une des hypothèses émises est l'interaction de la lumière avec la finition de surface. Avec la réflexion de la surface satinée, la lumière est en partie absorbée par le matériau à chaque fois qu'elle est réfléchi. Sur la surface satinée, comme il y a des irrégularités de surface, les rayons lumineux partent dans toutes les directions et sont sûrement réfléchis plusieurs fois avant d'être renvoyé. Les rayons sont donc plus absorbé d'où la couleur moins vive de la fluorescence. A l'inverse, la surface polie-miroir est une réflexion spéculaire, essentiellement un phénomène de surface, où les effets d'absorption sont négligeables⁸⁸. La lumière est réfléchi une seule fois comme la surface est presque "parfaite".

⁸⁵ Voir valeurs courants Foucault des éprouvettes planes, p. 80

⁸⁶ Perego, 2005, p. 250, 336

⁸⁷ Ces photographies sous UV ont été effectuées à la suite pour le même vernis. Il s'écoule entre les photos moins de 2 minutes, sans avoir éteint au préalable la lampe UVA.

⁸⁸ Bonnet, 2004 [En ligne]. Avec une réflexion spéculaire, la « lumière réfléchi n'est entrée dans le matériau

5.4.2. Critère 2 : mise en évidence des paramètres du vernis

5.4.2.1. Résultats

Tableau 4 : résultats sur les éprouvettes, critère 2

Critère 2 : Mise en évidence des paramètres du vernis Épaisseur, topographie de surface et homogénéité Annexe 3, p. 78 ; Annexe 8, p. 145-147			
Surface	Eprouvette	Vernis	Observations
polie-miroir	14	A	ITR : Non observé. Irisation (fig. 210, p. 145).
			UV : Zones avec accumulations du vernis, de différentes épaisseurs (fig. 209, p. 145). Hétérogénéité de l'application.
			VIS : Non observé. Irisation (fig. 211, p. 145).
	15	B	ITR : Non observé (fig. 216, p. 146).
			UV : Différentes épaisseurs du vernis très légèrement visibles (fig. 215, p. 146). Hétérogénéité de l'application.
			VIS : Non observé. Irisation (fig. 217, p. 146).
	2	C	ITR : Non observé (fig. 222, p. 147).
			UV : Différentes épaisseurs du vernis bien visibles (fig. 221, p. 147). Hétérogénéité de l'application.
			VIS : Non observé. Irisation (fig. 223, p. 147).
	5		Référence sans vernis pour comparaison (fig. 88-89, p. 78)
satinée	31	A	ITR : Non observé. Accentuation du relief du satinage du métal (fig. 213, p. 145).
			UV : Non observé (fig. 212, p. 145).
			VIS : Non observé (fig. 214, p. 145).
	38	B	ITR : Non observé. Accentuation du relief du satinage du métal (fig. 219, p. 146).
			UV : Différentes épaisseurs du vernis peu perceptibles (fig. 218, p. 146).
			VIS : Non observé (fig. 220, p. 146).
	33	C	ITR : Non observé. Accentuation du relief du satinage du métal (fig. 225, p. 147).
			UV : Différentes épaisseurs du vernis visibles (fig. 224, p. 147). Hétérogénéité de l'application.
			VIS : Non observé (fig. 226, p. 147).
	40		Référence sans vernis pour comparaison (fig. 90-91, p. 78).

Que ce soit pour les éprouvettes satinées ou polie-miroirs, il n'y a pas de mise en évidence de la topographie de surface des vernis avec la technique ITR. Pour les éprouvettes satinées, nous percevons une légère accentuation du relief du satinage du métal avec cette technique en comparaison avec les photographies en lumière blanche (fig. 213, 214, 219, 220, 225, 226, p. 145-147). Les résultats sur les surfaces polie-miroirs sont plus surprenants. Nous pouvions nous attendre à ce que le relief le plus irrégulier soit celui du vernis, permettant ainsi une caractérisation de ce dernier. En comparant l'éprouvette 2, vernis le plus épais et l'éprouvette 5 (éprouvette de référence non vernie) nous ne

que sur une longueur d'onde de l'ordre d'une demi-longueur d'onde avant d'être réfléchi ». Sur un trajet aussi faible, les effets d'absorption sont négligeables.

distinguons pas de différence de topographie de surface (fig. 48-49). Le relief et l'épaisseur des vernis sont trop faibles pour être caractérisés avec la technique ITR. Ces résultats sont notamment expliqués par le fait que cette technique d'imagerie capte des informations de texture de surface mais ne permet pas de distinguer où il y a peu de différence de relief. Le vernis appliqué est très fin, entre 1.2 et 7.4 μm .



Figure 48 : topographie de surface éprouvette 2 (vernis C). Capture fichier ITR, Mode Specular Enhancement, DC100_S21_HS39_x0.35_y0.94

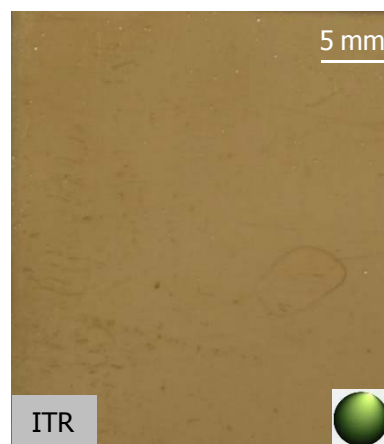


Figure 49 : topographie de surface, éprouvette 5 (non vernie). Capture d'écran fichier ITR, mode Specular Enhancement, DC100_S21_HS39_x0.35_y0.94

Pour confirmer ces résultats, nous avons effectué des fichiers ITR sur trois lames de verre pour microscope (sans défaut de surface). Il en résulte que la topographie et les reliefs des vernis A, B et C sur un support très lisse sont déjà peu discernables (fig. 50). Appliquer sur une surface avec des reliefs plus marqués rend l'identification d'un vernis impossible. Une rayure, une piqûre, un satinage de la surface présenteront des irrégularités de surface qui seront mieux captées par la technique ITR.

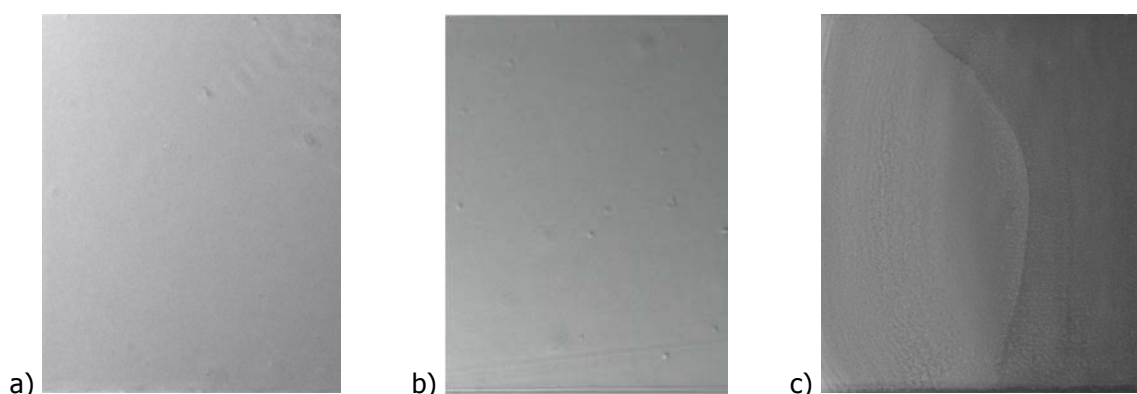


Figure 50 Vernis appliqués sur une lame de verre polie : a) Vernis A ; b) vernis B : vernis anglais ; c) Vernis C : Tingry appliqué sur lame de verre. Captures d'écran fichiers ITR, mode Specular Enhancement

Bien que la fluorescence sous UV ne permette pas de caractériser les vernis, elle met ici en évidence des différences d'épaisseur et l'hétérogénéité d'application liées aux déchargements progressifs du pinceau durant l'application, bien visibles sur les éprouvettes avec le vernis C (fig. 221, 224, p. 146-147). On peut ainsi faire une corrélation entre épaisseur et intensité de fluorescence. La technique ne permet cependant pas de quantifier cette épaisseur⁸⁹.

⁸⁹ Pinna *et al.*, 2009, p. 127

5.4.3. Critère 3 : mise en évidence des traces de surface

5.4.3.1. Résultats

Tableau 5 : résultats sur les éprouvettes, critère 3

Critère 3 : Mise en évidence des traces de surface (verniss et/ou du métal)			
Annexe 8, p. 145-150			
Surface	Eprouvette	Vernis	Observations
polie-miroir	14	A	ITR : Traces d'usure (rayures), altérations de surface (piqûres) et poussières très facilement détectées en mode <i>Specular Enhancement</i> . Traces de façonnage du métal mise en évidence (polissage) (fig. 234, p. 149).
			UV : Non observé, sauf la poussière à la surface (fig. 209, p. 145).
			VIS : Quelques rayures, piqûres et poussières visibles à la surface. L'irisation du vernis ressort plus que les altérations (fig. 233, p. 149).
	15	B	ITR : Idem que pour l'éprouvette 14. Le fichier présente des halos lumineux) (fig. 236, p. 149).
			UV : Non observé, excepté la poussière à la surface (fig. 215, p.146).
			VIS : Idem que pour l'éprouvette 14 (fig. 235, p. 149).
	2	C	ITR : Eprouvettes polie-miroir avec le moins de traces de façonnage. Rayures, piqûres et poussières bien visibles (fig. 238, p. 150).
			UV : Non observé, excepté la poussière à la surface (fig. 221, p. 147).
			VIS : Idem que pour les éprouvettes 14 et 15 (fig. 237, p. 150).
	5		Référence sans vernis pour comparaison (fig. 239-240, p. 150).
satinée	31	A	ITR : Rayures des surfaces que partiellement visibles. C'est le relief du satinage qui est accentué. Les piqûres sont bien mises en évidence (fig. 227, p. 148).
			UV : Non observé, excepté la poussière à la surface (fig. 212, p. 145).
			VIS : Meilleur contraste pour les piqûres qu'avec le fichier ITR (fig. 228, p. 148).
	38	B	ITR : Rayures des surfaces que partiellement visibles. C'est le relief du satinage qui est accentué. (fig. 229, p. 148).
			UV : Non observé, excepté la poussière à la surface (fig. 218, p. 146).
			VIS : Meilleur contraste des traces d'usures (rayures) qu'avec la technique ITR (fig. 230, p. 148).
	33	C	ITR : Idem que pour l'éprouvette 31 (fig. 231, p. 148).
			UV : Non observé, excepté la poussière à la surface (fig. 224, p. 147).
			VIS : Traces d'usures (rayures) mieux discernables qu'avec la technique ITR (fig. 232, p. 148).
	40		Référence sans vernis pour comparaison

La technique ITR ne permet pas de distinguer une altération et les traces d'usure propre au vernis ou au métal. Nous avons décidé de considérer ces aspects comme une hétérogénéité de surface en incluant à la fois le métal et le vernis.

Une des pistes de recherche pour distinguer les traces de surface du métal de celles du vernis était la poussière incrustée dans le vernis. Il en ressort qu'il est difficile de différencier sur les images les poussières des piqûres du métal (fig. 51-52). Un des seuls changements notables est la forme : les poussières sont toujours de formes rondes alors que celles des piqûres varient. La surface vernie présente une concentration d'impuretés logiquement plus élevée que l'éprouvette non-vernie.

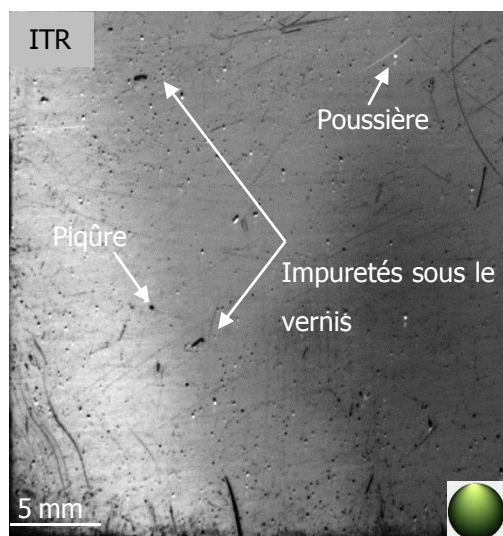


Figure 51 : Eprouvette 2 (vernis C). Capture d'écran fichier ITR, mode *Specular Enhancement*, DC0_S100_HS30_x-0.10_y0.99

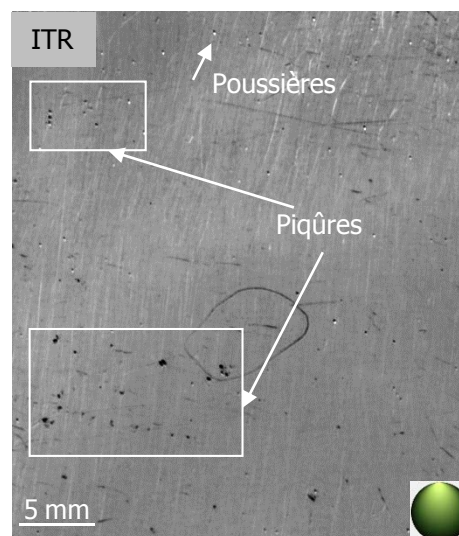


Figure 52 : Eprouvette 5 (référence sans vernis). . Capture d'écran fichier ITR, mode *Specular Enhancement*, DC0_S100_HS30_x-0.07_y1

Pour détecter les hétérogénéités de surface, nous obtenons des résultats différents avec la technique ITR selon la finition de surface. Pour les éprouvettes satinées, le rendu avec le mode *Specular Enhancement* est proche d'une macrophotographie en lumière blanche. La macrophotographie a l'avantage d'offrir un meilleur contraste et de mettre en évidence plus de traces d'usure (rayures). (fig. 231-232, p. 148). Pour le fichier ITR, la fonction *Specular Enhancement* du fichier ITR fait ressortir prioritairement le satinage de surface et les piqûres du métal.

Pour les éprouvettes polie-miroirs, la technique ITR accentue l'ensemble des irrégularités de surface (rayures, piqûres) et permet d'obtenir une vue d'ensemble, une cartographie de ces traces (fig. 233-240, p. 149-150). La technique s'est également révélée très efficace pour rendre compte des traces de polissage sur les éprouvettes. Il est possible de distinguer différents stades de polissage. Ces traces de polissage ne sont pas complètement atténuées et on les considère comme une « tolérance de polissage »⁹⁰. C'est l'éclairage combiné des prises de vue qui permet de révéler l'ensemble de ces traces technologiques et altérations que partiellement visibles sur une photographie en lumière rasante (fig. 53-54). Ces résultats ne sont pas surprenants. La technique ITR a déjà été utilisée pour caractériser les

⁹⁰ Entretien avec Tobias Schenkel, professeur HES, le 13 juin 2017

traces de façonnage et les altérations sur des daguerréotypes, une photographie sur une surface polie-miroir⁹¹.

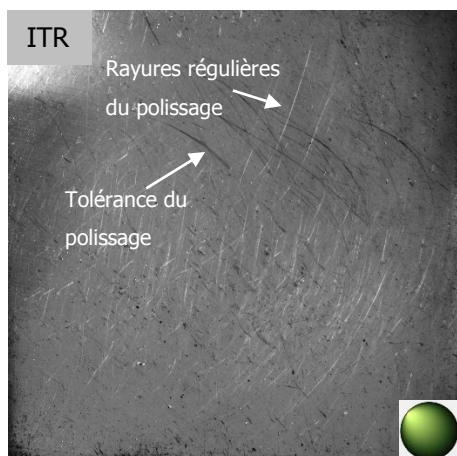


Figure 53 : éprouvette 14 (vernis A). Capture d'écran fichier ITR, mode Specular Enhancement, DCO_S75_HS20_x-0.72_y0.61.

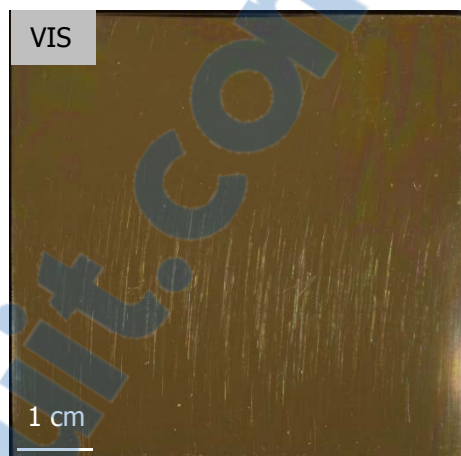


Figure 54 : éprouvette 14 (vernis A), photographie en lumière blanche prise à l'angle lumineux 30°.

La différence de couleur des rayures que l'on observe sur les clichés ITR (sombres et claires) est liée à l'angle lumineux⁹².

La fluorescence sous UV n'a mis en évidence aucune altération, ni trace d'usure.

⁹¹ Pagi *et al.* 2015, p. 18-20

⁹² En effet, si l'on varie l'angle lumineux avec le logiciel RTIViewer, la couleur des rayures change, voire disparaît.

5.5. Résultats sur les objets historiques

5.5.1. Horloge électrique à mouvement secondaire (no d'inventaire IV-1035)

5.5.1.1. Résultats

Tableau 6 : résultats sur l'horloge électrique à mouvement secondaire

Zone	Critère	Observations
Platine vernis orange	Critère 1 : Mise en évidence des modes d'application du vernis	ITR : Non observé (fig. 55, p. 41).
		UV : Traces de pinceau observées sur une plaquette métallique (fig. 57, p. 41).
		VIS : Non observé (fig. 56, p. 41).
	Critère 2 : Mise en évidence des paramètres du vernis (épaisseur, topographie de surface, etc.)	ITR : Non observé. Accentuation du relief des traces technologiques (chanfrein et sens du ponçage) (fig. 55, p. 41).
		UV : Autofluorescence du vernis dans les teintes orange-foncé. Répartition hétérogène du vernis : différence d'épaisseur visible sur la plaquette métallique. Accumulation du vernis sur un bord chanfreiné (fig. 57, p. 41).
		VIS : Non observé. On distingue que partiellement une différence de couleur sur le bord chanfreiné (fig. 56, p. 41).
	Critère 3 : Mise en évidence des traces de la surface, c'est-à-dire à la fois du vernis et du métal.	ITR : Différence d'aspect de surface entre la zone recouverte par le chanci et les zones intactes. Les traces technologiques ressortent. Microfissurations régulières en diagonale visibles (fig. 58, p. 42).
		UV : Absence d'autofluorescence orange sur les taches d'oxydation, les rayures et la corrosion filiforme (fig. 60, p. 42).
		VIS : Chanci du vernis visible avec un angle lumineux à 30°. Taches d'oxydation et corrosion filiforme (fig. 59, p. 42).
Platine vernis jaune (fig. 241-243, p. 151)	Critère 1 : Mise en évidence des modes d'application du vernis	ITR : Non observé
		UV : Non observé
		VIS : Non observé
	Critère 2 : Mise en évidence des paramètres du vernis (épaisseur, topographie de surface, etc.)	ITR : Non observé. Accentuation des traces technologiques.
		UV : Autofluorescence du vernis dans les teintes orange-clair. Répartition homogène.
		VIS : Non observé
	Critère 3 : Mise en évidence des traces de surface (vernis et/ou du métal).	ITR : Les rayures superficielles apparaissent d'un trait léger, alors que les altérations plus marquées (piqûres) sont légèrement accentués par le mode <i>Specular Enhancement</i> . Mise en évidence des traces d'usage.
		UV : Absence d'autofluorescence des zones altérées (piqûres). Voilage blanc sur la zone centrale.
		VIS : Résultat très proche du fichier ITR. On distingue l'empoussièrement de surface. Les rayures sont mieux discernables. Trace d'usage visible.

Pour la mise en évidence des paramètres et les modes d'application du vernis, la photographie en fluorescence UV reste la technique idéale. On observe une différence d'épaisseur du vernis sur le bord de la plaquette métallique (fig. 57). Cette accumulation est due à la présence d'un chanfrein⁹³. En observant cette zone avec le fichier ITR, ce n'est pas le relief du vernis que l'on voit mais celui du chanfrein (fig. 55). En y ajoutant les autres traces technologiques (sens du ponçage), l'identification d'une topographie de surface du vernis avec le fichier ITR reste impossible, et ce malgré son épaisseur (la plus importante de l'étude entre 8.2 et 18.6 µm).

Le chanci, caractérisé par une modification de l'aspect de surface et un blanchiment, est visible avec les trois techniques d'imagerie (fig. 58-60, p. 42). En supprimant la couleur RGB, la technique ITR permet de combiner les informations des traces d'usinage (dont des microfissurations régulières diagonales).

A la différence des éprouvettes, on distingue des altérations sous fluorescence UV (rayures du métal, taches d'oxydation et corrosion filiforme) pour les vernis jaune et le vernis orange. L'hypothèse serait que ces altérations sont donc apparues après l'application du vernis. Comme les éprouvettes vernies sont très récentes, les traces d'usure ne sont probablement pas assez marquées pour influencer la fluorescence UV.

Pour le vernis jaune, la technique ITR et la photographie en lumière blanche se complètent. Avec le fichier ITR, les piqûres sont bien mises en évidence. Mais comme pour les éprouvettes, les traces de façonnage masque quelques rayures, qui ressortent mieux en photographie standard (fig. 241-243, p. 151).

⁹³ Entretien avec Tobias Schenkel, professeur HES, le 13 juin 2017

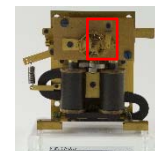
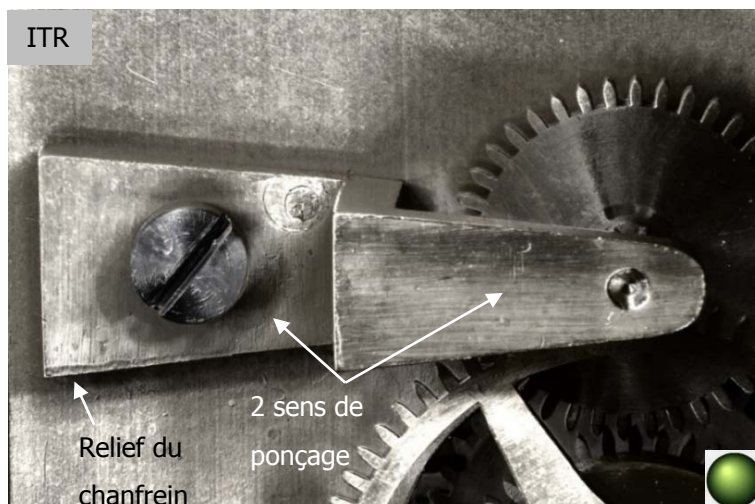


Figure 55 : détail plaquette métallique de l'horloge électrique à mouvement secondaire. Capture d'écran fichier ITR, mode Specular Enhancement, DC14_S47_HS35_x-0.30_y0.40

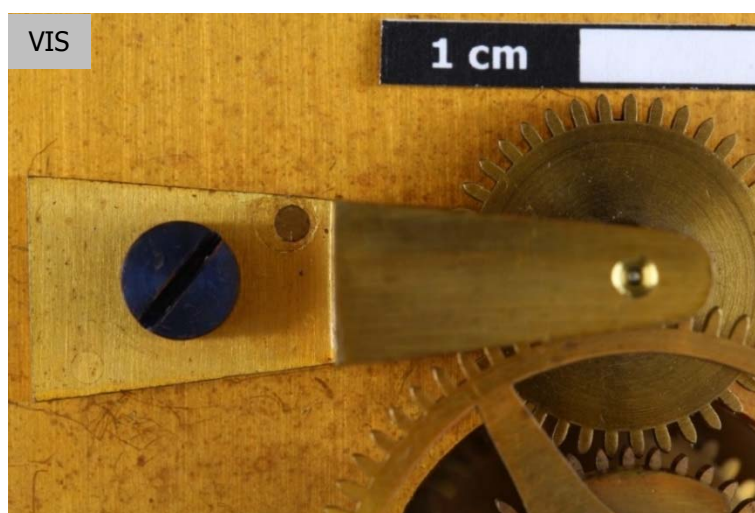


Figure 56 : détail plaquette métallique de l'horloge électrique à mouvement secondaire. Macrophotographie en lumière blanche prise à l'angle 45°.

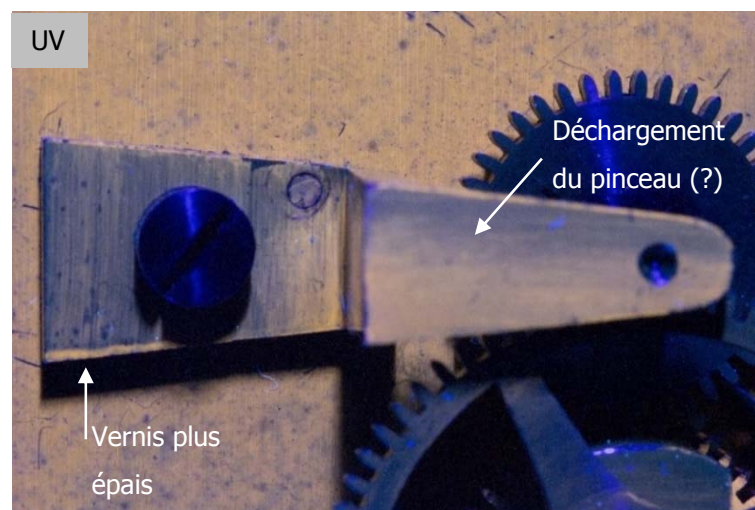


Figure 57 : détail plaquette métallique horloge électrique à mouvement secondaire. Macrophotographie sous fluorescence UV, sans filtre B+W 486 UV-IR. Autofluorescence plus foncée qu'avec le filtre B+W 486.

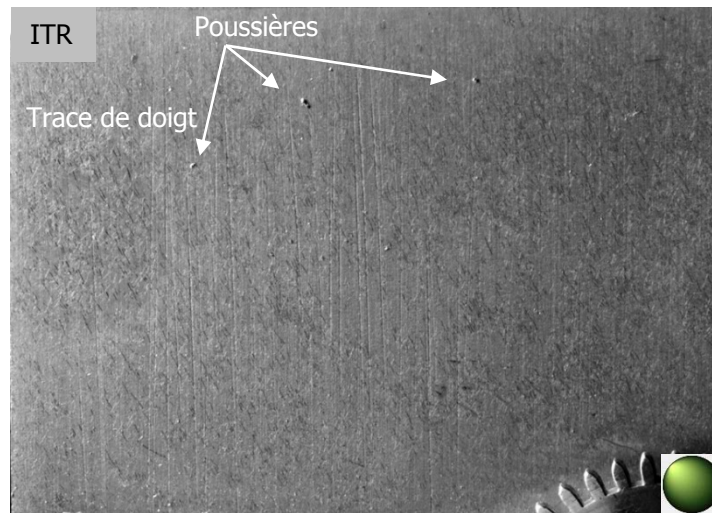


Figure 58 : Horloge à mouvement secondaire, platine orange, détail du chanci. Recouvert des microfissurations diagonales. Capture d'écran fichier ITR DC0_S41_HS25_x-0.69_y0.64



Figure 59 : Horloge à mouvement secondaire, platine orange, détail du chanci. Macrophotographie en lumière semi-rasante.

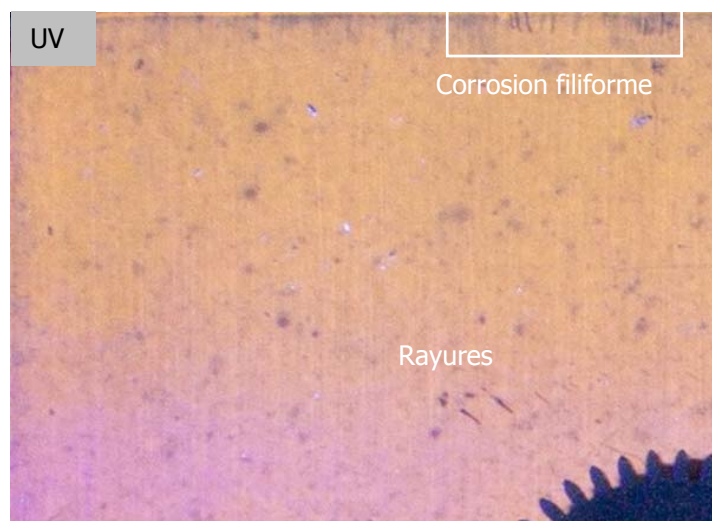


Figure 60 : Horloge à mouvement secondaire, platine orange, détail du chanci, fluorescence sous UV dans les teintes orangée. Rayures et taches d'oxydation bien visibles. Le trait violacé correspond à la réflexion de la lampe UV.

5.5.2. Frise (no d'inventaire IV-957)

5.5.2.1. Résultats

Tableau 7 : résultats sur la frise

Zone	Critère	Observations
Avers	Critère 1 : Mise en évidence des modes d'application du vernis	ITR : Non observé (fig. 244, p. 152)
		UV : Non observé (fig. 132, p. 91)
		VIS : Non observé (fig. 245, p. 152)
	Critère 2 : Mise en évidence des paramètres du vernis (épaisseur, topographie de surface, etc.)	ITR : Non observé. Accentuation des reliefs des ciselures et de traces de fabrication (fig. 244, p. 152)
		UV : Non observé. Il y a une absence d'autofluorescence du colorant, l'alizarine (fig. 132, p. 91)
		VIS : Non observé (fig. 245, p. 152)
	Critère 3 : Mise en évidence des traces de surface (verniss et/ou du métal).	ITR : Avec le mode <i>Specular Enhancement</i> , l'accentuation du relief révèle des trous à l'extrémité de l'avvers (fig. 246, p. 153).
		UV : Non observé (fig. 132, p. 91)
		VIS : Coloration brunâtre de la surface et séries de points noirs à la surface (fig. 247, p. 153).
Revers	Critère 1 : Mise en évidence des modes d'application du vernis (fig. 61-63, p. 45)	ITR : Non observé
		UV : Non observé
		VIS : Non observé
	Critère 2 : Mise en évidence des paramètres du vernis (épaisseur, topographie de surface, etc.)	ITR : Non observé. Irrégularités des reliefs de la surface du métal accentués (fig. 61, p. 45).
		UV : Sous fluorescence sous UV, autofluorescence orange de la zone recouverte par une substance brune-orange. Des résidus de couleur brun-marron autofluorescent en blanc (fig. 63, p. 45).
		VIS : Non observé. Irrégularités des reliefs de la surface du métal accentuées (fig. 62, p. 45).
	Critère 3 : Mise en évidence des traces de surface (verniss et/ou du métal)	ITR : Accentuation des traces technologiques (images et impuretés de l'alliage) (fig. 61, p. 45).
		UV : Absence d'autofluorescence orange de la substance brune lacunaire (fig. 63, p. 45). Encrassement de surface visible (autofluorescence plus mate) (fig. 250, p. 154).
		VIS : Substance brune lacunaire (fig. 62, p. 45) et encrassement de surface visibles (fig. 249, p. 154).

La technique ITR ne permet pas de mettre en évidence un revêtement sur l'avvers. Seul élément d'un bronze d'ameublement de l'étude, la surface complexe et fortement irrégulière ne permet pas à la technique de caractériser un vernis. Elle fait ressortir les reliefs et contrastes des détails ciselés (fig. 244, p. 152) (mat sablé). Au revers, la technique ITR accentue les traces de façonnage (les stries du limage et reliefs des impuretés dans l'alliage) (fig. 61, p. 45). Les stries du limage, une reprise de la fonte pour l'ajuster en vue du montage, empêchent l'identification d'un mode d'application.

La fluorescence sous UV ne permet pas de mettre en évidence la présence d'un vernis sur l'avvers alors que les résultats IRTF indiquent la présence d'une substance colorée, l'alizarine. Cette absence d'autofluorescence peut avoir plusieurs raisons : l'alizarine est un colorant qui ne fluoresce pas sous UV⁹⁴. De plus, il peut s'agir d'un mélange colorant-solvant, sans l'emploi d'un liant⁹⁵.

En revanche, sur le revers, la couleur de la substance brune-orange, qui recouvre l'ensemble de la surface, oriente l'interprétation vers l'application d'un vernis épargne d'une dorure. Ce vernis, à base de gomme-laque et d'alcool, délimite les surfaces à dorer et évite à la dorure de se répandre de façon irrégulière et permet d'économiser l'or. L'autofluorescence orange sous UV, caractéristique de la gomme laque⁹⁶, vient appuyer cette hypothèse (fig. 63, p. 45)⁹⁷. L'ensemble de ces informations oriente l'interprétation vers une patine intentionnelle de la dorure réalisée à l'aide d'un colorant. L'aspect brunâtre observé sur l'avvers, bien visible en photographie standard (fig. 247, p. 153), serait donc lié à une patine teintée et non au ternissement.

Pour les traces de surface, en se concentrant sur l'extrémité droite de l'avvers (fig. 246-247, p. 153), on observe en photographie standard quelques points noirs. Le fichier ITR révèle qu'il s'agit de trous, de l'ordre du demi-millimètre, probablement un défaut de fonte. L'extraction de la couleur par le logiciel interactif facilite ces observations. La fluorescence sous UV met en évidence toutes les lacunes du vernis épargne (fig. 63, p. 45), également visible en photographie en lumière blanche (fig. 62, p. 45).

⁹⁴ Perego, 2005, p. 39 ; FitzHugh (ed.), 2012, p. 124

⁹⁵ Echange par e-mail avec Julie Schröter, responsable des projets VAAC et LacCa, le 10 juillet 2017.

⁹⁶ Umney and Rivers, 2003, p. 744. La gomme laque fluoresce dans les teintures orange sous UVA.

⁹⁷ Arminjon et Bilimoff, 1998, p. 279

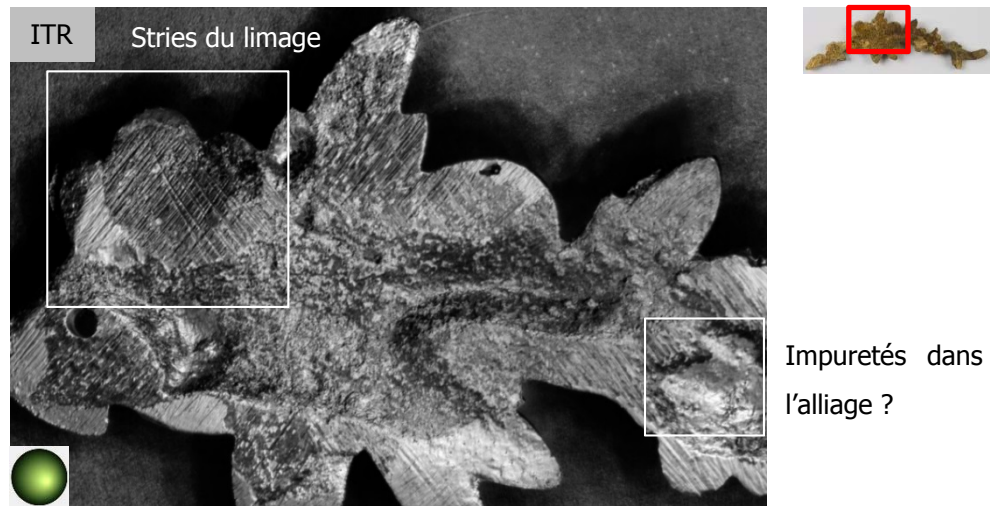


Figure 61 : Accentuation des reliefs du verso de la frise. Capture d'écran fichier ITR, mode Specular Enhancement, DC0_S28_HS26_x0.28_y-0.14



Figure 62 : Détail du revers de la frise. Macrophotographie en lumière blanche, angle lumineux 45°.

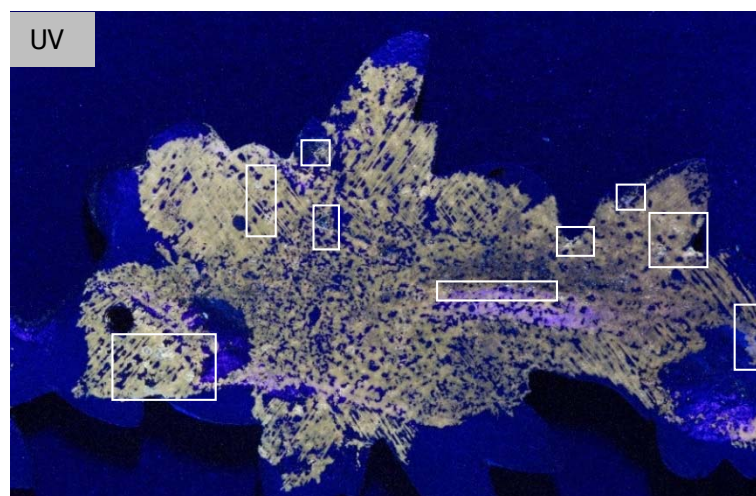


Figure 63 : Détail du revers de la frise. Photographie sous fluorescence UV. Autofluorescence orangée pour le vernis épargné. Des résidus de couleur brun-marron avec une autofluorescence blanche.

5.5.3. Pendulette de voyage

5.5.3.1. Résultats

Tableau 8 : résultats sur la pendulette de voyage

Zone	Critère	Observations
Clé de remontage (fig. 64-66, p. 47)	Critère 1 : Mise en évidence des modes d'application du vernis	ITR : Non observé
		UV : Autofluorescence du vernis dans les teintes froides bleu-vert. Pas de traces du mode d'application. Homogénéité de la surface
		VIS : Non observé
	Critère 2 : Mise en évidence des paramètres du vernis (épaisseur, topographie de surface, etc.)	ITR : Non observé
		UV : Pas de différence d'épaisseur du vernis observée
		VIS : Non observé
	Critère 3 : Mise en évidence des traces de surface (vernis et/ou du métal).	ITR : On distingue une différence de relief entre la surface où le vernis est encore préservé de la zone altérée. Cette dernière présente une rugosité de surface accentuée par le mode <i>Specular Enhancement</i> .
		UV : Possibilité de distinguer les zones où le vernis est encore intact (autofluorescence dans les teintes froides), des zones altérées (pas d'autofluorescence).
		VIS : La macrophotographie détaille les altérations de formes circulaires présentes au bout de l'anneau de la clé.
Partie supérieure de l'horloge (fig. 251-253, p. 155)	Critère 1 : Mise en évidence des modes d'application du vernis	ITR : Non observé
		UV : Autofluorescence du vernis dans les teintes froides. Pas de traces du mode d'application
		VIS : Non observé
	Critère 2 : Mise en évidence des paramètres du vernis (épaisseur, topographie de surface, etc.)	ITR : Non observé
		UV : Pas de différence d'épaisseur du vernis observée
		VIS : Non observé
	Critère 3 : Mise en évidence des traces de surface (vernis et/ou du métal).	ITR : Avec le mode <i>Specular Enhancement</i> , mise en évidence de l'empoussièrement sur l'ensemble de la surface et des rayures.
		UV : Les résidus de la mousse polyuréthane fluorescent dans une teinte grisâtre.
		VIS : Résultat proche de ceux obtenus avec le fichier ITR. On perçoit moins l'empoussièrement généralisé de la surface.

La photographie sous UV est la seule technique qui permet d'identifier la présence du vernis. L'absence de traces des modes d'application ou de différence d'épaisseur peut s'expliquer par une probable application industrielle. En raison de la surface extrêmement lisse et de la fine épaisseur du vernis⁹⁸, la technique ITR est inadaptée.

Pour les hétérogénéités de surface, les trois techniques d'imagerie sont complémentaires. La photographie en fluorescence UV (fig. 66) reste la seule méthode qui identifie qualitativement l'altération d'un vernis. On visualise sur le fichier ITR et la photographie standard des zones altérées, sans pouvoir avancer que la couche du vernis est partie : le fichier ITR rend compte des différences de relief entre la surface vernie et la surface altérée (fig. 64) et la macrophotographie détaille les altérations de forme circulaire (fig. 65). Ces dernières, causées probablement par une réaction chimique entre le vernis à base de polyester et la mousse de polyuréthane, ne sont pas différenciées avec le fichier ITR. Ces résultats sont directement liés aux conditions de prises de vue. Pour la macrophotographie, la clé était légèrement inclinée afin de révéler ces détails circulaires. Pour les images ITR, la clé était posée à plat.

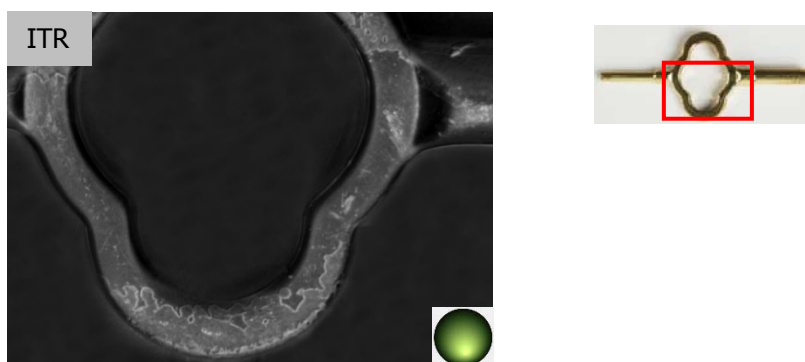


Figure 64 : Détail de l'anneau de la clé de remontage. Capture d'écran fichier ITR, mode *Specular Enhancement*, DC0_S21_HS1_x0.11_y-0.54



Figure 65 : Détail anneau de la clé de remontage. Macrophotographie en lumière blanche, angle lumineux 45°.

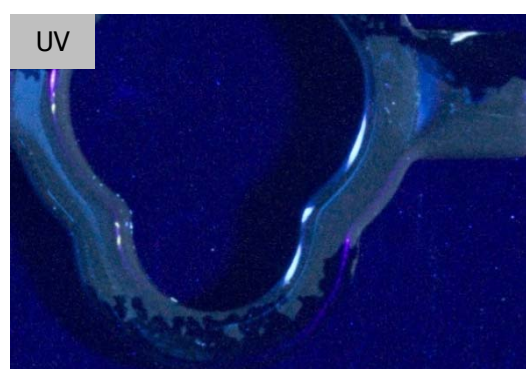


Figure 66 : Détail anneau de la clé de remontage. Photographie sous fluorescence UV. Autofluorescence vernis intact dans les teintes froides bleu-vert. Absence d'autofluorescence du vernis altéré.

Le fichier ITR (fig. 251, p. 155) effectué sur la partie supérieure présentait un aspect de surface en bon état. Il n'est ainsi pas surprenant de constater que le mode *Specular Enhancement* n'apporte pas

⁹⁸ Les mesures de courant Foucault varient entre 1.4 et 7.3 μm .

d'information de surface complémentaire. On obtient l'ensemble des informations avec une simple photographie en lumière blanche (fig. 252, p. 155).

Chapitre 6 : Discussion des résultats

Tableau 9 : tableau récapitulatif des techniques d'imagerie

Techniques Critères	Imagerie par la transformation de la réflectance (ITR)	Photographie sous fluorescence UV	Photographie standard en lumière blanche
Mise en évidence du vernis (mode d'application) Mise en évidence des paramètres du vernis (topographie, épaisseur)	Technique d'imagerie inadaptée. Elle accentue principalement les détails technologiques du métal, rendant impossible l'identification et la caractérisation d'un vernis à la surface.	Technique d'imagerie la plus adéquate à condition d'une autofluorescence du vernis. On peut confirmer la présence d'un vernis et déterminer l'homogénéité de l'application de la couche de vernis. Les paramètres du vernis (épaisseur) sont possibles, même quand le vernis est extrêmement fin.	Technique inadaptée.
Mise en évidence des traces de surface	Techniques d'imagerie avec le meilleur rendu pour les traces d'usinage et de façonnage. Concernant les altérations de surface du métal, elle est très efficace sur les finitions de surface polie-miroirs.	Technique permettant de visualiser qualitativement les altérations du vernis sur un métal (rayures, oxydation, absence de vernis).	Efficace pour caractériser les altérations du métal sur les finitions de surface satinées en macrophotographie. Le contraste est meilleur que le rendu avec la technique ITR, cette dernière accentuant le satinage de surface.

Trois tendances principales ressortent :

- La technique la plus simple pour identifier la présence d'un vernis et les altérations d'un vernis reste la photographie sous fluorescence UV.
- La technique ITR ne permet pas d'identifier et de caractériser les vernis sur les alliages cuivreux.
- La photographie en zoom standard en lumière blanche enregistre la couleur de la surface métallique vernie.

Avec la photographie sous fluorescence UV, nous avons obtenus quelques résultats intéressants : il y a une différence d'autofluorescence d'un même vernis en fonction du degré de finition mécanique du

même alliage. Ce résultat démontre bien que les ultraviolets fournissent une information binaire (présence d'un vernis ou non) mais non-qualitative. Les modes d'application artisanaux sont rapidement identifiés, avec un déchargement progressif du pinceau. Cependant, nous devons prendre en compte les mêmes limites qu'énumérées lors de la problématique : cette méthode d'imagerie est dépendante de l'autofluorescence du vernis (des éprouvettes vernies ont présentés peu ou pas d'autofluorescence).

Nous avons pu observer que les vernis sur alliages cuivreux ne peuvent être différenciés par leur topographie de surface avec la technique ITR. La principale raison étant que le relief du métal sous-jacent prédomine : les traces caractéristiques de fabrication ou d'usure du métal sont amplifiées par la méthode, sans être gêné par le vernis. Les résultats mitigés sur les surfaces satinées sont dues à l'orientation répétitive des rayures parallèles du satinage. La technique ITR va accentuer ces reliefs.

Nous avons été plus surpris par les résultats sur les surfaces polie-miroirs. De par la surface très lisse et « sans défaut » du métal, nous pouvions nous attendre que le relief du vernis soit le plus irrégulier. Il en ressort que la technique met en avant les irrégularités de la surface métallique.

L'imagerie par la transformation de la réflectance est ainsi une méthode d'imagerie inadaptée pour l'identification de vernis sur alliages cuivreux en raison de plusieurs paramètres : la transparence du vernis, les faibles épaisseurs du vernis (entre 1.2 et 18.9 μm) et un relief de surface du vernis très peu marqué (confirmé par l'application sur les lames de verre).

La photographie standard en lumière blanche est la seule technique d'imagerie de la sélection en zoom standard à représenter la couleur de la surface métallique vernie telle qu'on la perçoit à l'œil nu. En raison de zones surexposées, des halos lumineux et des ombres, ces informations ne sont que partiellement obtenues avec un fichier ITR.

Chapitre 7 : Bilan critique

7.1. Atouts et limites de l'imagerie par la transformation de la réflectance (ITR)

Technique accessible et peu coûteuse, l'ITR permet d'obtenir, à partir de simples images et un éclairage traditionnel photographique, un fichier interactif de haute résolution. Un seul fichier contient potentiellement des centaines d'images créées par le logiciel. On peut ainsi parler d'une méthode idéalisée. Méthode non-invasive, qualitative et sans contact avec l'objet, elle limite la manipulation de l'objet pour l'étude et fige l'état de surface d'un objet dans le temps. C'est un outil de conservation et de documentation très intéressant pour l'examen diagnostique. Avec la capacité de modifier interactivement l'angle d'éclairage, le conservateur-restaurateur peut voir les détails difficiles à photographier. C'est presque comme avoir l'objet entre les mains, où en modifiant les angles lumineux, on révèle les détails de sa structure et de sa fabrication.

Au premier abord, la technique se rapproche de la lumière rasante. Cependant, avec le fichier ITR et l'interactivité du logiciel, il est possible de parcourir toute la surface d'un objet. L'image de synthèse peut être manipulée sur un éclairage 360° pour mettre en évidence la texture de surface,

indépendamment de l'intention du chercheur ou des directions d'éclairages utilisées lors de la prise de vue.

Pour obtenir de tels résultats, la technique est tributaire de plusieurs paramètres. Comme nous avons pu le voir dans nos résultats, ils sont différents en fonction des finitions de surface métalliques ou de la forme géométrique de l'objet. La réflexion de la surface métallique est actuellement un des problèmes ITR avec la méthode original PTM, avec des fichiers rendus illisibles par des zones assombries ou surexposées. L'ITR est idéale pour les surfaces planes comme des éprouvettes, nous avons été vite confrontés aux difficultés des objets en 3 dimensions, notamment les objets scientifiques et d'horlogerie. Avec plus de cinquante photos prises sous différents angles lumineux, il y a des zones assombries par les roues d'engrenages et des zones surexposées par le flash. La lecture du fichier ITR y est rendue plus difficile car on ne peut pas se fier aux couleurs proposées par le logiciel. La plus grande limite reste les objets cylindriques polie-miroirs, avec aucun résultat exploitable.

D'autres limites sont à prendre en compte : les données sont non-quantitatives et les informations visuelles en relief recouvertes par des matériaux ne sont pas enregistrées⁹⁹. Il est impossible d'intégrer une vue ITR dans un document ou une publication, sauf si elle est en format électronique. Seules des captures d'écran de faible résolution sont proposées. Enfin, vient la question de l'archivage des données. Nous ne connaissons pas encore la pérennité des formats .rti (HSH fitter) ou .ptm (PTM fitter) du logiciel RTIViewer.

7.2. Limites de l'étude

Premièrement, toute interprétation d'une image a une part de subjectivité. Les perceptions des couleurs et de surface changent entre les individus. Il convient également de prendre en compte l'aspect technique : la couleur sous UV peut différer selon les filtres UV utilisés.

Plusieurs aspects de ce travail peuvent être améliorés, notamment adapter la méthodologie ITR mise en place. Il serait intéressant de tester d'autres sources lumineuses (fibre optique) ou de trouver une alternative au basculement de l'appareil photographique. Aussi, nous estimons qu'il conviendrait de tester d'autres réglages du flash pour limiter au maximum le phénomène des halos lumineux.

Nous avons travaillé avec des vernis frais non vieillis qui présentent moins de groupements chromophores* que les vernis anciens. Ainsi, il est possible qu'ils soient moins fluorescents que les vernis anciens¹⁰⁰. Pour les vernis A et B, ils seraient intéressant d'augmenter le temps de pose de l'appareil photographique.

La technique ITR est avant tout un fichier interactif. On peut difficilement rendre compte de cette interactivité à travers de simples captures d'écran telles que présentées dans ce document. Ces captures

⁹⁹ Duffy, 2013, p. 4

¹⁰⁰ Echange par e-mail avec Julie Schröter, responsable des projets VAAC et LacCa, le 10 juillet 2017.

d'écran représentent d'ailleurs une perte de résolution (500 ko contre 4 Mo pour les photos de haute résolution UV et en lumière blanche)¹⁰¹.

7.3. Gestion du projet

La construction du dispositif a été chronophage. Nous avons passé trop de temps à vouloir résoudre le problème de stabilité du dispositif à plateau tournant en sous-estimant les aspects ergonomiques et mécaniques. La construction d'un dôme ITR reste la solution idéale en cas d'intérêt pour la technique ITR. Dans cette optique, une collaboration avec l'ingénierie serait intéressante et enrichissante.

Enfin, nous avons minimisé le temps nécessaire à la mise en place d'une méthodologie et l'apprentissage de nouveaux logiciels. Pour le temps imparti, nous estimons ne pas avoir acquis toute l'expérience pour pleinement utiliser le logiciel RTIViewer et ses modes de visionnement interactifs.

¹⁰¹ Vous avez à disposition tous les fichiers .rti de l'étude sur le serveur M:\

Conclusion générale

Le but principal du travail était d'étudier la pertinence de l'utilisation de l'imagerie par la transformation de la réflectance pour l'identification et la caractérisation des vernis sur alliages cuivreux par l'étude, de douze éprouvettes en laiton satinées et polie-miroirs ainsi que trois objets patrimoniaux. Cette étude de faisabilité se déroulait en deux phases principales. La première consistait à adapter la méthodologie de l'imagerie par la transformation de la réflectance aux problèmes des surfaces métalliques brillantes. Après avoir construit un dispositif à plateau stationnaire autour duquel tourne un bras gradué, nous avons été en mesure d'obtenir des résultats exploitables sur l'ensemble de nos objets, à l'exception des éprouvettes cylindriques polie-miroirs. Malgré les difficultés rencontrées avec les surfaces polie-miroirs et les objets scientifiques (ombres et halos lumineux), nous avons pu effectuer la seconde phase, une étude comparative de la méthode d'imagerie ITR avec deux techniques d'imagerie fréquemment utilisées en conservation-restauration : la photographie sous fluorescence UV et la photographie standard en lumière blanche. Au vu des résultats, nous arrivons à la conclusion que la technique ITR n'est pas adaptée pour l'identification et la caractérisation des vernis anciens sur alliages cuivreux, du moins avec les paramètres de prises de vue sélectionnés. Comme l'imagerie par la transformation de la réflectance a pour principale fonction d'enregistrer les particularités de reliefs et d'améliorer le contraste de la surface, la méthode fait ressortir ici prioritairement les traces de façonnage, les traces d'usure et les altérations du métal, ce qui en fait une technique très utile pour déterminer l'état de surface du métal, sans être gênée par la présence d'un vernis. Pour l'identification des vernis sur alliages cuivreux, c'est avec la photographie sous fluorescence UV que nous obtenons les résultats les plus pertinents, à condition que le vernis autofluoresce. Nous avons constaté que l'autofluorescence d'un même vernis est influencée par la finition de surface du métal de par la réflexion de la lumière. Avec l'ensemble de ces résultats, nous avons ainsi été confrontés directement aux difficultés rencontrés par le conservateur-restauteur pour l'identification des vernis en vue d'un choix du projet d'intervention de restauration. Nous pensons que des perspectives futures sont à approfondir, notamment l'imagerie par la transformation de la réflectance en microscopie (micro-ITR) et sous fluorescence ultraviolet. La micro-ITR peut éventuellement être une solution pour caractériser la topographie des vernis. Il serait intéressant de faire un essai sur le vernis C, le plus épais et le plus chargé en colorants de notre étude. Utiliser l'ITR et la fluorescence sous UV permettrait à la fois de combiner l'autofluorescence des vernis et les détails de surface. Enfin, nous avons travaillé avec des vernis frais non vieillis. Il serait particulièrement intéressant de les vieillir artificiellement et d'observer d'éventuelles différences au niveau de l'autofluorescence. Sur le plan personnel, mener à terme un travail de recherche, avec les difficultés organisationnelles et inhérentes à ce genre d'étude, a été fort instructif. Nous pouvons faire les liens avec les cours théoriques, les cours pratiques et la pratique professionnelle enseignés durant la formation Bachelor. Même si cette étude ne s'est finalement pas révélée en faveur de l'utilisation de l'imagerie par transformation de la réflectance, nous espérons qu'elle sera développée et/ou à améliorer pour l'étude des métaux.

Références bibliographiques

- Arminjon et Bilimoff, 1998** : Arminjon, Catherine et Bilimoff, Michèle. *L'art du métal : vocabulaire technique*. Editions du Patrimoine, 1998, Paris.
- Artal-Isbrand et Klausmeyer, 2013** : Artal-Isbrand, Paula et Klausmeyer, Philip. « Evaluation of the relief line and the contour line on Greek red-figure vases using reflectance transformation imaging and three-dimensional laser scanning confocal microscopy ». *Studies in Conservation*, Volume 58, n° 4, 2013, p. 338-359.
- Bergeron et Naud, 2016** : « L'humidité relative et la température ». In *Centre de conservation du Québec* [En ligne]. Gouvernement du Québec, date de mise à jour 16 juin 2016. [Consulté le 27 juin 2017]. <http://www.ccq.gouv.qc.ca/index.php?id=171>
- Berner, 1988** : Berner, G.-A. *Dictionnaire professionnel illustré de l'horlogerie*. Chambre suisse de l'Horlogerie, La Chaux-de-Fonds, 1988.
- Bigras, Choquette et Powell, 2010** : Bigras, Carl, Choquette, Mylène et Powell, Jeremy. *Techniques d'éclairage pour la photographie des objets de musée*. ICC, Ottawa, 2010.
- Bonnet, 2004 [En ligne]** : Bonnet, Gabrielle. "La couleur". In *Culture sciences physique* [En ligne]. 26/02/2004. Culture sciences physique, 2004. [Consulté le 30 juin 2017]. <http://culturesciencesphysique.ens-lyon.fr/ressource/Couleur.xml>
- Brown, 1900** : Brown, W.N. *The Principles and Practice of Dipping, Burnishing, Lacquering and Bronzing Brass*. Scott, Greenwood & Sons, London, 1900.
- Chokron, 2015 [En ligne]** : Chokron, David. « Finitions : satinage, à traits tirés ». In *WorldTempus* [En ligne]. Mis en ligne le 16 mars 2015. [Consulté le 9 juillet 2017] <http://fr.worldtempus.com/article/montres/innovation-et-technique/finitions-satinage--a-traits-tires-18846.html>
- Cosentino, 2013** : Cosentino, Antonino. "Macro photography for reflectance transformation imaging : a practical guide to the highlights method". *e-conservation Journal*, 1, 2013, p. 71-85.
- Cultural Heritage Imaging Forums, 2012 [En ligne]** : CHI Forums. "HSH or PTM : how to choose the best fitter". In *Cultural Heritage Imaging Forums* [En ligne]. Cultural Heritage Imaging, 2012 [consulté le 27 juin 2017]. <http://forums.culturalheritageimaging.org/index.php?/topic/190-hsh-or-ptm-how-to-choose-the-best-fitter/?hl=%2Bptm+%2Bhsh>
- Cultural Heritage Imaging Forums, 2016 [En ligne]** : CHI Forums. "Lens movement". In *Cultural Heritage Imaging Forums* [En ligne]. Cultural Heritage Imaging, 2016 [consulté le 15 mai 2017]. <http://forums.culturalheritageimaging.org/index.php?/topic/463-lens-movement/>

- Cultural Heritage Imaging, 2014 [En ligne]** : Cultural Heritage Imaging. *Reflectance transformation imaging : Glossary of photographic and technical terms for RTI*. In Cultural Heritage Imaging [En ligne]. Cultural Heritage Imaging, 2014 [consulté le 15 juin 2017].
- Cultural Heritage Imaging, 2013a [En ligne]** : Cultural Heritage Imaging. *Reflectance transformation imaging : Guide to Highlight Image Capture*. In Cultural Heritage Imaging [En ligne]. Cultural Heritage Imaging, 2013 [consulté le 26 avril 2017].
- Cultural Heritage Imaging, 2011 [En ligne]** : Cultural Heritage Imaging. *Reflectance transformation imaging : Guide to Highlight Image Processing*. In Cultural Heritage Imaging [En ligne]. Cultural Heritage Imaging, 2011 [consulté le 5 mai 2017].
- Cultural Heritage Imaging, 2013b [En ligne]** : Cultural Heritage Imaging. *Reflectance transformation imaging : Guide to RTI Viewer*. In Cultural Heritage Imaging [En ligne]. Cultural Heritage Imaging, 2013 [consulté le 27 juin 2017].
- Cultural Heritage Imaging, 2017 [En ligne]** : Cultural Heritage Imaging. « Reflectance Transformation Imaging (RTI) ». In *Cultural Heritage Imaging* [En ligne]. Cultural Heritage Imaging, 2015 [consulté le 15 juin 2017]. <http://culturalheritageimaging.org/Technologies/RTI/>
- David-Testanière, 2012** : David-Testanière, Benjamin. *Photographier en macro*. Pearson, Montreuil, 2012.
- *Degrigny, Jeanneret et Rapp, 2016** : Degrigny, Christian, Jeanneret, Romain et Rapp, Guillaume. *Approche pluridisciplinaire intégrée pour l'étude et la conservation de la collection d'objets de l'Observatoire chronométrique de Neuchâtel, Suisse : Projet OBS, rapport final*. Unité de recherche en conservation-restauration Haute-Ecole Arc, Neuchâtel, 2016.
- Diaz-Pedregal, 2009** : Diaz-Pedregal, Pierre. *Climat des magasins d'archives : objectifs, moyens, méthodes. Petit manuel de climatologie appliquée à la conception des bâtiments d'archives*. [En ligne]. Direction des Archives de France, [Paris], 2009. [Consulté le 13.07.2017]. <http://www.archivesdefrance.culture.gouv.fr/static/3335>
- Drew et al., 2012** : Drew, Mark S. et al. "Robust Estimation of Surface Properties and Interpolation of Shadow/Specularity Components". *Journal Image and Vision Computing*, vol. 30, 4/5, May 2012.
- Duffy, 2013** : Duffy, Sarah. *Multi-light imaging for heritage applications*. English Heritage, Swindon, 2013.
- Earl, et al., 2011** : Earl, Graeme et al. « Reflectance transformation imaging systems for ancient documentary artefacts ». In *Proceeding EVA'11 Proceedings of the 2011 international conference on Electronic Visualisation and the Arts*. British Computer Society Swinton, 2011, p. 147-154

- FitzHugh West (ed.), 2012** : FitzHugh West, Elisabeth. *Artists' Pigments : a Handbook of their History and Characteristics, volume 3*. National Gallery of Arts, Washington ; Archetype Publications, London, 2012.
- Frey, et al., 2008** : Frey Franziska et al. *The AIC guide to digital photography and conservation documentation*. American Institute for Conservation of Historic and Artistic works, Washington, 2008.
- Gabov et Bevan, 2011 [En ligne]** : Gabov, Alexander et Bevan, George. « Recording the Weathering of Outdoor Stone Monuments Using Reflectance Transformation Imaging (RTI): The Case of the Guild of All Arts (Scarborough, Ontario) ». *Journal de l'Association canadienne pour la conservation et la restauration, J.ACCR*, vol. 36, 2011, p. 3-14.
- Illes, 2004** : Illes, Véronique et Derion, Brigitte. *Guide de manipulation des collections*. Somogy, Paris, 2004
- Jeanneret, 2010** : Jeanneret, Romain. *Approche pluridisciplinaire pour le traitement conservation-restauration d'un quart de cercle mural du 18ème siècle du musée des Confluences de Lyon*. [HE-Arc, Neuchâtel], 2010, non publié.
- Kilchhofer, 2009** : Kilchhofer, Matthias. *Glänzende Oberflächen : Historische Techniken zur Glanzerzeugung mit besonderer Berücksichtigung von Architekturoberflächen*. ETH Zürich, Institut für Denkmalpflege und Bauforschung, Zürich, 2009. Masterarbeit im Studiengang Conservation Science. Non publié
- Londe, 1893** : Lond, Albert. *Aide-mémoire pratique de photographie*. Libraire J.-B. Baillière et Fils, Paris, 1893.
- Long, 2000** : Long, Deborah. "The treatment of false gilding: a case study". In *Gilded Metals : history, technology and conservation*. Archetype, London, 2000, p. 319-327.
- MacDonald and Robson, 2010** : MacDonald, Lindsay and Robson, Sutart. "Polynomial Texture Mapping and 3D Representations". *International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Vol. XXXVIII, Part 5 Commission V Symposium, Newcastle upon Tyne, 2010, p. 422-427.
- Malzbender et al., 2001 [En ligne]** : Malzbender, Tom et al., 2001. « Polynomial Texture Mapping (PTM) ». In *HP* [En ligne]. Hewlett-Packard Development Company, L.P., 2009 [consulté le 14 mars 2017]. <http://www.hpl.hp.com/research/ptm/papers/ptm.pdf>
- Massenz, 1927** : Massenz, Arturo. *Finitura dei metalli : preservazione, colorazione e verniciatura delle superfici metalliche lavorate*. Ulrico Hoepli, Milano, 1927.
- Pagi, et al., 2015** : Pagi, Hembo et al. "Re-illuminating the past : introduction to Reflectance transformation imaging". *Daguerreotype Journal*, Spring issue no 2, 2015, p. 14-22.

- Pawlowicz, 2015 [En ligne]** ; Pawlowicz, Leszek. « Creating a portable Dome-RTI system for imaging lithics ». In *Cultural Heritage Imaging* [En ligne]. Cultural Heritage Imaging, 2015 [consulté le 15 juin 2017]. <https://culturalheritageimaging.wordpress.com/2015/05/26/creating-a-portable-dome-rti-system-for-imaging-lithics/>
- Perego, 2005** : Perego, François. *Dictionnaire des matériaux du peintre*. Belin, Paris, 2005.
- Petit et Valot, 1991** : Petit, Jean et Valot, Henri. *Glossaire des peintures et vernis des substances naturelles et des matériaux synthétiques*. Sfiic ; ARAAFU ; IFROA, Paris, 1991.
- *Photography StackExchange, 2013 [En ligne]** : « What could cause severe under exposure when using a Canon 5D Mark III with Speedlite 600EX-RT with evaluative E-TTL2 metering”. In *Photography StackExchange* [En ligne]. Stack Exchange Inc., 2013. [Consulté le 1 juin 2017] <https://photo.stackexchange.com/questions/34698/what-could-cause-severe-under-exposure-when-using-a-canon-5d-mark-iii-with-speed>
- Pinna et al.** : Pinna, Daniela et al. *Scientific Examination for the Investigation of Paintings : a handbook for the conservator-restorer*. Centro Di, Firenze, 2009.
- Piquette et Crowther, 2011 [En ligne]** : Piquette, Kathryn E. and Crowther, Charles. *Developing a Reflectance Transformation Imaging (RTI) system for inscription documentation in museum collections and the field*. University of Oxford, 2011.
- Porter, 2016** : Porter, Samantha Thi. “A Portable, Low Cost, OpenDesign Rig for Reflectance Transformation Imaging”. In *Data Repository for the University of Minnesota* [En ligne]. University of Minnesota Library, mis en ligne le 2 août 2016 [Consulté le 16 avril 2017]. <https://conservancy.umn.edu/handle/11299/181539>
- *Porter et al., 2016** : “Portable and low-cost solutions to the imaging of Paleolithic art objects : a comparison of photogrammetry and reflectance transformation imaging”. *Journal of Archaeological Science : Reports*, 10, 2016, p. 859-863.
- Regert et Guerra, 2015** : Regert, Martine et Guerra Maria Filomena. *Physico-chimie des matériaux archéologiques et culturels*. Editions des archives contemporaines, Paris, 2015.
- Roseleur, 1873** : Roseleur, Alfred. *Manipulations hydroplastiques : guide pratique du doreur, de l'argenteur et du galvanoplaste*. Chez M. de Plazanet, Paris, 1873.
- Roux, 2012** : Roux, Ivan. *Le guide pratique objectifs photo reflex*. Eyrolles, Paris, 2012.
- Schröter, 2016** : Schröter, Julie. *LacCa (Lacquered Copper Alloy) : étude et methods d'identification des vernis historiques sur alliages de cuivre*. [Unité de recherche en conservation-restauration Haute-Ecole Arc], [Neuchâtel], 2016. *Non publié*.

Schröter, 2017 : Schröter, Julie. "Studying historical varnishes on brass with focus on 19th century objects : the contribution of ancient recipes". *Forschungskonferenz WerkStattWissen, Materialtechnologie in Quellenschriften und Werkstattpraxis*, 01.06.2017, non publié.

Schraven, 2003 [En ligne] : Schraven, Thomas. *The Hipp Chronoscope. Paper based on a talk given at a meeting of the Electrical Group of the Antiquarian Horological Society at the Science Museum, London, on November 23, 2003.* [En ligne]. [Consulté le 27 juin 2017]
<http://vlp.mpiwg-berlin.mpg.de/references?id=enc13>

***Selwyn, 2004** : Selwyn, Lindsie. *Métaux et corrosion : un manuel pour le professionnel de la conservation.* Institut canadien de conservation, Ottawa, 2004.

***Simpson Grant, 2000** : Simpson Grant, Martha. "The use of ultraviolet induced visible-fluorescence in the examination of museum objects, part I". *Conserve O Gram*, December 2000, Number 1/9.

Smithsonian [En ligne] : Smithsonian. « Reflectance Transformation Imaging ». In *Smithsonian* [En ligne]. Smithsonian Museum Conservation Institute, 2015 [consulté le 15 juin 2017].
<http://www.si.edu/MCIImagingStudio/RTI>

Thomson, 1991 : Thomson, Christine. *"Last but not least": examination and interpretation of coating on brass hardware.* WAG Postprints, Albuquerque, 1991.

Timmins, 1866 : Timmins, Samuel. *The Ressources, the Products and Industrial History of Birmingham and the Midland Hardware District.* London, Robert Hardwicke, 1866.

Umney and Rivers, 2003 : Umney, Nick and Rivers, Shane. *Conservation of Furniture.* Butterworth Heinemann, Oxford, 2003. (Routledge Series in Conservation and Museology)

***Walter et Cardinali, 2013** : Walter, Philippe et Cardinali, François. *L'art-chimie : enquête dans le laboratoire des artistes.* Editions Michel de Maule, Paris, 2013.

***Viredaz, 2010 [En ligne]** : Viredaz, Michel. « Horloges électriques secondaires ». In *Chronométrophilia* [En ligne]. Association suisse des amateurs d'horlogerie, dernière modification le 27.10.2010. [Consulté le 20 juin 2017] http://www.chronometrophilia.ch/Electric-clocks/Horloges_secondaires.htm

***Zani, 2003** : Zani, Marie Line. « Mesurer l'épaisseur d'un revêtement ». *Mesures*, 759, novembre 2003, p. 63-69.

* Références bibliographiques citées en annexes

Glossaire

Alizarine : pigments laqués de colorants organiques rouges. C'est l'un des principaux colorants de la garance¹⁰².

Autofluorescence : fluorescence causée par une substance présente naturellement dans le matériau¹⁰³.

Brunissage : finition de surface effectuée à la main qui consiste à rendre brillant la surface métallique sans retirer de la matière. Les outils utilisés, les brunissoirs, vont frotter et écraser les molécules du métal¹⁰⁴.

Chromophore : groupe d'atomes qui apporte de la couleur dans un composé organique¹⁰⁵.

Colorant : matière « qui colore ». Le colorant se distingue d'un pigment par le fait qu'il est soluble dans le liant et utilisé à l'état de solution, dans le milieu de mise en œuvre¹⁰⁶.

Dessicatif : capacité d'un matériau à dessécher

Dorure au mercure (dorure à l'amalgame) : « *dorure utilisant l'amalgame d'or et de mercure. Une fois l'amalgame d'or et de mercure appliqué et chauffé, le mercure se volatilise et l'or se répand en couvrant la surface à dorer*¹⁰⁷. »

Elémi : plastifiant d'origine végétale du groupe des oléorésines¹⁰⁸.

Gomme laque : liant d'origine animale. Seule résine naturelle produite par un animal (cochenilles du genre *Kerria*), elle se présente sous forme de grains avec des couleurs variant du rouge/brun au jaune¹⁰⁹.

Gomme-gutte : colorant d'origine végétale composé entre 70-80 % de résines. Il s'agit du suc desséché de différents arbres *Garcinia*. Elle est employée pour teinter les vernis colorés¹¹⁰.

Humidité relative (HR) : « *correspond à la quantité de vapeur d'eau dans l'air par rapport à la capacité maximale que ce dernier peut en contenir. L'humidité relative de l'air s'exprime en pourcentage (%) et dépend de la température et de la pression*¹¹¹. »

Liant : substance filmogène qui fixe les pigments et/ou charges entre eux et au support. Le durcissement du liant voit la formation d'un film à la surface¹¹².

¹⁰² Perego, 2005, p. 38

¹⁰³ Oxford Dictionary, 2017 [En ligne]

¹⁰⁴ Arminjon, 1998, p. 316

¹⁰⁵ Larousse, 2017 [En ligne]

¹⁰⁶ Perego, 2005, p. 225

¹⁰⁷ Arminjon, 1998, p. 274

¹⁰⁸ Perego, 2005, p. 269

¹⁰⁹ Ibid., p. 629

¹¹⁰ Ibid., p. 337-338

¹¹¹ FuturaSciences, 2016 [En ligne]

¹¹² Perego, 2005, p. 453

Macrophotographie : c'est une photographie sous fort grossissement, où l'image obtenue sur le capteur est égale ou supérieure à la taille du sujet lui-même¹¹³. Le rapport de reproduction est de 1:1¹¹⁴.

Normale à la surface : vecteur directionnel qui est perpendiculaire à la surface d'un objet à un point spécifique¹¹⁵.

Réflexion spéculaire : réflexion produit par une surface très lisse. Elle produit une image discernable d'un objet.

Réflexion diffuse : réflexion produite par une surface irrégulière.

Réticulation : aboutissement des réactions pour donner un ensemble de macromolécules tridimensionnelles insolubles¹¹⁶.

Sandaraque : liant d'origine végétale, cette résine est produite par un conifère, le thuya d'Algérie¹¹⁷.

Sang-dragon : colorant et liant d'origine végétale, c'est une substance résineuse rouge produite par des plantes dont les principales sont *Daemonorops*, un genre de palmier et *Dracaena*, une plante arborescente¹¹⁸.

Satinée (à traits tirés) : finition de surface métallique mate qui consiste en un ensemble de rayures fines et microscopiques parallèles¹¹⁹.

Piqûre : défaut du métal. Petites cavités circulaires qui sont provoqués par des occlusions gazeuses¹²⁰.

Polie-miroir : finition de surface métallique avec aucun défaut visible à l'œil nu, caractérisé par une réflectivité élevée. C'est une surface qui peut refléter des images clairement reconnaissables¹²¹.

Vernis : revêtement protecteur et/ou décoratif constitué par une seule phase continue. Il peut être incolore ou coloré. Un vernis coloré, le colorant est dispersé à l'état moléculaire dans la phase continue¹²².

¹¹³ Roux, 2012, p. 156

¹¹⁴ Le rapport de reproduction est le ratio entre la taille du sujet sur le capteur et sa taille réelle. Il sert à quantifier le grossissement.

¹¹⁵ Cultural Heritage Imaging, 2017 [En ligne]

¹¹⁶ Petit et Valot, 1991, p. 123

¹¹⁷ Perego, 2005, p. 649

¹¹⁸ Ibid., p. 652

¹¹⁹ Chokron, 2015 [En ligne]

¹²⁰ Arminjon, 1998, p.76

¹²¹ Kilchhofer, 2009, p. 9

¹²² Petit et Valot, 1991, p. 106

Liste des figures

Figure 1 : vernisseur avec le pinceau et le blaireau. © gallica.bnf.fr	9
Figure 2 : récipient du vernis. © gallica.bnf.fr	9
Figure 3 : types de pinceaux traditionnels pour le vernissage. © Massenz	9
Figure 4 : projection du vecteur de la lumière sur l'image plane. © Palma et al. La normale est perpendiculaire à la surface plane.	10
Figure 5 : la normale de la surface. © Cultural Heritage Imaging	10
Figure 6 : informations de la réflectance enregistrée par la technique ITR. © Cultural Heritage Imaging	10
Figure 7 : méthode H-RTI. © Piquette	11
Figure 8 : diagramme de la technique H-RTI. © Historic England, John Vallender	11
Figure 9 : méthode du dôme virtuel de lumière © Historic England, John Vallender	12
Figure 10 : méthode du dôme virtuel de lumière © Mona Hess	12
Figure 11 : dispositif à plateau tournant. © Porter	12
Figure 12 : éprouvette (no 40) plane satinée	14
Figure 13 : éprouvette (no 5) plane polie miroir	14
Figure 14 : éprouvette (no 10) cylindrique polie-miroir	14
Figure 15 : répartition des éprouvettes.	14
Figure 16 : application du vernis C sur l'éprouvette plane polie-miroir.	15
Figure 17 : application au tour du vernis C sur l'éprouvette cylindrique polie-miroir.	15
Figure 18 : récipient du vernis.	15
Figure 19 : conditionnement pour les éprouvettes de référence non vernies.	16
Figure 20 : conditionnement définitif pour les éprouvettes vernies.	16
Figure 21 : Horloge à mouvement secondaire, platine métallique avec le vernis jaune.	18
Figure 22 : Horloge à mouvement secondaire. En haut, platine métallique avec le vernis orange et en bas, les bobines et les électroaimants.	18
Figure 23 : Avers de la frise.	20
Figure 24 : Revers de la frise	20
Figure 25 : Horloge française en corne IV-957. © MIH	20
Figure 26 : détail de l'emplacement de la frise. © HE-Arc CR, CvK	20
Figure 27 : vue générale de de la face de la pendulette de voyage	21
Figure 28 : vue générale de la clé de remontage de la pendulette de voyage.	21
Figure 29 : extrait des plans. © Thi Porter	22
Figure 30 : dispositif terminé.	22
Figure 31 : vue d'ensemble du dispositif.	24
Figure 32 : exemple d'une prise de vue pour une séquence d'image ITR sur une éprouvette satinée.	24
Figure 33 : objectif de l'appareil photo visible sur l'éprouvette.	24
Figure 34 : choix des paramètres pour les surfaces réfléchissantes.	25
Figure 35 : dispositif final, sans le plateau tournant.	26
Figure 36 : mesure de la distance avec la ficelle.	27
Figure 37 : exemple d'une prise de vue avec la méthodologie « Highlight method » pour une séquence d'image ITR	27



<i>Figure 38 : Epreuve 14, surface polie-miroir. Mêmes paramètres de réglage : a) HSH Fitter, extension .rti. b) PTM Fitter, extension .ptm</i>	27
<i>Figure 39 : mode Specular Enhancement sur le revers de la frise. a) position virtuelle de la lumière ; b) sélection du mode de visionnage ; c) paramètres de réglage.</i>	28
<i>Figure 40 : à gauche, éclairage à « high noon », c'est-à-dire par-dessus l'objet, au centre, éclairage rasant et à droite, éclairage semi rasant. © CHI</i>	28
<i>Figure 41 : Détail du dispositif de la photographie sous fluorescence UV.</i>	29
<i>Figure 42 : schéma du dispositif de la photographie sous fluorescence UV. © AIC, adapté par HE-Arc CR, RR</i>	29
<i>Figure 43 : sphère de la lamelle de verre, surface mate</i>	30
<i>Figure 44 : sphère du revers de la frise, surface mate</i>	30
<i>Figure 45 : sphère de l'épreuve 2, polie-miroir.</i>	30
<i>Figure 46 : épreuve polie-miroir 2 (verniss C). Auto fluorescence sous UV dans les teintes orangée plus froide que l'épreuve satinée.</i>	33
<i>Figure 47 : épreuve satinée 33 (verniss C). Auto fluorescence sous UV dans les teintes orangée plus chaude que l'épreuve polie-miroir.</i>	33
<i>Figure 48 : topographie de surface épreuve 2 (verniss C). Capture fichier ITR, Mode Specular Enhancement, DC100_S21_HS39_x0.35_y0.94</i>	35
<i>Figure 49 : topographie de surface, épreuve 5 (non verniss). Capture d'écran fichier ITR, mode Specular Enhancement, DC100_S21_HS39_x0.35_y0.94</i>	35
<i>Figure 50 Verniss appliqués sur une lame de verre polie : a) Verniss A ; b) verniss B : verniss anglais ; c) Verniss C : Tingry appliqué sur lame de verre. Captures d'écran fichiers ITR, mode Specular Enhancement</i>	35
<i>Figure 51 : Epreuve 2 (verniss C). Capture d'écran fichier ITR, mode Specular Enhancement, DC0_S100_HS30_x-0.10_y0.99</i>	37
<i>Figure 52 : Epreuve 5 (référence sans verniss). . Capture d'écran fichier ITR, mode Specular Enhancement, DC0_S100_HS30_x-0.07_y1</i>	37
<i>Figure 53 : épreuve 14 (verniss A). Capture d'écran fichier ITR, mode Specular Enhancement, DC0_S70_HS45_x-0.21_y0.52. Rayures noires, tolérance du polissage, rayures blanches rayures régulières</i>	38
<i>Figure 54 : épreuve 14 (verniss A), photographie en lumière blanche prise à l'angle lumineux 30°.</i>	38
<i>Figure 55 : détail plaquette métallique de l'horloge mouvement secondaire. Capture d'écran fichier ITR, mode Specular Enhancement, DC14_S47_HS35_x-0.30_y0.40</i>	41
<i>Figure 56 : détail plaquette métallique de l'horloge à mouvement secondaire. Macro photographie en lumière blanche prise à l'angle 45°.</i>	41
<i>Figure 57 : détail plaquette métallique horloge à mouvement secondaire. Macro photographie sous fluorescence UV, sans filtre B+W 486 UV-IR. Auto fluorescence plus foncée qu'avec le filtre B+W 486.</i>	41
<i>Figure 58 : Horloge à mouvement secondaire, platine orange, détail du chanci. Recouvert des microfissurations diagonales. Capture d'écran fichier ITR DC0_S41_HS25_x-0.69_y0.64</i>	42
<i>Figure 59 : Horloge à mouvement secondaire, platine orange, détail du chanci. Macro photographie en lumière semi-rasante.</i>	42
<i>Figure 60 : Horloge à mouvement secondaire, platine orange, détail du chanci, fluorescence sous UV dans les teintes orangée. Rayures et taches d'oxydation bien visibles. Le trait violacé correspond à la réflexion de la lampe UV.</i>	42

<i>Figure 61 : Accentuation des reliefs du verso de la frise. Capture d'écran fichier ITR, mode Specular Enhancement</i>	45
<i>Figure 62 : Détail du revers de la frise. Macrophotographie en lumière blanche, angle lumineux 45°.</i>	45
<i>Figure 63 : Détail du revers de la frise. Photographie sous fluorescence UV. Autofluorescence orangée pour le vernis épargne. Des résidus de couleur brun-marron avec une autofluorescence blanche.</i>	45
<i>Figure 64 : Détail de l'anneau de la clé de remontage. Capture d'écran fichier ITR, mode SE</i>	47
<i>Figure 65 : Détail anneau de la clé de remontage. Macrophotographie en lumière blanche, angle lumineux 45°.</i>	47
<i>Figure 66 : Détail anneau de la clé de remontage. Photographie sous fluorescence UV. Autofluorescence vernis intact dans les teintes froides bleu-vert. Absence d'autofluorescence du vernis altéré.</i>	47
<i>Figure 67 : vernis A (1893), gomme laque blonde © Bibliothèque Sainte, Genève.</i>	71
<i>Figure 68 : vernis B (1839), vernis anglais. © Source gallica.bnf.fr</i>	71
<i>Figure 69 : vernis C (1803), vernis mutatif Tingry. © Source gallica.bnf.fr</i>	71
<i>Figure 70 : ingrédients du vernis C. © HE-Arc CR, JSC</i>	73
<i>Figure 71 : éprouvettes cylindriques vernies. De gauche à droite, vernis A, vernis B, vernis C. © HE-Arc CR, JSC</i>	73
<i>Figure 72 : dégraissage des éprouvettes à l'acétone.</i>	73
<i>Figure 73 : dépoussiérage avec une poire dépoussiérante avant l'application du vernis. © HE-Arc CR, JSC</i>	73
<i>Figure 74 : éprouvettes chauffées dans l'étuve. © HE-Arc CR, JSC</i>	73
<i>Figure 75 : phénomène de voilage sur une des premières éprouvettes vernies. © HE-Arc CR, JSC</i>	74
<i>Figure 76 : décapeur thermique.</i>	74
<i>Figure 77 : conditionnement d'origine des éprouvettes. © HE-Arc CR, JSC</i>	74
<i>Figure 78 : premier conditionnement pour les éprouvettes planes vernies.</i>	74
<i>Figure 79 : mesures des épaisseurs.</i>	75
<i>Figure 80 : interprétation des résultats</i>	76
<i>Figure 81 : analyse de la frise.</i>	76
<i>Figure 82 : éprouvette polie-miroir, 14, vernis A. Photographie standard en lumière blanche, angle lumineux 45°.</i>	77
<i>Figure 83 : éprouvette 14, polie-miroir vernis A. Photographie sous fluorescence UV</i>	77
<i>Figure 84 : éprouvette 15, polie-miroir, vernis B. Photographie standard en lumière blanche, angle lumineux 45°.</i>	77
<i>Figure 85 : éprouvette 15, polie-miroir vernis B. Photographie sous fluorescence UV</i>	77
<i>Figure 86 : éprouvette 2 polie-miroir, vernis C. Photographie standard en lumière blanche, angle lumineux 45°.</i>	77
<i>Figure 87 : éprouvette 2, polie-miroir, vernis. Photographie sous fluorescence UV</i>	77
<i>Figure 88 : éprouvette 5, polie-miroir, sans vernis. Photographie standard en lumière blanche, angle lumineux 45°.</i>	78
<i>Figure 89 : éprouvette 5, polie-miroir, sans vernis. Photographie sous fluorescence UV</i>	78
<i>Figure 90 : éprouvette 40, satinée, sans vernis. Photographie standard en lumière blanche, angle lumineux 45°.</i>	78
<i>Figure 91 : éprouvette 40, satinée, sans vernis. Photographie sous fluorescence UV</i>	78
<i>Figure 92 : éprouvette 31, satinée, vernis A. Photographie standard en lumière blanche, angle lumineux 45°.</i>	78
<i>Figure 93 : éprouvette 31, satinée, vernis A. Photographie sous fluorescence UV</i>	78
<i>Figure 94 : éprouvette 38, satinée, vernis B. Photographie standard en lumière blanche, angle lumineux 45°.</i>	79

<i>Figure 95 : éprouvette 38, satinée, vernis B. Photographie sous fluorescence UV</i>	79
<i>Figure 96 : éprouvette 33, satinée, vernis C. Photographie standard en lumière blanche, angle lumineux 45°.</i>	79
<i>Figure 97 : éprouvette 33, satinée, vernis C. Photographie sous fluorescence UV</i>	79
<i>Figure 98 : constat d'état des éprouvettes planes.</i>	80
<i>Figure 99 : mesures d'épaisseur par Courant Foucault sur les éprouvettes planes.</i>	80
<i>Figure 100 : éprouvette 10, polie-miroir, sans vernis. Photographie sous fluorescence UV</i>	81
<i>Figures 101, 102, 103 : éprouvette 10, polie-miroir, sans vernis. Photographie standard en lumière blanche.</i>	81
<i>Figure 104 : éprouvette 7, polie-miroir, vernis A. Photographie sous fluorescence UV</i>	81
<i>Figures 105, 106, 107 : éprouvette 7, polie-miroir, vernis A. Photographie standard en lumière blanche.</i>	81
<i>Figure 108 : éprouvette 8, polie-miroir, vernis B. Photographie sous fluorescence UV</i>	81
<i>Figures 109, 110, 111 : éprouvette 8, polie-miroir, vernis B. Photographie standard en lumière blanche.</i>	81
<i>Figure 112 : éprouvette 9, polie-miroir, vernis C Photographie sous fluorescence UV</i>	82
<i>Figures 113, 114, 115 : éprouvette 9, polie-miroir, vernis C. Photographie standard en lumière blanche.</i>	82
<i>Figure 116 : constats d'état des éprouvettes cylindriques.</i>	82
<i>Figure 117 : vernis jaune sur une platine en alliages cuivreux. Photographie standard en lumière blanche.</i>	85
<i>Figure 118 : vernis orange appliqué sur une platine en alliage cuivreux. Le système électroaimant, constitué notamment des bobines, est situé en dessous. Photographie standard en lumière blanche.</i>	85
<i>Figure 119 : autofluorescence orange clair du vernis de couleur jaune. Photographie sous fluorescence UV.</i>	85
<i>Figure 120 : autofluorescence orange foncé du vernis de couleur orange. Photographie sous fluorescence UV. Le trait violacé correspond à la réflexion de la lampe UV.</i>	85
<i>Figure 121 : horloge à mouvement secondaire, vue de dessus. Entre les deux platines, le mouvement horloger. Photographie standard en lumière blanche</i>	85
<i>Figure 122 : horloge à mouvement secondaire, vue de dessus. Photographie sous fluorescence UV.</i>	85
<i>Figure 123 : constat d'état du vernis de couleur jaune.</i>	86
<i>Figure 124 : constat d'état du vernis de couleur orange.</i>	86
<i>Figure 125 : chanci du vernis, avec traces de doigts visibles. Macrophotographie en lumière blanche.</i>	87
<i>Figure 126 : corrosion filiforme au niveau de l'arrêt de la platine orange.</i>	87
<i>Figure 127 : détail des traces d'utilisation sur la plaquette métallique. On perçoit sous la roue d'engrenage le vernis orange lacunaire.</i>	88
<i>Figure 128 : détails des tâches d'oxydation sur le vernis orange.</i>	88
<i>Figure 129 : mesures d'épaisseur par courant Foucault sur le vernis jaune.</i>	89
<i>Figure 130 : mesures d'épaisseur par courant Foucault sur la platine vernie de couleur orange.</i>	89
<i>Figure 131 : avers de la frise. Photographie standard en lumière blanche.</i>	91
<i>Figure 132 : avers de la frise. Photographie sous fluorescence UV. Les zones violacées ne correspondent pas à l'autofluorescence d'une substance mais à la réflexion de la lampe UV.</i>	91
<i>Figure 133 : revers de la frise. Photographie standard en lumière blanche.</i>	91
<i>Figure 134 : revers de la frise. Photographie sous fluorescence UV.</i>	91
<i>Figure 135 : constat d'état de la frise.</i>	92
<i>Figure 136 : avers de la frise, détails du polissage du centre des pétales.</i>	93
<i>Figure 137 : avers de la frise, détail du ternissement de surface et de la coloration brunâtre.</i>	93
<i>Figure 138 : détail de l'abrasion de surface de l'extrémité gauche de l'avers de la frise.</i>	93
<i>Figure 139 : revers de la frise, détails des traces de limages et de la substance brune-orange.</i>	93

<i>Figure 140 : localisation des mesures IRTF sur la frise</i>	95
<i>Figure 141 : pendulette de voyage, vue générale de la face. Photographie standard en lumière blanche.</i>	98
<i>Figure 142 : pendulette de voyage, vue générale de la face sous fluorescence UV. On distingue bien l'autofluorescence grisâtre des résidus poudreux de la mousse de polyuréthane. La surface vernie a une autofluorescence dans les teintes froides, bleu-vert.</i>	98
<i>Figure 143 : pendulette de voyage, vue générale du côté droite. Photographie standard en lumière blanche.</i>	98
<i>Figure 144 : pendulette de voyage, vue générale du côté droite sous fluorescence UV. Autofluorescence grisâtre des résidus de mousse de polyuréthane. Autofluorescence du vernis dans les teintes froides, bleu-vert.</i>	98
<i>Figure 145 : pendulette de voyage, vue générale du côté gauche en lumière blanche.</i>	99
<i>Figure 146 : pendulette de voyage, vue générale du côté gauche sous fluorescence UV. Autofluorescence dans les teintes froides bleu-vert du vernis et grisâtre des résidus de polyuréthane.</i>	99
<i>Figure 147 : pendulette de voyage, vue générale de l'arrière. Photographie standard en lumière blanche. Spirale du gong visible. Les mesures XRF ont été effectuées sur la partie basse du boîtier.</i>	99
<i>Figure 148 : pendulette de voyage, vue générale de l'arrière sous fluorescence UV. Autofluorescence grisâtre des résidus de polyuréthane et bleu-vert du vernis.</i>	99
<i>Figure 149 : pendulette de voyage, vue générale de la partie supérieure. Photographie standard en lumière blanche. On peut voir l'échappement à ancre.</i>	100
<i>Figure 150 : pendulette de voyage, vue générale de la partie supérieure sous fluorescence UV. Autofluorescence dans les teintes froides bleu-vert du vernis et grisâtre pour les résidus poudreux de la mousse de polyuréthane.</i>	100
<i>Figure 151 : clé de remontage de la pendulette de voyage, vue générale de la face A.</i>	100
<i>Figure 152 : clé de remontage de la pendulette de voyage, face A sous fluorescence UV. On distingue les zones du vernis intactes (autofluorescence teinte froide bleu-vert).</i>	100
<i>Figure 153 : clé de remontage de la pendulette de voyage, vue générale de la face B</i>	100
<i>Figure 154 : clé de remontage de la pendulette de voyage, face B sous fluorescence UV. On distingue les zones du vernis intactes (autofluorescence teinte froide bleu-vert).</i>	100
<i>Figure 155 : pendulette dans sa boîte. La mousse polyuréthane est collée à l'intérieur du couvercle.</i>	100
<i>Figure 156 : constat d'état de la face et du revers de la pendulette de voyage.</i>	101
<i>Figure 157 : constat d'état de la partie supérieure de la pendulette de voyage.</i>	101
<i>Figure 158 : constat d'état de la clé de remontage, face A</i>	101
<i>Figure 159 : constat d'état de la clé de remontage, face B</i>	101
<i>Figure 160 : détails des résidus de la mousse de polyuréthane sur la surface métallique.</i>	102
<i>Figure 161 : altérations du vernis sous forme circulaire</i>	102
<i>Figure 162 : pendulette de voyage, mesures d'épaisseur par courant Foucault</i>	103
<i>Figure 163 : clé de remontage, localisation des mesures IRTF</i>	104
<i>Figure 164 : schéma de principe du dispositif ITR</i>	107
<i>Figure 165 : plan du dispositif adapté pour la découpeuse laser du FabLab de la HE-Arc Neuchâtel. Le tracé rouge correspond à la découpe, le tracé vert au marquage. © Porter, adapté par HE-Arc CR, RR</i>	107
<i>Figure 166 : plateau stationnaire \varnothing 60 cm découpé au laser.</i>	108
<i>Figure 167 : plaquettes de fixation découpées au laser.</i>	108
<i>Figure 168 : ensemble des éléments découpés au laser.</i>	108
<i>Figure 169 : plateau tournant, coulisse à tiroir, plaques métalliques angles droit.</i>	109

<i>Figure 170 : dessous avec pied en caoutchouc dur</i>	109
<i>Figure 171 : détails coulisse à tiroir et plaques métalliques.</i>	109
<i>Figure 172 . système fixation du bras, vue de dessus</i>	109
<i>Figure 173 : système de fixation du bras, vue de côté</i>	109
<i>Figure 174 : système de fixation du bras avec le bras</i>	109
<i>Figure 175 : fixation du flash dans le bras rotatif, vue de face.</i>	110
<i>Figure 176 : fixation du flash dans le bras rotatif, vue de côté.</i>	110
<i>Figure 177 : fixation du flash dans la mousse de polyéthylène haute densité.</i>	110
<i>Figure 178 : dispositif ITR terminé.</i>	110
<i>Figure 179 : installation du dispositif ITR.</i>	111
<i>Figure 180 : bracelet élastique autour de l'objectif pour éviter tout mouvement.</i>	111
<i>Figure 181 : essai de prise de vue avec le flash.</i>	111
<i>Figure 182 : essai de prise de vue avec la LED.</i>	111
<i>Figure 183 : expérience de la réflexion de la lumière sur la surface polie-miroir.</i>	111
<i>Figure 184 : expérience de la réflexion de la lumière sur la surface satinée.</i>	111
<i>Figure 185 : reflet lumineux sur la surface satinée, angle lumineux de 15°, 60° sur le plateau stationnaire.</i>	112
<i>Figure 186 : reflet lumineux sur la surface satinée, angle lumineux de 15°, 240° sur le plateau stationnaire.</i>	112
<i>Figure 187 : halo lumineux du flash sur l'éprouvette polie-miroir à l'angle lumineux 15°, 60° sur le plateau stationnaire.</i>	112
<i>Figure 188 : halo lumineux du flash sur l'éprouvette polie-miroir à l'angle lumineux 15°, 240° sur le plateau stationnaire.</i>	112
<i>Figure 189 : sphère lumineuse obtenue avec le dispositif à bras</i>	112
<i>Figure 190 : sphère lumineuse obtenue avec le système à ficelle (« Highlight Method »)</i>	112
<i>Figure 191 : éprouvette 33, surface satinée. Mêmes paramètres de réglage : a) HSH Fitter, extension .rti. b) PTM Fitter, extension .ptm.</i>	112
<i>Figure 192 : dispositif à bras gradué.</i>	116
<i>Figure 193 : alignement du bras rotatif sur le plateau stationnaire</i>	117
<i>Figure 194 : dispositif « Highlight Method ».</i>	118
<i>Figure 195 : détail du dispositif</i>	118
<i>Figure 196 : spectre électromagnétique. © Gouvernement du Canada</i>	119
<i>Figure 197 : installation du dispositif pour la photographie sous fluorescence UV.</i>	120
<i>Figure 198 : détail de l'installation pour la photographie sous fluorescence UV.</i>	120
<i>Figure 199 : dispositif pour l'éclairage latéral pour la photographie standard en lumière blanche.</i>	121
<i>Figure 200 : détail de l'installation pour les éprouvettes cylindriques.</i>	122
<i>Figure 201 : vue de l'installation pour la macrophotographie.</i>	122
<i>Figure 202 : essai sur l'éprouvette 7, forme cylindrique. Le fichier est parasité par les conditions de prises de vue (tables). La partie lisible n'est pas représentative de l'objet. Mode SE xy0, DC40_S70_HS75</i>	143
<i>Figure 203 : les zones bleutées sont des zones surexposées. Elles faussent l'interprétation des résultats. Mode Default, x0.09_y-0.16</i>	143
<i>Figure 204 : éprouvette polie-miroir 15 (vernis B). Le voile blanc est causé par le halo lumineux du flash. Capture d'écran fichier ITR, mode Specular Enhancement. DC0_S48_HS1_xy0</i>	143
<i>Figure 205 : phénomène du halo lumineux sur une des prises de vue de la même éprouvette.</i>	143

<i>Figure 206 : vernis A appliqué sur une lame polie de verre par immersion chauffée.</i>	144
<i>Figure 207 : vernis B appliqué sur une lame polie de verre par immersion chauffée.</i>	144
<i>Figure 208 : vernis C appliqué sur une lame polie de verre par immersion.</i>	144
<i>Figure 209 : éprouvette polie-miroir 14 (verniss A). Photographie sous fluorescence UV. Autofluorescence dans les teintes froides, vert.</i>	145
<i>Figure 210 : éprouvette polie-miroir 14 (verniss A). Capture d'écran fichier ITR, mode Specular Enhancement, DC0_S40_HS1_x-0.76_y0.65</i>	145
<i>Figure 211 : éprouvette polie-miroir 14 (verniss A). Photographie en lumière blanche, angle lumineux 45°. Irisation</i>	145
<i>Figure 212 : éprouvette satinée 31 (verniss A). Photographie sous fluorescence UV. Pas d'autofluorescence</i>	145
<i>Figure 213 : éprouvette satinée 31 (verniss A). Capture d'écran fichier ITR, mode Default x0_y0</i>	145
<i>Figure 214 : éprouvette satinée 31 (verniss A). Photographie en lumière blanche, angle 45°.</i>	145
<i>Figure 215 : Eprouvette polie-miroir 15 (verniss B). Photographie sous fluorescence UV. Légère autofluorescence dans les teintes froides, bleu-vert.</i>	146
<i>Figure 216 : Eprouvette polie-miroir 15 (verniss B). Capture d'écran fichier ITR, mode SE, DC91_S8_HS1_x-0.94_y0.34</i>	146
<i>Figure 217 : éprouvette polie-miroir 15 (verniss B). Photographie en lumière blanche, angle lumineux 45°. Irisation</i>	146
<i>Figure 218 : Eprouvette satinée 38 (verniss B). Photographie sous fluorescence UV. Très légère autofluorescence dans les teintes froides, bleu-vert.</i>	146
<i>Figure 219 : Eprouvette satinée 38 (verniss B). Capture d'écran fichier ITR, mode Default x0_y0</i>	146
<i>Figure 220 : éprouvette satinée 38 (verniss B). Photographie en lumière blanche, angle lumineux 45°.</i>	146
<i>Figure 221 : éprouvette polie-miroir 2 (verniss C). Photographie sous fluorescence UV. Autofluorescence dans les teintes orangée plus froide que l'éprouvette satinée.</i>	147
<i>Figure 222 : éprouvette polie-miroir 2 (verniss C). Capture d'écran fichier ITR, mode SE, DC91_S30_HS1_x-0.12_y0.99</i>	147
<i>Figure 223 : éprouvette polie-miroir 2 (verniss C). Photographie en lumière blanche, angle lumineux 45°. Irisation</i>	147
<i>Figure 224 : éprouvette satinée 33 (verniss C). Photographie sous fluorescence UV. Autofluorescence dans les teintes orangée plus chaude que l'éprouvette polie-miroir.</i>	147
<i>Figure 225 : éprouvette satinée 33 (verniss C). Capture d'écran fichier ITR, mode default, x0_y0</i>	147
<i>Figure 226 : éprouvette satinée 33 (verniss C). Photographie en lumière blanche, angle lumineux 45°.</i>	147
<i>Figure 227 : détail éprouvette satinée 31 (verniss A). Capture d'écran fichier ITR, mode SE, DC100_S2_HS75_x0_y0</i>	148
<i>Figure 228 : détail éprouvette satinée 31 (verniss A). Macrographie en lumière blanche angle 30°. Avec flash.</i>	148
<i>Figure 229 : détail éprouvette satinée 38 (verniss B). Capture d'écran fichier ITR, mode SE DC100_S2_HS75_x0_y0</i>	148
<i>Figure 230 : détail éprouvette satinée 38 (verniss B). Macrographie en lumière blanche, angle 30°. Avec flash.</i>	148
<i>Figure 231 : détail éprouvette satinée 33 (verniss C). Les traces d'usures ont un meilleur contraste, en comparaison avec la capture d'écran ITR. Macrographie en lumière blanche.</i>	148

<i>Figure 232 : détail éprouvette satinée 33 (verniss C). Les traces d'usures ont un meilleur contraste, en comparaison avec la capture d'écran ITR. Macrophotographie en lumière blanche, angle 30°. Avec flash.</i>	148
<i>Figure 233 : éprouvette polie-miroir 14 (verniss A). Photographie standard en lumière blanche, angle lumineux 45°. Sans carton, surface assombrie.</i>	149
<i>Figure 234 : éprouvette polie-miroir 14 (verniss A). Capture d'écran fichier ITR, mode Specular Enhancement. DC100_S50_HS44_xy0</i>	149
<i>Figure 235 : éprouvette polie-miroir 15 (verniss B). Photographie standard en lumière blanche, angle lumineux 45°. Sans carton, surface assombrie.</i>	149
<i>Figure 236 : éprouvette polie-miroir 15 (verniss B). Le voilage blanc est causé par le halo lumineux du flash. Capture d'écran fichier ITR, mode Specular Enhancement. DC100_S48_HS1_xy0</i>	149
<i>Figure 237 : éprouvette polie-miroir 2 (verniss C). Photographie standard en lumière blanche, angle lumineux 45°, sans carton, surface assombrie.</i>	150
<i>Figure 238 : éprouvette polie-miroir 2 (verniss C). Capture d'écran fichier ITR, mode Specular Enhancement. DC100_S50_HS1_xy0</i>	150
<i>Figure 239 : éprouvette polie-miroir 5 (référence sans verniss). Photographie standard en lumière blanche, angle lumineux 45°, sans carton, surface assombrie.</i>	150
<i>Figure 240 : éprouvette polie-miroir 5 (référence sans verniss). Capture d'écran fichier ITR, mode Specular Enhancement. DC100_S50_HS1_xy0</i>	150
<i>Figure 241 : horloge à mouvement secondaire, platine métallique vernie de couleur jaune. Capture d'écran fichier ITR, mode Specular Enhancement, D0_S36_HS208_x0.28_y-0.59</i>	151
<i>Figure 242 : horloge à mouvement secondaire, platine métallique vernie de couleur jaune. Macrophotographie en lumière blanche, angle lumineux 30°.</i>	151
<i>Figure 243 : horloge à mouvement secondaire, platine métallique vernie de couleur jaune. Photographie sous fluorescence UV. Autofluorescence dans les teintes orange-clair</i>	151
<i>Figure 244 : avers de la frise, décors accentués par la technique ITR. Capture d'écran fichier ITR, mode Specular Enhancement, DC0_S28_HS1_x-0.92_y0.40</i>	152
<i>Figure 245 : avers de la frise, décors. Macrophotographie en lumière blanche, angle lumineux 45°.</i>	152
<i>Figure 246 : avers, extrémité droite. Capture d'écran fichier ITR, mode SE. DC0_S27_HS1_x-0.22_y0.04</i>	153
<i>Figure 247 : avers de la frise, extrémité droite. Macrophotographie en lumière blanche, angle lumineux 45°.</i>	153
<i>Figure 248 : revers de la frise, extrémité droite. Capture d'écran fichier ITR, mode Specular Enhancement, DC0_S28_HS26_x0.28_y-0.14</i>	154
<i>Figure 249 : revers de la frise, extrémité droite. Macrophotographie en lumière blanche, angle lumineux 45°.</i>	154
<i>Figure 250 : revers de la frise, extrémité droite. Photographie sous fluorescence UV. On distingue deux autofluorescences : en orange le verniss épargne et en blanc la substance brune-marron.</i>	154
<i>Figure 251 : pendulette de voyage, détail de la partie supérieure. Capture d'écran fichier ITR, mode SE. DC0_S35_HS35_x-0.03_y-0.92</i>	155
<i>Figure 252 : pendulette de voyage, détail de la partie supérieure. Photographie en lumière blanche, angle lumineux à 60°</i>	155
<i>Figure 253 : pendulette de voyage, détail de la partie supérieure. Photographie sous fluorescence UV.</i>	155

Crédits photographiques

Sauf indications contraires, les crédits photographiques sont : © HE-Arc CR, Rebecca Rochat.

Liste des tableaux

<i>Tableau 1 : matériels pour l'imagerie par la transformation de la réflectance</i>	23
<i>Tableau 2 : système d'évaluation des techniques d'imagerie et des abréviations</i>	31
<i>Tableau 3 : résultats sur les éprouvettes, critère 1</i>	32
<i>Tableau 4 : résultats sur les éprouvettes, critère 2</i>	34
<i>Tableau 5 : résultats sur les éprouvettes, critère 3</i>	36
<i>Tableau 6 : résultats sur l'horloge à mouvement secondaire</i>	39
<i>Tableau 7 : résultats sur la frise</i>	43
<i>Tableau 8 : résultats sur la pendulette de voyage</i>	46
<i>Tableau 9 : tableau récapitulatif des techniques d'imagerie</i>	48
<i>Tableau 10 : Recettes des vernis sélectionnés (adaptées par Julie Schröter)</i>	72
<i>Tableau 11 : constat d'état, description des altérations des matériaux et des traces de surface</i>	87
<i>Tableau 12 : constat d'état, description des altérations des matériaux et des traces de surface</i>	93
<i>Tableau 13 : résultats analyses IRTF sur la frise</i>	95
<i>Tableau 14 : constat d'état, description des altérations des matériaux et des traces de surface</i>	102
<i>Tableau 15 : clé de remontage, résultats analyses IRTF</i>	104
<i>Tableau 16 : tableau récapitulatif des conditions thermohygro-métriques</i>	106
<i>Tableau 17 : gestion de l'imprécision de l'image, évolution du dispositif</i>	113
<i>Tableau 18 : répartition des angles lumineux pour les éprouvettes satinées.</i>	114
<i>Tableau 19 : répartition des angles lumineux pour les éprouvettes polies-miroirs.</i>	115
<i>Tableau 20 : dénomination des fichiers</i>	116
<i>Tableau 21 : protocole de prises de vue pour l'imagerie par la transformation de la réflectance</i>	116
<i>Tableau 22 : matériels pour la photographie sous fluorescence UV</i>	119
<i>Tableau 23 : protocole de prises de vue pour la photographie sous fluorescence UV</i>	120
<i>Tableau 24 : matériels pour la photographie standard en lumière blanche</i>	121
<i>Tableau 25 : protocole de prises de vue pour la photographie standard en lumière blanche, éclairage latéral</i>	121
<i>Tableau 26 : protocole de prises de vue pour la macrophotographie en lumière blanche.</i>	122
<i>Tableau 27 : exploitabilité des fichiers ITR pour les éprouvettes</i>	138
<i>Tableau 28 : exploitabilité des fichiers ITR pour les objets historiques.</i>	141

ANNEXE

Applications de l'imagerie par la transformation de la réflectance (ITR) pour l'identification et la caractérisation des verniss anciens sur les alliages cuivreux

Mémoire présenté par :

Rochat Rebecca

Pour l'obtention du

Bachelor of Arts HES-SO en Conservation
Objets scientifiques, techniques et horlogers

Année académique 2016-2017

Remise du travail : 17.07.2017

Jury : 28-30.08.2017

Nombre de pages : 89

Table des matières

Annexe 1 : Recettes des vernis	71
Annexe 2 : Protocoles de mesures et d'analyses	75
2.1. Mesures d'épaisseur	75
2.2. Spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier (IRTF)	76
Annexe 3 : Objets de l'étude	77
3.1. Eprouvettes planes	77
3.2. Eprouvettes cylindriques	81
3.3. Horloge électrique à mouvement secondaire	83
3.4. Frise d'une horloge en corne française	90
3.5. Pendulette de voyage	97
Identification / fiche d'identité	97
Annexe 4 : Conditions thermo-hygrométriques des éprouvettes	105
Annexe 5 : Méthodologie ITR	107
5.1. Construction d'un dispositif	107
5.2. Documentation photographique	111
5.3. Répartition des angles lumineux	114
Annexe 6 : Protocole des prises de vue	116
6.1. Imagerie par transformation de la réflectance	116
6.2. Fluorescence sous UV	119
6.3. Photographie standard en lumière blanche	121
Annexe 7 : Traitement informatique de l'image	123
7.1. Traitement de l'image sous Adobe Photoshop's Camera RAW	123
7.2. Création du fichier ITR avec le logiciel RTI Builder	127
7.3. Visualisation d'un fichier ITR avec le logiciel RTI Viewer	134
Annexe 8 : Résultats	138
8.1. Exploitabilité des résultats	138
8.2. Résultats sur les éprouvettes planes, critères 1-2 : mise en évidence des modes d'application et des paramètres du vernis	145
8.3. Eprouvettes planes, critère 3, mise en évidence des traces de surface	148
8.4. Horloge à mouvement secondaire, vernis jaune, critères 1-3	151
8.5. Avers de la frise, critères 1-2	152
8.6. Frise, critère 3	153
8.7. Pendulette de voyage, partie supérieure, critères 1-3	155
Annexe 9 : liste des documents sur le serveur :M	156

Annexe 1 : Recettes des vernis

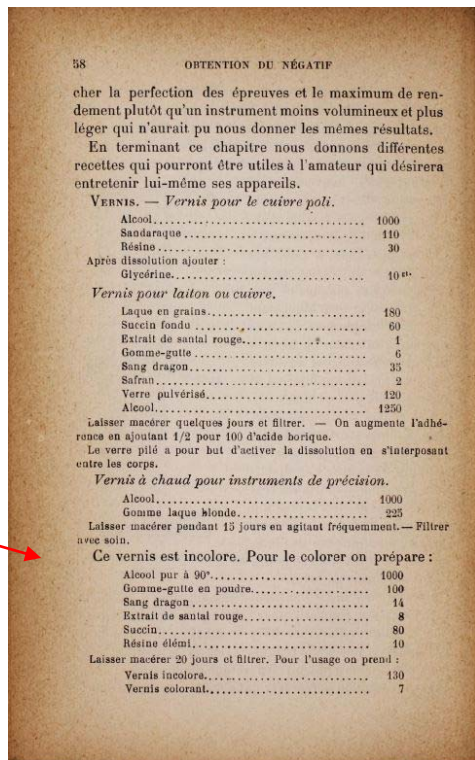


Figure 67 : vernis A (1893), gomme laque blonde © Bibliothèque Sainte, Genève.

156 MANUEL

de fumée, ou de bois de noyaux de pêche, on lutte les ouvertures, on met sur le feu le cylindre, et on l'y laisse jusqu'à ce que le noir et le bois des noyaux soit réduit en charbon. On met ensuite ce noir en poudre, et on le garde dans un endroit où il puisse se conserver très-sec.

Le vernis dont il est ici question, a besoin d'être étendu avec de l'esprit-de-vin, car autrement il serait trop épais; quand on veut s'en servir, on le met sur des cendres chaudes ou au soleil, puis on le verse dans une bouteille de verre qu'on bouche bien exactement, et on le laisse reposer; au bout de quelque temps, on retire de la bouteille la partie qui est claire, et on la remplace par une nouvelle quantité d'esprit-de-vin; on continue de la même manière jusqu'à ce qu'il ne reste plus rien dans la bouteille.

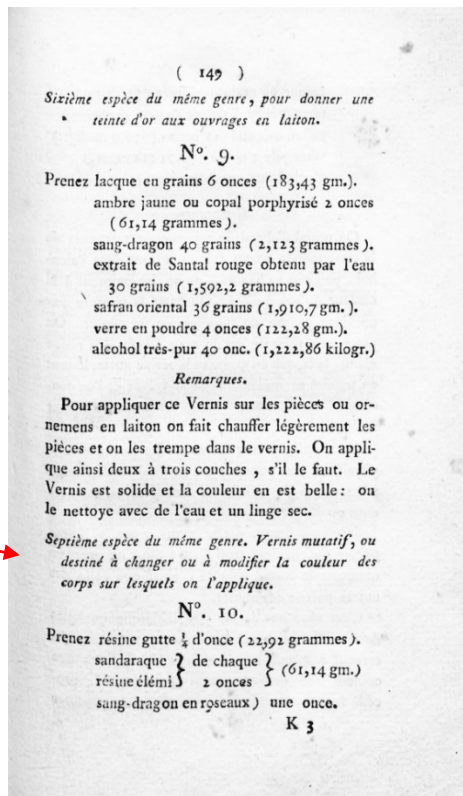
Quand on veut appliquer le vernis sur du carton ou du bois tendre, on commence par donner à la pièce deux couches de colle minérale: sans cette précaution on ne réussirait jamais.

Vernis anglais.

Ce vernis, quand il est bien employé, devient extrêmement dur; il se compose de la manière suivante: on prend deux livres d'esprit-de-vin, on y joint une once de mastic en larmes, et gros comme une noisette de gomme élémi; on y ajoute ensuite huit onces de sandaraque lavée dans de l'esprit-de-vin, et on fait dissoudre le tout dans un fort matras, sur des cendres chaudes; quand la dissolution est faite, on jette dedans une once d'essence de térbenthine, et gros comme une noix de camphre.

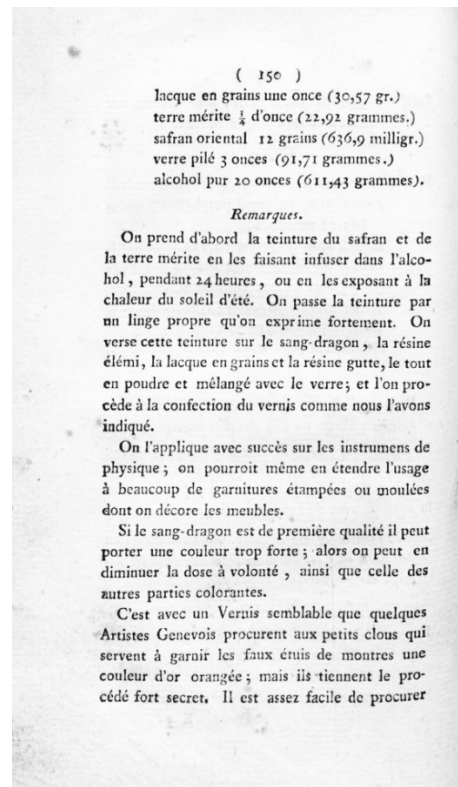
Source gallica.bnf.fr / Bibliothèque nationale de France

Figure 68 : vernis B (1839), vernis anglais. © Source gallica.bnf.fr



Source gallica.bnf.fr / Bibliothèque nationale de France

Figure 69 : vernis C (1803), vernis mutatif Tingry. © Source gallica.bnf.fr



Source gallica.bnf.fr / Bibliothèque nationale de France

Tableau 10 : Recettes des vernis sélectionnés (adaptées par Julie Schröter)

Ingrédient	Vernis A	Vernis B	Vernis C „Vernis or“
	Gomme laque blonde Londe, 1893 <i>Vernis pour instruments de précision</i> Aide-mémoire pratique de photographie	Valicourt, 1839 <i>Vernis Anglais</i> Nouveau manuel complet du tourneur	Tingry, 1803 <i>Vernis mutatif</i> Traité théorique et pratique sur l'art de faire et d'appliquer les vernis
Gomme-laque	225 g „gomme laque blonde“		30.57 g „lacque en grain“
Sandaraque		250 g	61.14 g
Elemi		„gros comme une noisette“	61.14 g
Mastic		30 g	
Camphre		„gros comme une noisette“	
Curcuma			22.92 g
Safran			636.9 mg
Gomme-gutte			22.92 g
Sang-dragon			30.57 g
Alcool éthylique	1 Kg	1 Kg „esprit de vin“	611.43 g „alcool pur“
Térébenthine		30 g	
Verre pillé			91.71 g

Turmeric saffron



Figure 70 : ingrédients du vernis C. © HE-Arc CR, JSC

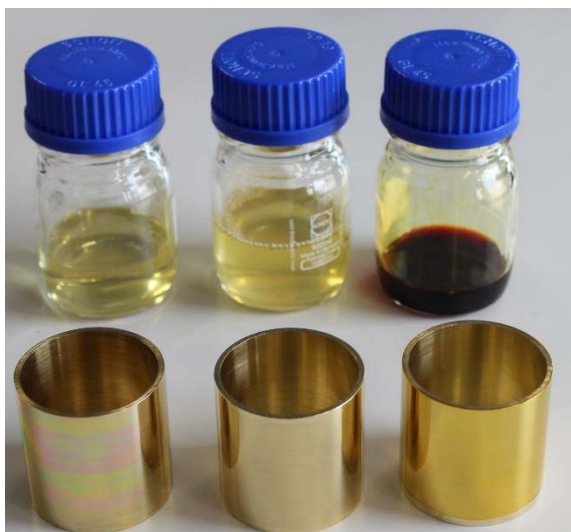


Figure 71 : éprouvettes cylindriques vernies. De gauche à droite, vernis A, vernis B, vernis C. © HE-Arc CR, JSC



Figure 72 : dégraissage des éprouvettes à l'acétone.
© HE-Arc CR, JSC

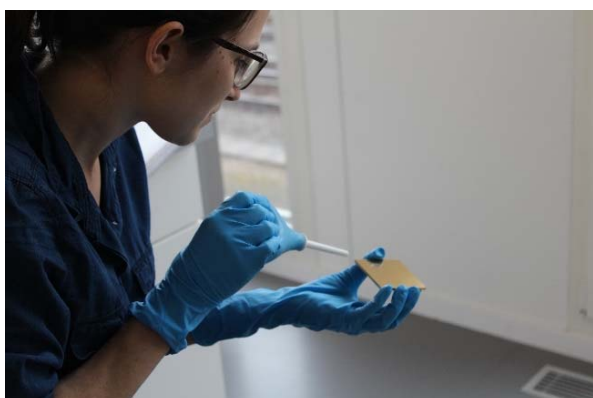


Figure 73 : dépoussiérage avec une poire dépoussiérante avant l'application du vernis. © HE-Arc CR, JSC

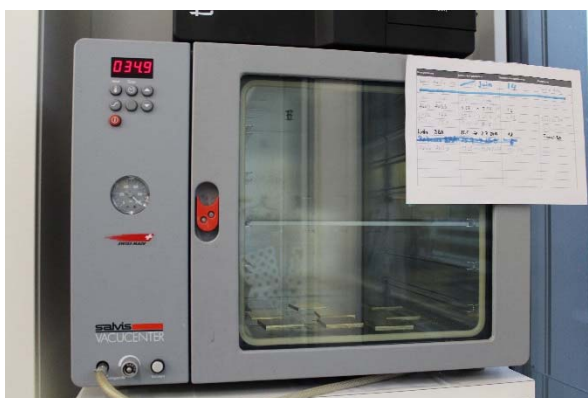


Figure 74 : éprouvettes chauffées dans l'étuve. © HE-Arc CR, JSC

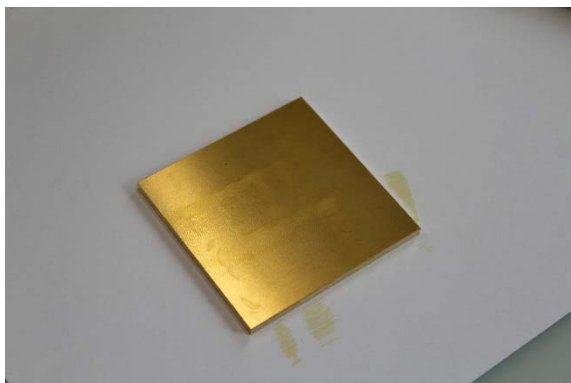


Figure 75 : phénomène de voilage sur une des premières éprouvettes vernies. © HE-Arc CR, JSC



Figure 76 : décapeur thermique.



Figure 77 : conditionnement d'origine des éprouvettes. © HE-Arc CR, JSC



Figure 78 : premier conditionnement pour les éprouvettes planes vernies.

Annexe 2 : Protocoles de mesures et d'analyses

2.1. Mesures d'épaisseur

Les mesures d'épaisseur réalisées par courant Foucault (*eddy current*), soit par induction électromagnétique, est une technique de mesure non invasive. Elle est adaptée pour mesurer un revêtement mauvais conducteur électrique sur un métal non ferreux. Le principe des courants Foucault est basé sur le courant alternatif de haute fréquence¹²³.

L'appareil utilisé est le Phynix Surfex employé avec une sonde de type FN 0.2. La plage de mesure de cette sonde est comprise entre 0 et 200 μm . Elle peut être utilisée à la fois pour le fer, l'acier et les métaux non ferreux. La précision de la mesure (sur une surface plane), pour la calibration sélectionnée, est de : +/- 2,5 μm ou 2,5 % (la valeur la plus importante obtenue est valable dans ce cas)¹²⁴.



Figure 79 : mesures des épaisseurs.

Protocole pour la mesure d'épaisseur sur les alliages cuivreux :

1. Régler la calibration sur « workscalibration/werkskalibrierung »,
2. Mettre le mode de mesure sur non ferreux,
3. Appliquer la sonde perpendiculaire sur une surface plane. La mesure est effectuée point par point,
4. Effectuer plusieurs mesures isolées sur la surface (couches de vernis irrégulières),
5. Relever la mesure et son emplacement sur un schéma.

Les mesures n'ont été effectuées que sur des surfaces planes et régulières (non applicables pour la frise et les éprouvettes cylindriques). Les facteurs géométriques (par exemple une faible courbure) vont affecter la mesure. Ces surfaces nécessitent une calibration particulière qui sera déterminée pendant le projet LacCa. Si les valeurs sont négatives, cela indique les limites de l'appareil à mesurer une épaisseur (rayures, bord de l'objet, vernis extrêmement fin).

¹²³ Zani, 2003, p. 63-64

¹²⁴ Données transmises par le fournisseur Phynix

2.2. Spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier (IRTF)

La spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier (IRTF) est une analyse moléculaire. Elle permet d'identifier les liaisons chimiques des composés d'un échantillon. Lorsque le rayonnement infrarouge éclaire les molécules, son énergie est absorbée. C'est en analysant cette absorption que l'on détermine la nature des molécules¹²⁵.

Les analyses ont été effectuées à la Haute-Ecole Arc le 18 mai 2017, par Laura Brambilla, docteure en chimie et adjointe scientifique de la conservation dans l'équipe Recherche Appliquée et Développement (RA&D). L'appareil utilisé est un Micro-IRTF Thermo Scientific, modèle Nicolet iN10Mx muni d'un détecteur MCT (Mercury Cadmium Telluride), refroidit à l'azote liquide. L'appareil analyse une région spectrale entre 4000 et 600 cm^{-1} . La pénétration de la mesure est d'environ 5 microns. Les spectres sont analysés et interprétés avec le logiciel Thermo Scientific Omnic Picta.

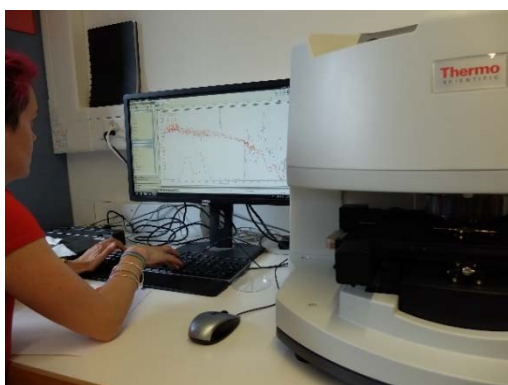


Figure 80 : interprétation des résultats

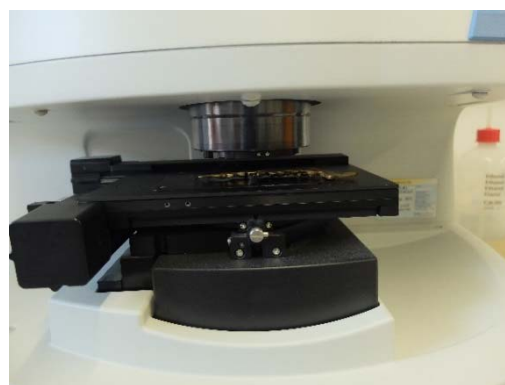


Figure 81 : analyse de la frise.

Pour faire une analyse non destructive (sans prélèvement) et sans contact, les analyses sont effectuées en mode réflexion. Le faisceau infrarouge va traverser le vernis, transparent, et être réfléchi par la surface métallique pour retourner vers le détecteur. Pour enregistrer le bruit de fond, des mesures sont effectuées sur un revêtement en or.

¹²⁵ Walter et Cardinali, 2013, p. 165

Annexe 3 : Objets de l'étude

3.1. Eprouvettes planes

Photographies



Figure 82 : éprouvette polie-miroir, 14, vernis A. Photographie standard en lumière blanche, angle lumineux 45°.



Figure 83 : éprouvette 14, polie-miroir vernis A. Photographie sous fluorescence UV



Figure 84 : éprouvette 15, polie-miroir, vernis B. Photographie standard en lumière blanche, angle lumineux 45°.



Figure 85 : éprouvette 15, polie-miroir vernis B. Photographie sous fluorescence UV



Figure 86 : éprouvette 2 polie-miroir, vernis C. Photographie standard en lumière blanche, angle lumineux 45°.

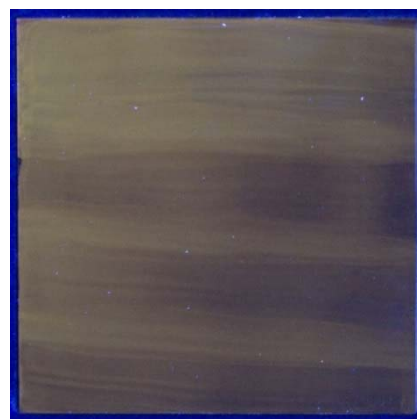


Figure 87 : éprouvette 2, polie-miroir, vernis. Photographie sous fluorescence UV



Figure 88 : éprouvette 5, polie-miroir, sans vernis. Photographie standard en lumière blanche, angle lumineux 45°.

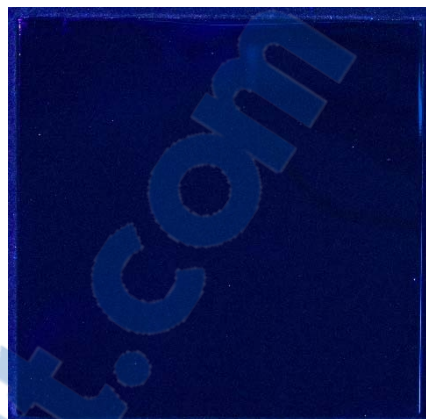


Figure 89 : éprouvette 5, polie-miroir, sans vernis. Photographie sous fluorescence UV



Figure 90 : éprouvette 40, satinée, sans vernis. Photographie standard en lumière blanche, angle lumineux 45°.

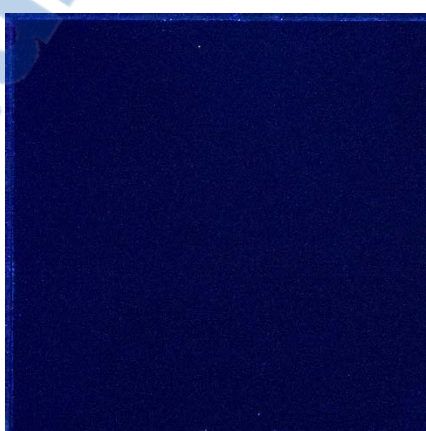


Figure 91 : éprouvette 40, satinée, sans vernis. Photographie sous fluorescence UV



Figure 92 : éprouvette 31, satinée, vernis A. Photographie standard en lumière blanche, angle lumineux 45°.

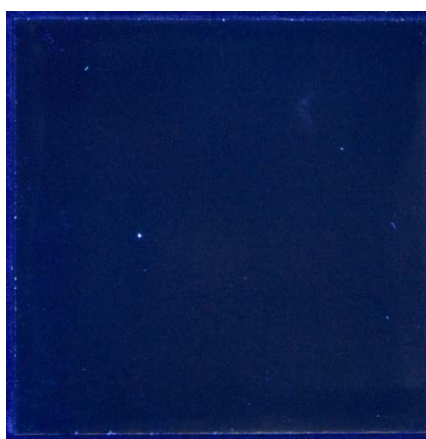


Figure 93 : éprouvette 31, satinée, vernis A. Photographie sous fluorescence UV



Figure 94 : épreuve 38, satinée, vernis B. Photographie standard en lumière blanche, angle lumineux 45°.

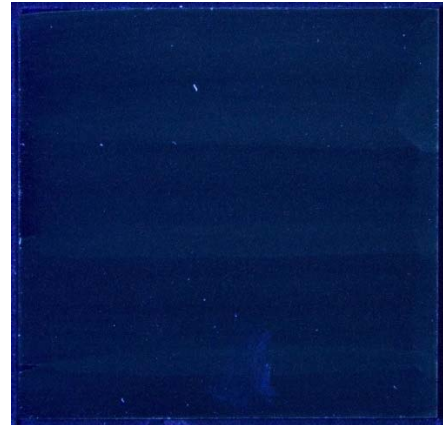


Figure 95 : épreuve 38, satinée, vernis B. Photographie sous fluorescence UV



Figure 96 : épreuve 33, satinée, vernis C. Photographie standard en lumière blanche, angle lumineux 45°.



Figure 97 : épreuve 33, satinée, vernis C. Photographie sous fluorescence UV

Constat d'état

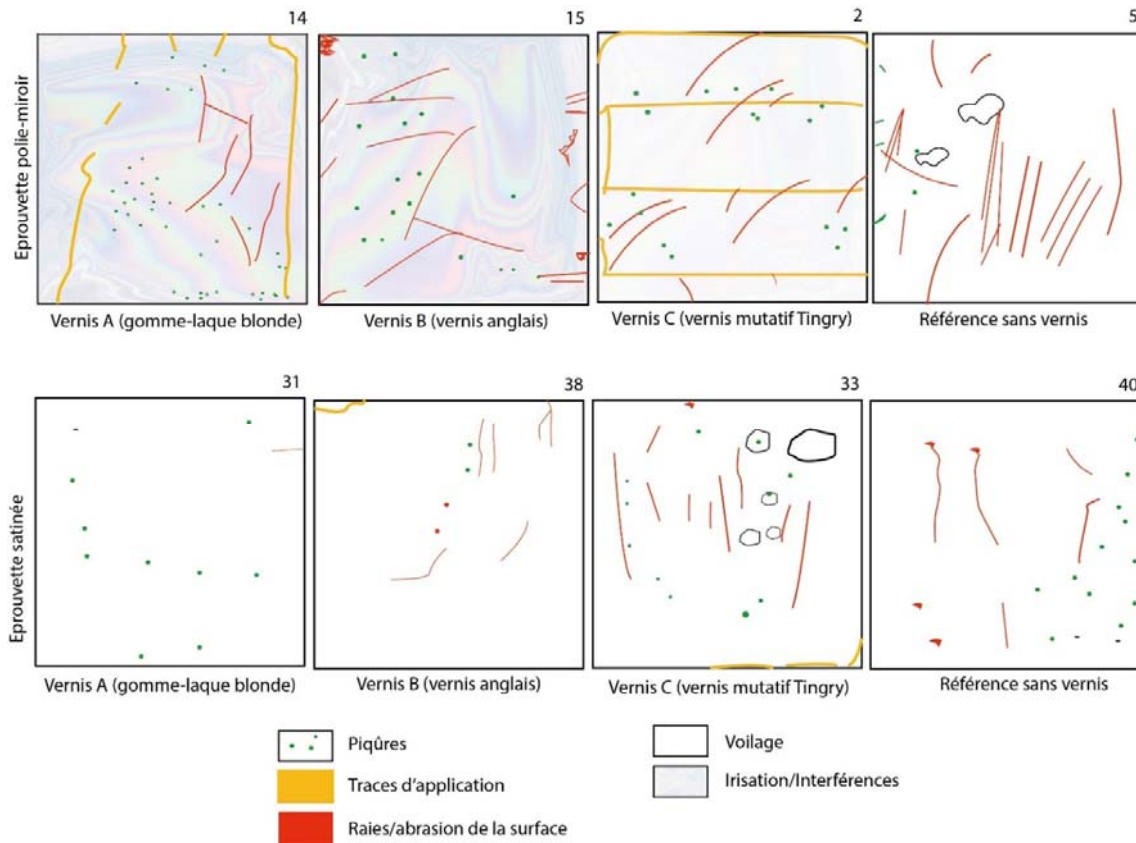


Figure 98 : constat d'état des éprouvettes planes.

Mesures épaisseur

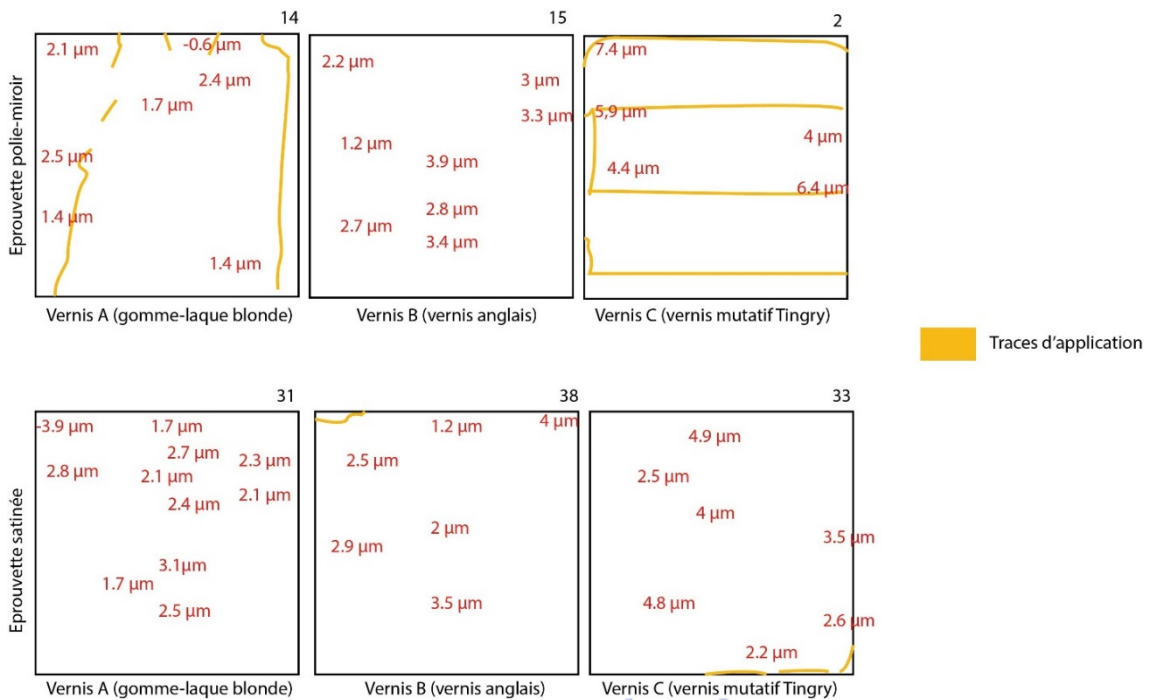


Figure 99 : mesures d'épaisseur par Courant Foucault sur les éprouvettes planes.

3.2. Eprouvettes cylindriques

Photographies



Figures 101, 102, 103 : éprouvette 10, polie-miroir, sans vernis. Photographie standard en lumière blanche.

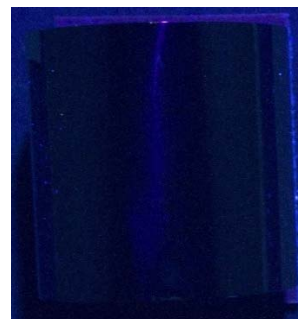


Figure 100 : éprouvette 10, polie-miroir, sans vernis. Photographie sous fluorescence UV



Figures 105, 106, 107 : éprouvette 7, polie-miroir, vernis A. Photographie standard en lumière blanche.

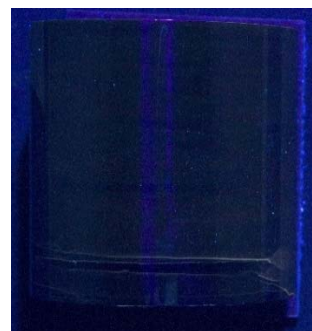


Figure 104 : éprouvette 7, polie-miroir, vernis A. Photographie sous fluorescence UV



Figures 109, 110, 111 : éprouvette 8, polie-miroir, vernis B. Photographie standard en lumière blanche.

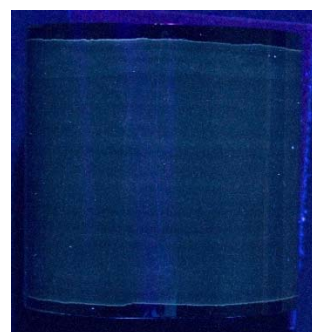


Figure 108 : éprouvette 8, polie-miroir, vernis B. Photographie sous fluorescence UV

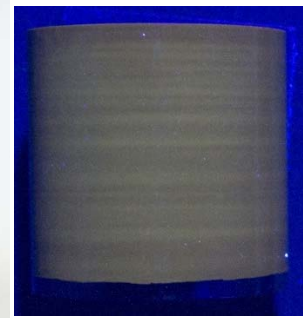


Figure 112 : éprouvette 9, polie-miroir, vernis C
Photographie sous fluorescence UV

Figures 113, 114, 115 : éprouvette 9, polie-miroir, vernis C. Photographie standard en lumière blanche.

Constat d'état

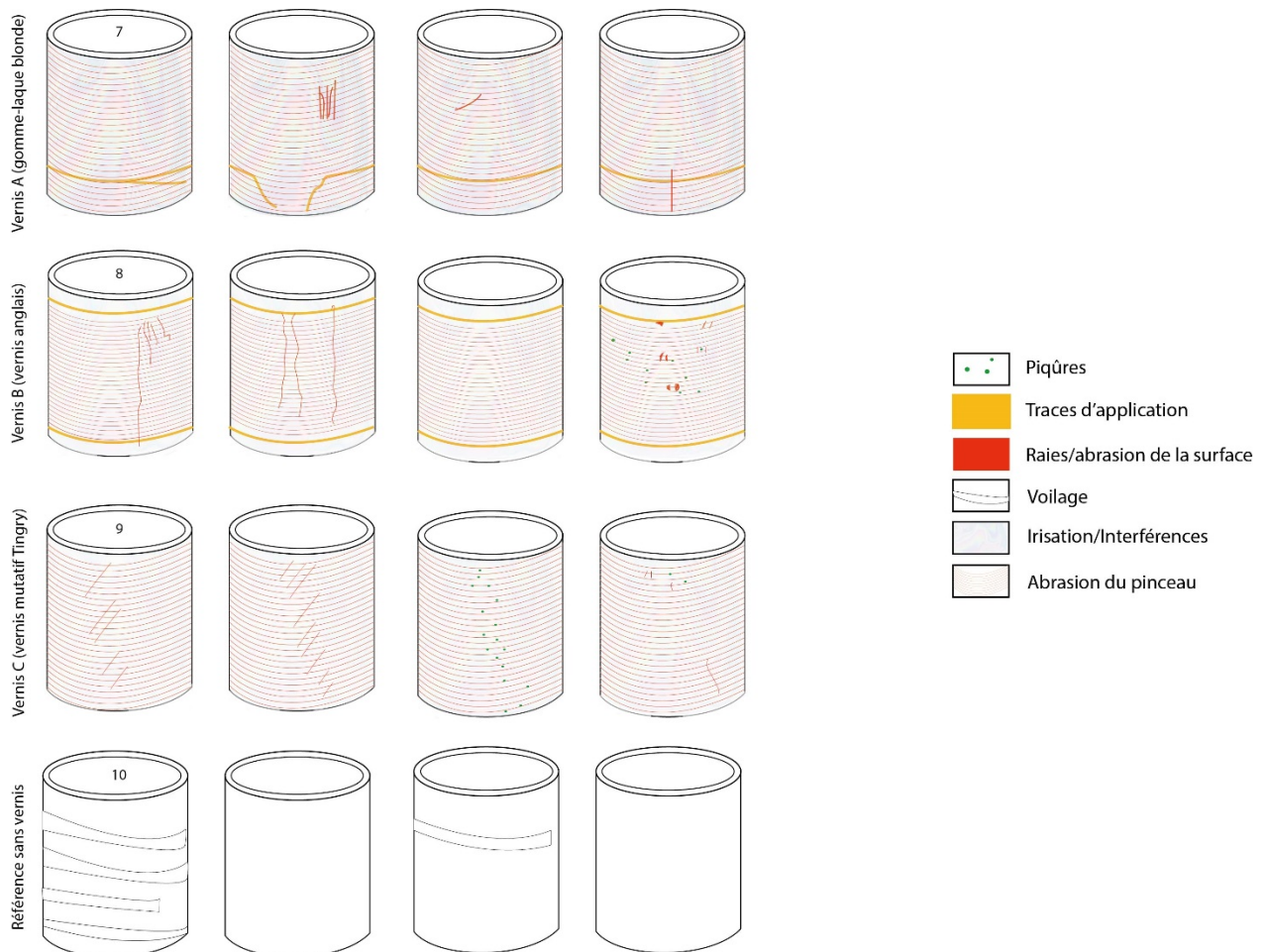


Figure 116 : constats d'état des éprouvettes cylindriques.

3.3. Horloge électrique à mouvement secondaire

Identification / fiche d'identité

IDENTIFICATION ET EXAMEN DE L'OBJET	
<u>Désignation usuelle</u> :	
Horloge électrique à mouvement secondaire	
<u>N° d'inventaire de l'institution</u>	
IV-1035	
<u>Dimensions max.</u> (L x l x h) : 16.7 x 9 x 14.7 cm	
<u>Sens, statut, valeur culturelle de l'objet</u> :	
La valeur culturelle attribuée est une valeur scientifique et historique (entreprise Peyer et Favarger).	
<u>Matériaux et techniques</u>	
Alliage cuivreux, vernis organiques, bois, textile, alliages ferreux, acier bleuie	
<u>Technique de fabrication</u> : les différentes pièces métalliques sont usinées par laminages, tournages, fraisages et ponçages. Les vis sont en acier bleuie. Les roues d'engrenage sont estampées.	
<u>Datation, contexte, environnement de conservation</u> :	
Datation : vers 1900 (1889-1908 ¹²⁶)	
Origine et contexte : fabriqué par l'entreprise Peyer et Favarger, successeurs de M. Hipp	
Lieu de conservation : Musée International de l'Horlogerie	

Description

Il s'agit d'une horloge électrique à mouvement secondaire. Ces horloges sont des compteurs d'impulsions, qui sont additionnés sous forme de minutes et d'heures sur un cadran. Elles ne peuvent ainsi pas donner l'heure mais nécessitent « *une horloge-mère qui envoie des impulsions à intervalles réguliers.* ¹²⁷»

L'horloge, fixée à un socle en plexiglas, se compose de deux platines en laiton vernies (une complète de couleur jaune et une partielle de couleur orange) reliées par des piliers secondaires et fixées par des vis en acier bleuis (fig. 117-118). Pour chacune, une roue d'engrenage centrale est fixée à un arbre en

¹²⁶ Période durant laquelle l'entreprise de Hipp est reprise par les deux ingénieurs Peyer et Favarger. En 1908, l'entreprise Peyer, Favarger & Cie, Successeurs de Hipp devient Favarger & Cie (Schraven, 2003, p. 24-27).

¹²⁷ Viredaz, 2010 [En ligne] ; Entretien avec François Goetz, enseignant de physique à la HE-Arc, le 12 mai 2017.

alliages ferreux et maintenues par des plaquettes métalliques percées. Les éléments du mouvement horloger (roue d'échappement avec ses pignons) sont maintenus par l'intermédiaire de ces deux platines. Sous la platine partielle orange, on distingue les bobines, constitutives de l'électroaimant, sont enrobées d'un textile de couleur noir et entourée d'une partie en fer. L'électroaimant, ici à armature polarisée, va mettre en fonction le mécanisme pour le réglage de l'heure. C'est l'organe moteur des horloges électriques secondaires. Ce dernier est constitué d'une partie fixe (un bobinage magnétique) et d'une armature mobile, qui va produire le mécanisme quand l'électroaimant est excité¹²⁸. Les câbles électriques sont entourés de gaines isolantes en textile tressé de couleur vert. On distingue une vis de réglage située au-dessus du ressort à relâchement. L'aimant, en forme W, est situé par-dessus les bobines, avec à chaque extrémité un pôle nord N et un sud S. Le n° série 16384 est poinçonné à l'arrière de la platine vernie jaune.

¹²⁸ Degrigny, Jeanneret et Rapp, 2016, p. 140

Photographies



Figure 117 : vernis jaune sur une platine en alliages cuivreux. Photographie standard en lumière blanche.



Figure 118 : vernis orange appliqué sur une platine en alliage cuivreux. Le système électroaimant, constitué notamment des bobines, est situé en dessous. Photographie standard en lumière blanche.

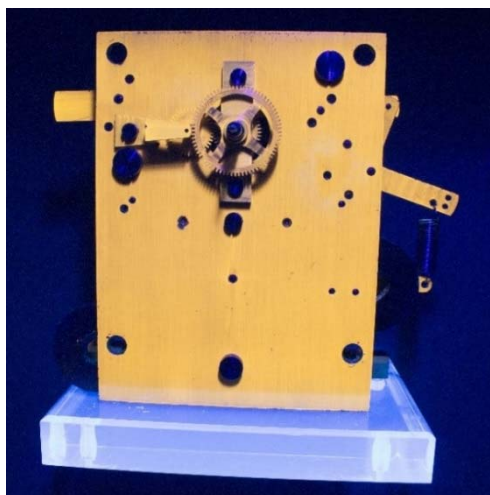


Figure 119 : autofluorescence orange clair du vernis de couleur jaune. Photographie sous fluorescence UV.

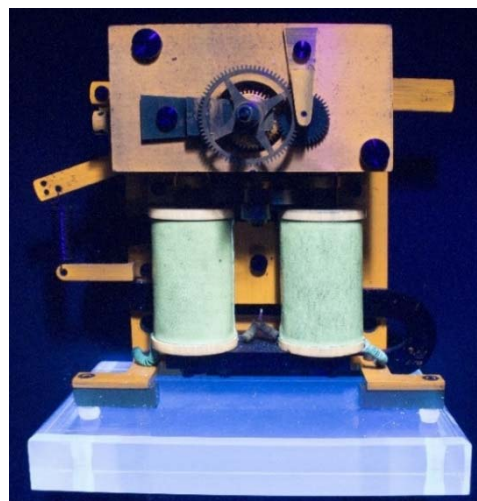


Figure 120 : autofluorescence orange foncé du vernis de couleur orange. Photographie sous fluorescence UV. Le trait violacé correspond à la réflexion de la lampe UV.

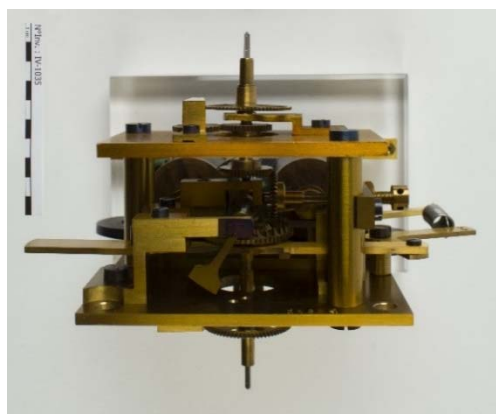


Figure 121 : horloge à mouvement secondaire, vue de dessus. Entre les deux platines, le mouvement horloger. Photographie standard en lumière blanche

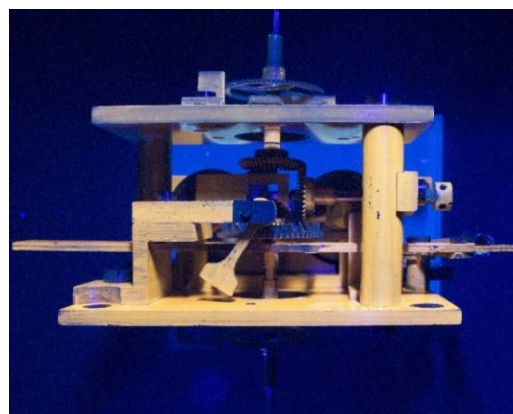


Figure 122 : horloge à mouvement secondaire, vue de dessus. Photographie sous fluorescence UV.

Constat d'état



Figure 123 : constat d'état du vernis de couleur jaune.

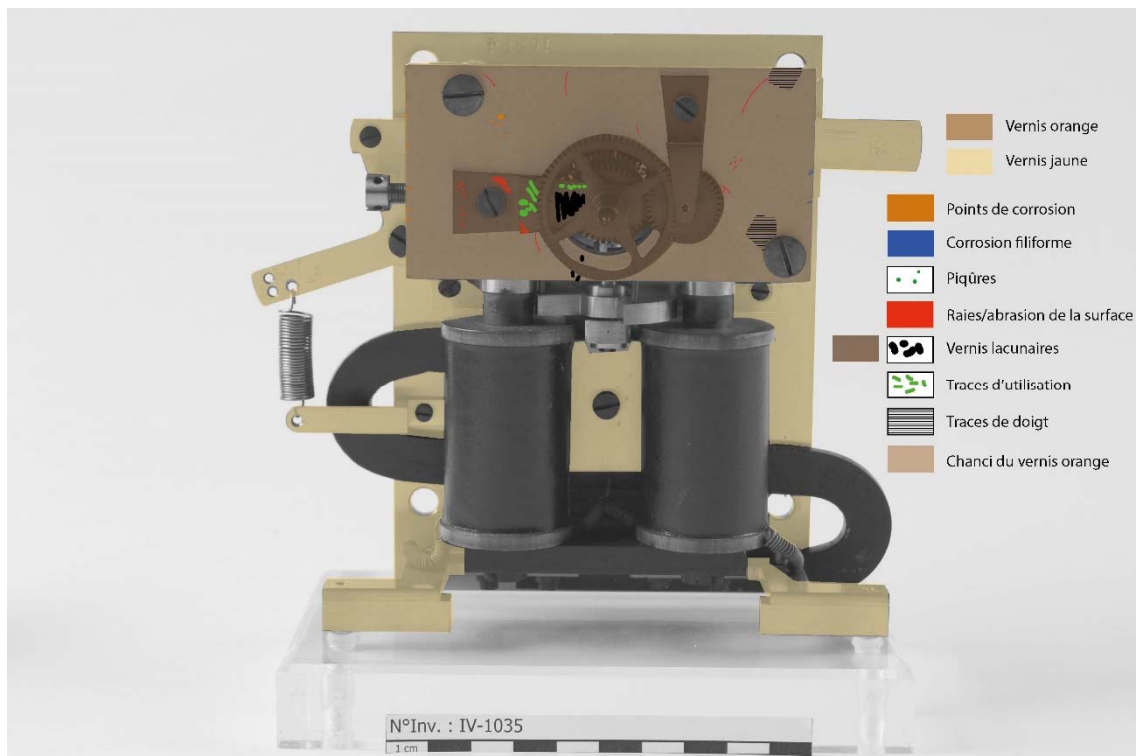

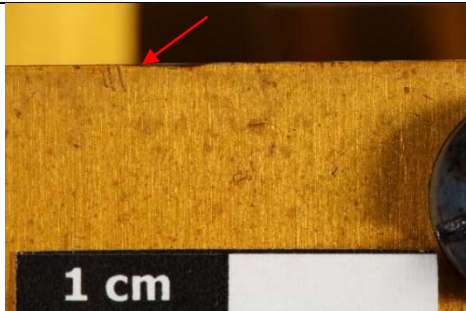




Figure 124 : constat d'état du vernis de couleur orange.

Tableau 11 : constat d'état, description des altérations des matériaux et des traces de surface

Zone	Localisation	Altérations/Traces d'usure	Diagnostic	Photographies
Deux platines	Voir fig. 123-124	Abrasion, rayures	Usure naturelle, de par son utilisation et la manipulation.	
Deux platines	L'ensemble de la surface	Empoussièrément généralisé	Accumulation logique de saletés et de poussières	
Platine orange	Partie droite de la platine	Traces de doigts (fig. 125)	Probablement apparues lors d'une précédente manipulation	 <p>Figure 125 : chanci du vernis, avec traces de doigts visibles. Macrophotographie en lumière blanche.</p>
Platine orange	Toute la surface	Chanci (fig. 125). Il engendre une opacification et un blanchiment du vernis.	Le chanci est une microfissuration du vernis qui se développe lorsque le taux d'humidité relative est élevé ¹²⁹ .	
Platine orange	Dans les bords, voir fig. 124	Corrosion filiforme (fig. 126). Des fins filaments d'une corrosion filiforme sont visibles au niveau des arrêtes de la platine.	La corrosion filiforme est un type de corrosion qui se développe sous un revêtement organique ¹³⁰ . La corrosion va débiter prioritairement dans les bords, où le revêtement est défectueux.	 <p>Figure 126 : corrosion filiforme au niveau de l'arrête de la platine orange.</p>

¹²⁹ Petit et Valot, 1991, p. 26¹³⁰ Selwyn, 2004, p. 35

Platine orange	Grande roue d'engrenage, plaquettes métalliques, sous la grande roue d'engrenage	Vernis orange lacunaire	Abrasion du vernis pendant l'utilisation de l'horloge.	
Platine orange	Plaquette métallique reliée à la grande roue d'engrenage	Traces d'utilisation qui se présentent sous la forme de trous/cratères à intervalle régulière dans le métal.	Contraintes mécaniques durant l'utilisation de l'horloge.	<i>Figure 127 : détail des traces d'utilisation sur la plaquette métallique. On perçoit sous la roue d'engrenage le vernis orange lacunaire.</i>
Platine orange	Toute la surface	Taches d'oxydation	Perte de l'imperméabilité du vernis. La surface du métal est en contact avec l'oxygène, l'humidité relative et autres polluants atmosphériques ¹³¹ .	
Deux platines	Préférentiellement dans les bords	Piqûres de cavités circulaires	Défauts de fabrication	
Platine jaune	Deux trous de vis du bas de la platine	Dépôts exogènes noirs autour de deux trous de vis	Probablement un frottement entre la surface métallique et d'anciennes vis, aujourd'hui manquantes.	

¹³¹ Jeanneret, 2010, p. 42

Mesures d'épaisseur courant Foucault

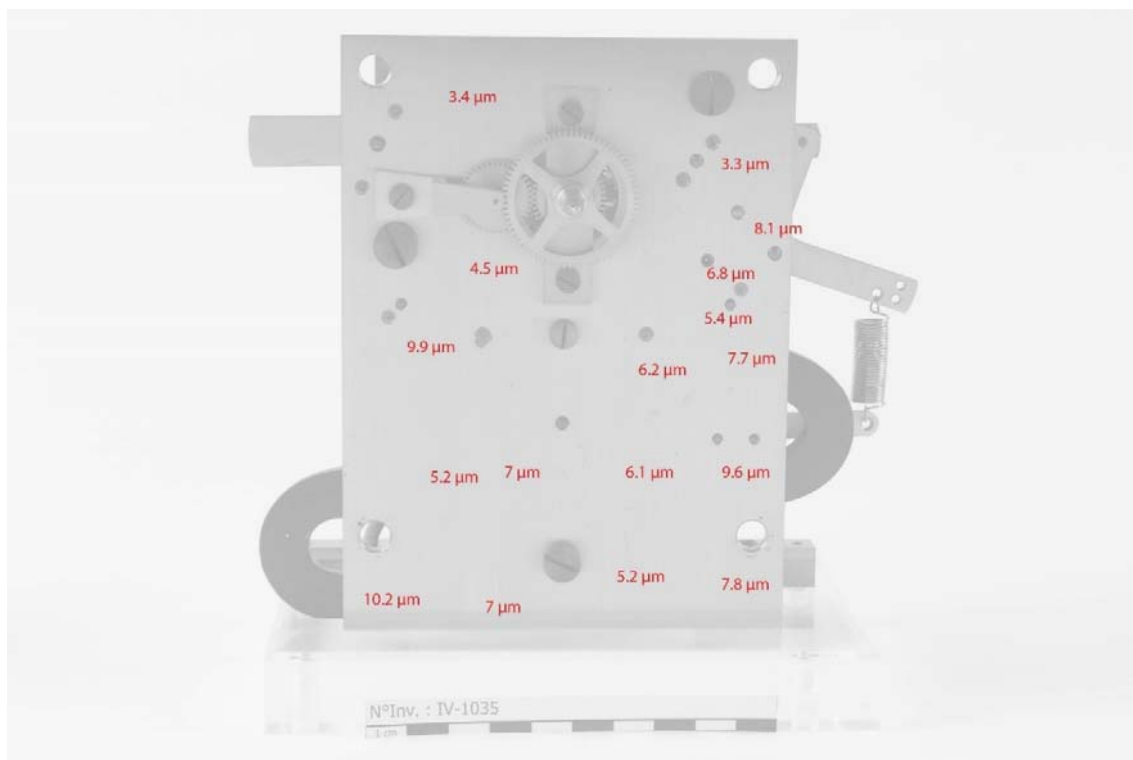


Figure 129 : mesures d'épaisseur par courant Foucault sur le vernis jaune.

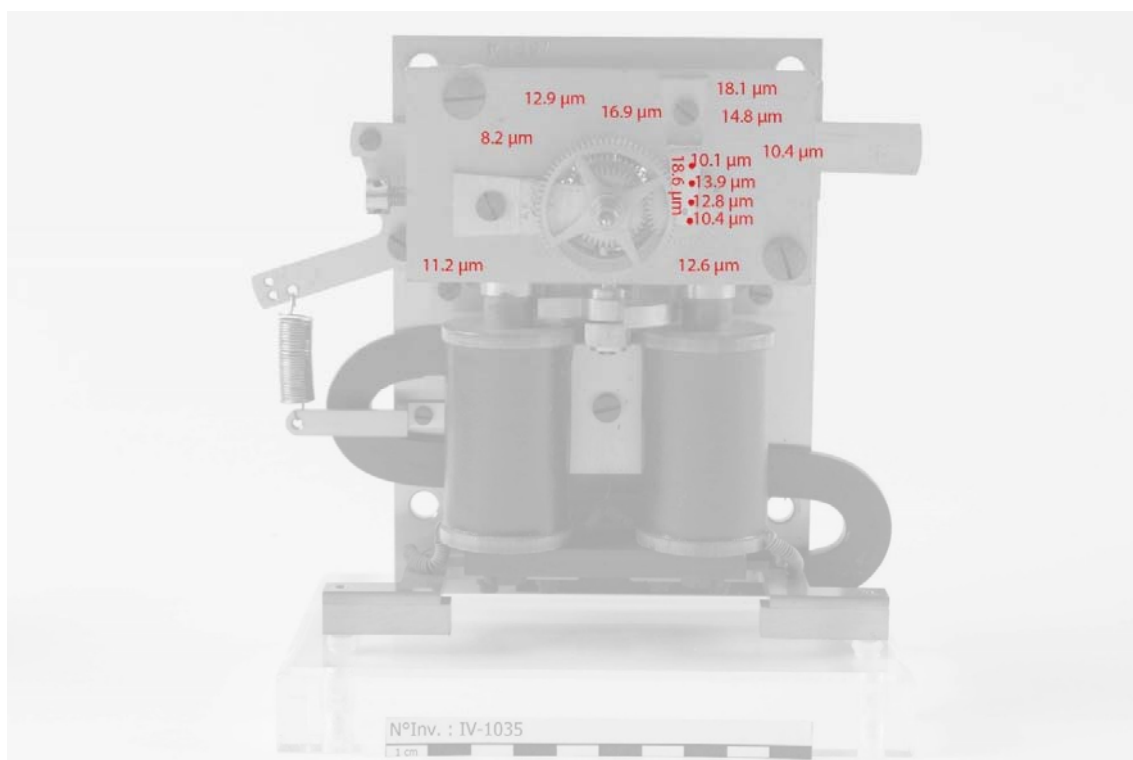


Figure 130 : mesures d'épaisseur par courant Foucault sur la platine vernie de couleur orange.

3.4. Frise d'une horloge en corne française

Identification / fiche d'identité

IDENTIFICATION ET EXAMEN DE L'OBJET	
<u>Désignation usuelle</u> (<i>nom, fonction</i>) :	
Frise forale provenant d'une horloge en corne française (aussi appelé cartel)	
<u>N° d'inventaire de l'institution</u>	
IV-957	
<u>Dimensions</u> (L x l x h) : 13.5 x 4.5 x 0.7 cm	
<u>Sens, statut, valeur culturelle de l'objet</u> :	
La valeur culturelle attribuée à la frise est une valeur esthétique (art décoratif).	
<u>Matériaux et techniques</u>	
Alliage cuivreux, dorure (?), corne L'analyse XRF a révélé la présence de cuivre et de zinc. Il s'agit d'un laiton. Nous ne pouvons pas affirmer une dorure en surface. Les pics de l'or se trouvent au même emplacement du zinc. L'analyse IRTF a révélé la présence d'huile de lin et de colorants (ocre et alizarine).	
<u>Technique de fabrication</u> : fonte au sable (?), pétales brunies et décors ciselures en mat sablé. Le revers est limé.	
<u>Datation, contexte, environnement de conservation</u> :	
Datation : milieu du XVIIIe siècle	
Origine et contexte : fabriqué par Bailly l'Ainé, à Paris	
Lieu de conservation : Musée International de l'Horlogerie (MIH)	

Description

Il s'agit d'une frise forale prélevée sur la partie droite de la console d'une horloge en corne française en placage de corne verte, avec ornements dorés. Sur l'avant, le centre des pétales est brun et le décor est en ciselures en mat sablé. Une substance brune-orange (autofluorescence UV orange clair) recouvre en partie le revers.

Photographies



Figure 131 : avers de la frise. Photographie standard en lumière blanche.



Figure 132 : avers de la frise. Photographie sous fluorescence UV. Les zones violacées ne correspondent pas à l'autofluorescence d'une substance mais à la réflexion de la lampe UV.



Figure 133 : revers de la frise. Photographie standard en lumière blanche.

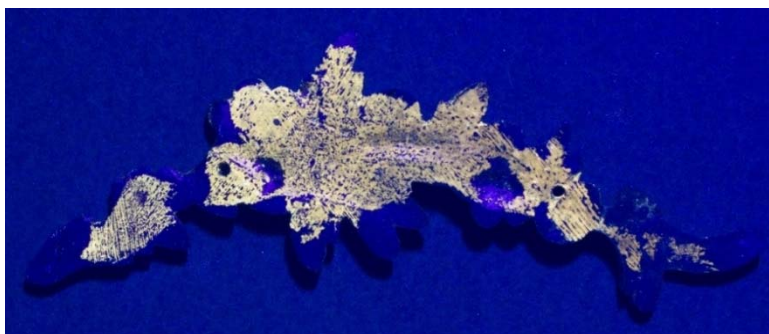


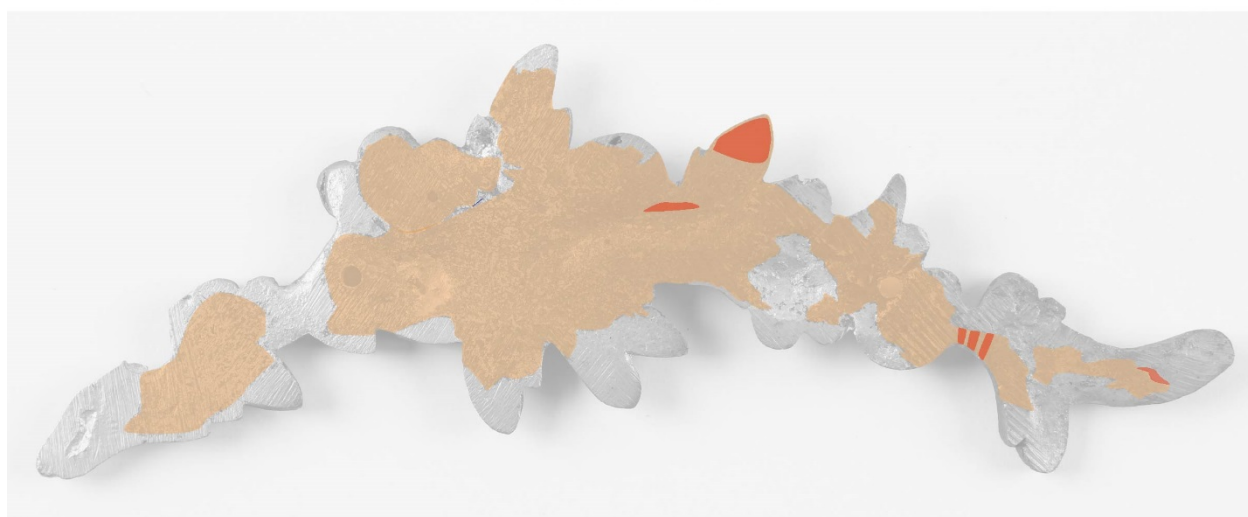
Figure 134 : revers de la frise. Photographie sous fluorescence UV.

Constat d'état

Avers de la frise



Verso de la frise



 Abrasion surface dorée  Substance brune

Figure 135 : constat d'état de la frise.

Tableau 12 : constat d'état, description des altérations des matériaux et des traces de surface

Zone	Localisation	Altérations/Traces de surface	Diagnostic
Avers	Extrémité gauche	Abrasion, rayures	Frottement avec d'autres pièces de l'horloge ou traces usure
Revers	Voir fig. 135		
Revers	Voir fig. 135	Substance brune-orange lacunaire.	Perte de la substance pendant l'usinage (?)
Revers	Extrémité droite	Encrassement de surface	Accumulation de saletés
Avers	Toute la surface	Ternissement de surface. L'analyse IRTF confirme un produit de corrosion cuivreux, probablement un sulfate de cuivre) (spectre 3, p. 95).	Le ternissement de surface peut être lié à une dorure extrêmement fine. A travers les porosités de la dorure, l'alliage cuivreux sous-jacent peut se ternir plus rapidement.



Figure 136 : avers de la frise, détails du polissage du centre des pétales.



Figure 137 : avers de la frise, détail du ternissement de surface et de la coloration brunâtre.

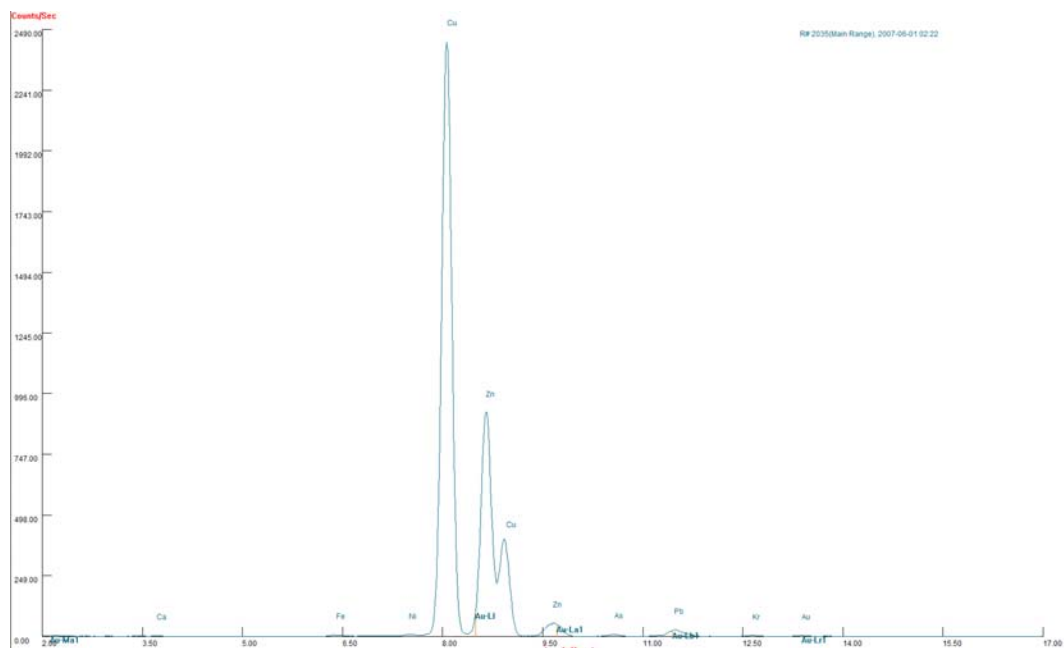


Figure 138 : détail de l'abrasion de surface de l'extrémité gauche de l'avers de la frise.

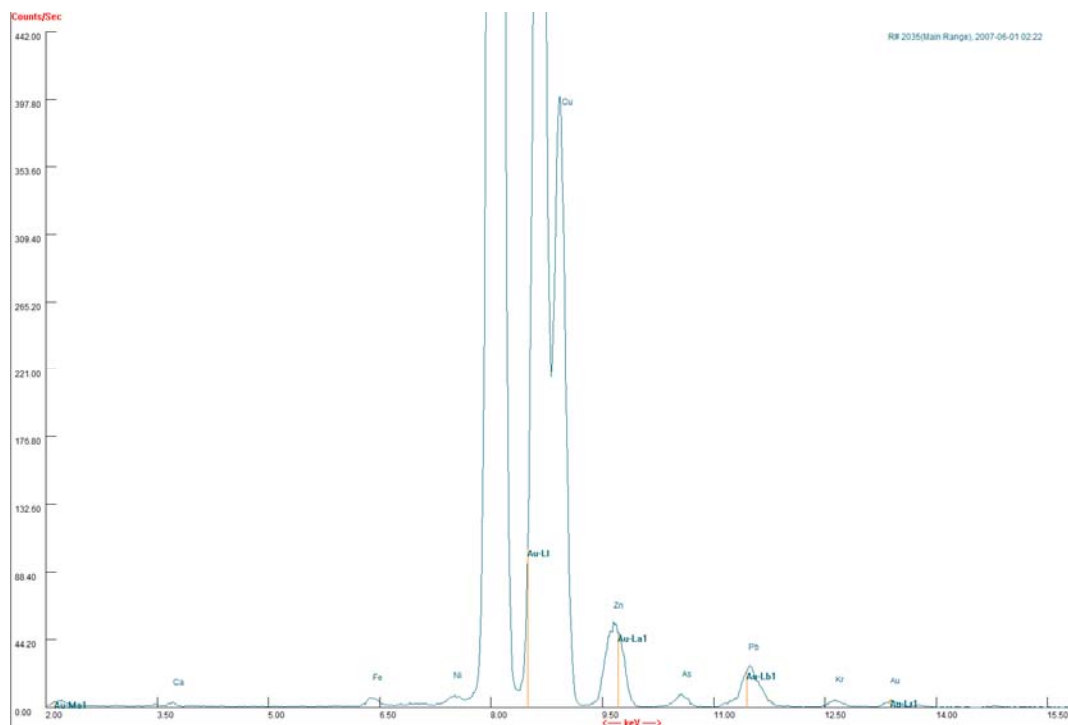


Figure 139 : revers de la frise, détails des traces de limages et de la substance brune-orange lacunaire.

Analyses XRF



Spectre 1 : spectre XRF. Frise, surface arrière. Analyse en mode « Mining ». © HE-Arc CR, Aline Michel



Spectre 2 : spectre XRF partiel. Frise, surface arrière : difficile de déterminer s'il y a de l'or sur le laiton en raison des pics du zinc qui se trouvent aux mêmes emplacements. Analyse en mode « Mining ». © HE-Arc CR, Aline Michel

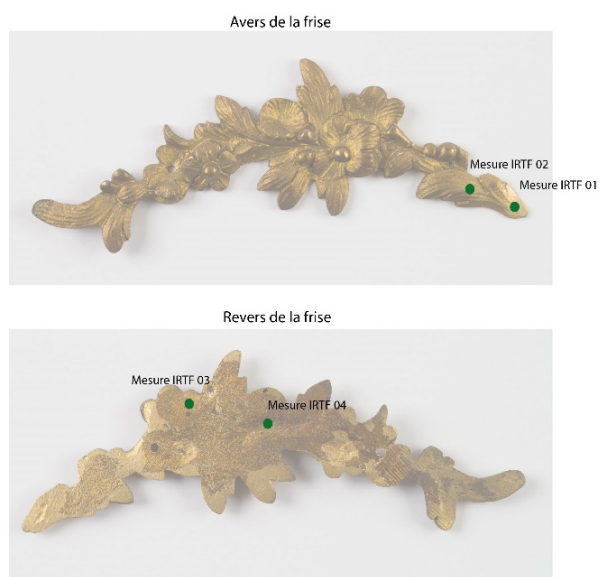
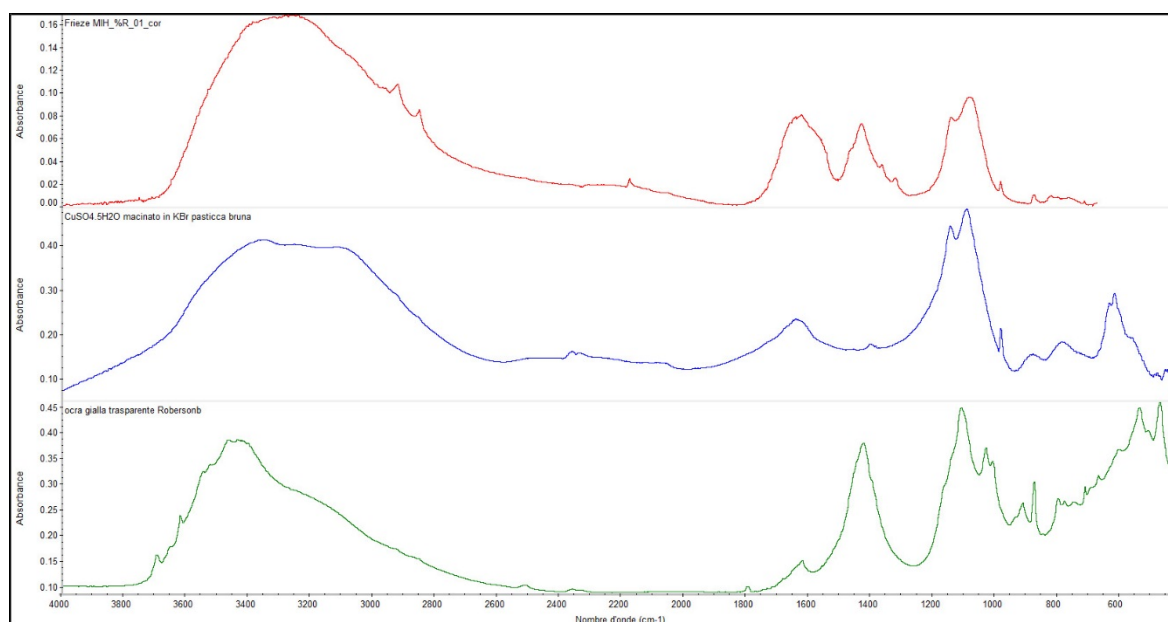
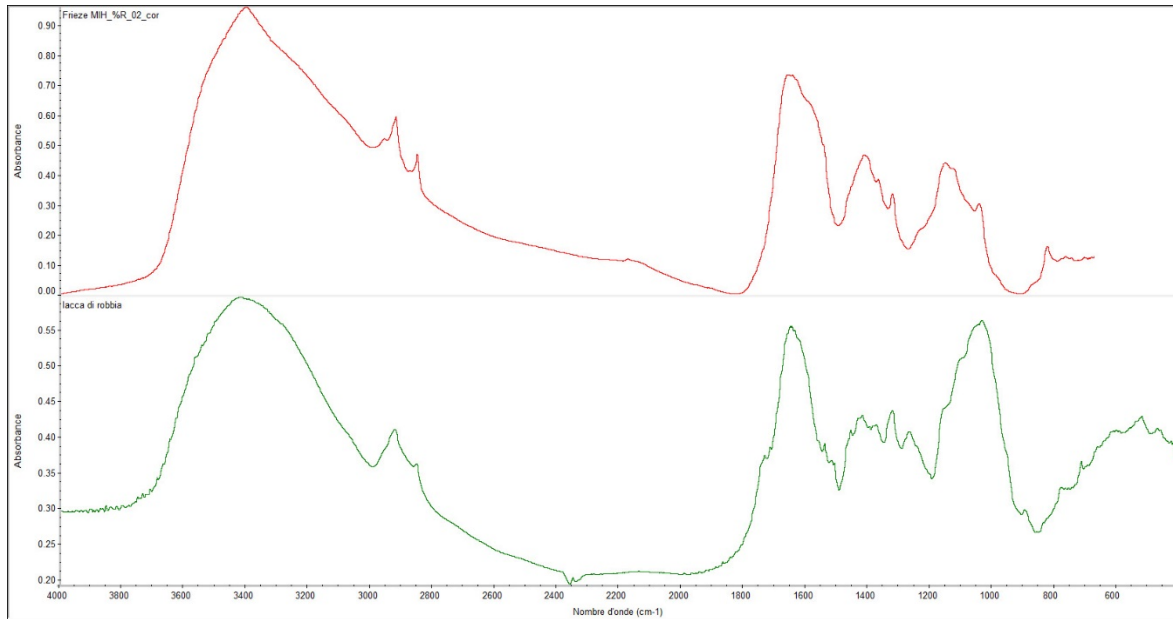
Analyses IRTF

Figure 140 : localisation des mesures IRTF sur la frise

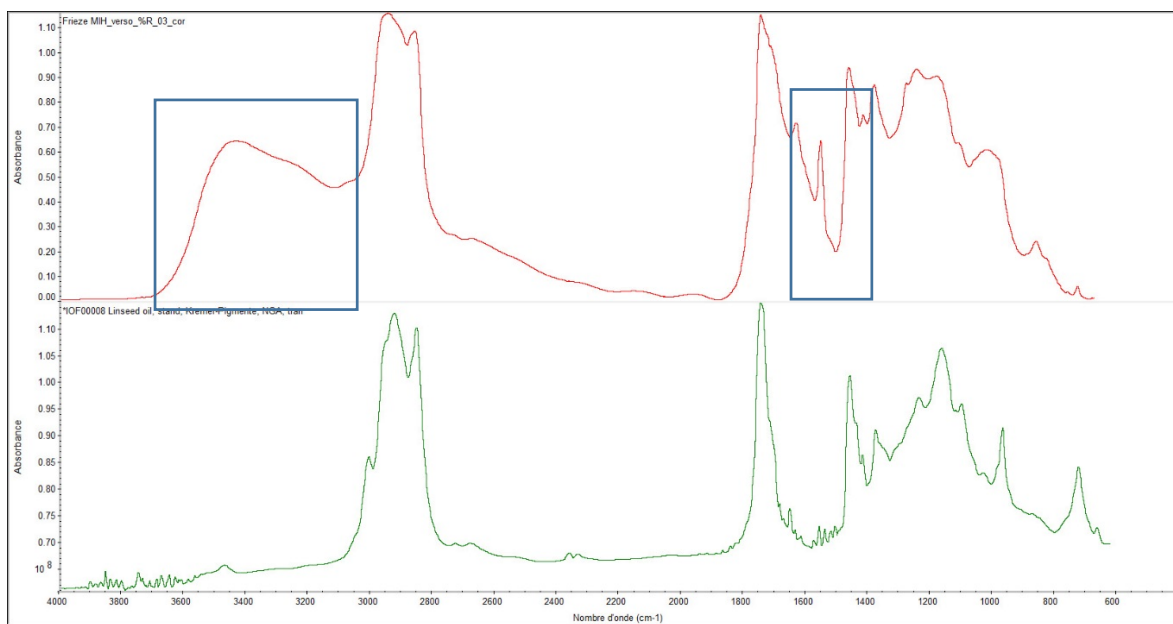
Tableau 13 : résultats analyses IRTF sur la frise

Mesures	Zones	Résultats
01	Avers, extrémité droite préservée du ternissement ? (fig. 132, p. 90)	Produit de corrosion, probablement sulfate de cuivre (CuSO_4) et colorant rouge/jaune (ocre ?)
02	Avers, ternissement de surface	Colorant rouge (alizarine)
03	Revers, substance brune-orange	Huile de lin
04	Revers, substance brune-orange (creux)	Huile de lin

Spectre 3 : spectre IRTF de la frise, mesure 01. Probablement du sulfate de cuivre (CuSO_4). © HE-Arc CR, Laura Brambilla



Spectre 4 : spectre IRTF de la frise, mesure 02. Colorant (alizarine). © HE-Arc CR, Laura Brambilla



Spectre 5 : spectre IRTF, mesure 03. Huile de lin dégradée. © HE-Arc CR, Laura Brambilla

La dégradation de l'huile peut avoir plusieurs causes : la chaleur, la réticulation et le vieillissement du film huileux.

3.5. Pendulette de voyage

Identification / fiche d'identité

IDENTIFICATION ET EXAMEN DE L'OBJET	
<u>Désignation usuelle (nom, fonction) :</u> Pendulette de voyage (aussi appelée pendulette d'officier)	
<u>N° d'inventaire de l'institution</u> Collectionneur privé	
<u>Dimensions max.</u> : (L x l x h) : 10.4 x 8.7 x 15 cm (boîtier) ; 7.8 x 3.4 x 0.6 cm (clé)	
<u>Sens, statut, valeur culturelle de l'objet :</u> Les valeurs culturelles attribuées à l'objet sont à la fois une valeur esthétique et scientifique.	
<u>Matériaux et techniques</u> Alliage cuivreux (laiton), vernis synthétique (polyester), alliages ferreux, verre <u>Technique de fabrication du métal</u> : Le boîtier en alliage cuivreux doré est poli et verni. Le vernis est probablement appliqué de façon industrielle (homogénéité sous fluorescence UV). Les roues d'engrenages sont estampées.	
<u>Datation, contexte, environnement de conservation :</u> Datation : seconde moitié du XXe siècle. Avant 1996 ¹³² . Imitation d'une horloge de 1851 Origine et contexte : Ergas, fabrique d'horlogerie aux Reussilles. Lieu de conservation : collectionneur privé	

Description

Cette pendulette (Luxe 23) se compose de trois parties : un double cadran, une partie mécanique (le mouvement) et un boîtier doré (fig. 141). Il y a un cadran principal avec des chiffres romains pour les heures, ainsi qu'un second cadran, pour indiquer l'heure du réveil. Les trois aiguilles sont de style poire¹³³. Le boîtier est rectangulaire, avec une poignée de transport. Le mouvement horloger est fixé à deux platines. On observe le mouvement à travers les ouvertures vitrées du boîtier. Sur les côtés, on peut observer les barillets et leurs rouages (fig. 143, 145). On y distingue le barillet du réveil, le barillet de mouvement et le barillet de sonnerie. L'échappement à ancre et sa plateforme sont visibles à travers une ouverture vitrée sur la partie supérieure (fig. 149). A l'arrière, on y voit le marteau du réveil et de la sonnerie qui vont frapper sur le gong en spiral (fig. 148). Une clé de remontage est fournie avec la pendulette (fig. 151).

¹³² Date de la garantie

¹³³ Berner, 1988, p. 25

Photographies



Figure 141 : pendulette de voyage, vue générale de la face. Photographie standard en lumière blanche.



Figure 142 : pendulette de voyage, vue générale de la face sous fluorescence UV. On distingue bien l'autofluorescence grisâtre des résidus poudreux de la mousse de polyuréthane. La surface vernie a une autofluorescence dans les teintes froides, bleu-vert.



Figure 143 : pendulette de voyage, vue générale du côté droite. Photographie standard en lumière blanche.

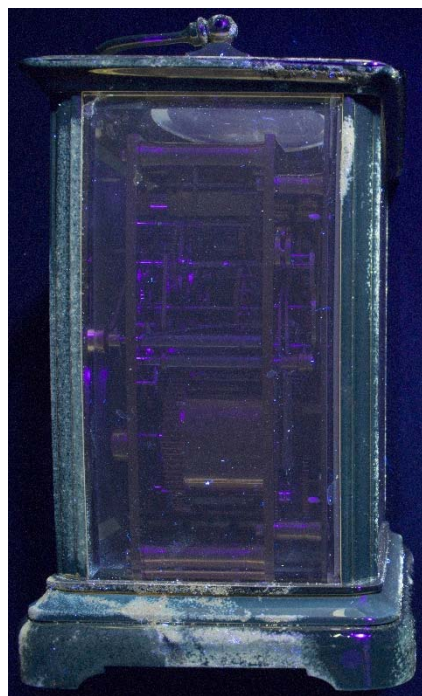


Figure 144 : pendulette de voyage, vue générale du côté droite sous fluorescence UV. Autofluorescence grisâtre des résidus de mousse de polyuréthane. Autofluorescence du vernis dans les teintes froides, bleu-vert.



Figure 145 : pendulette de voyage, vue générale du côté gauche en lumière blanche.

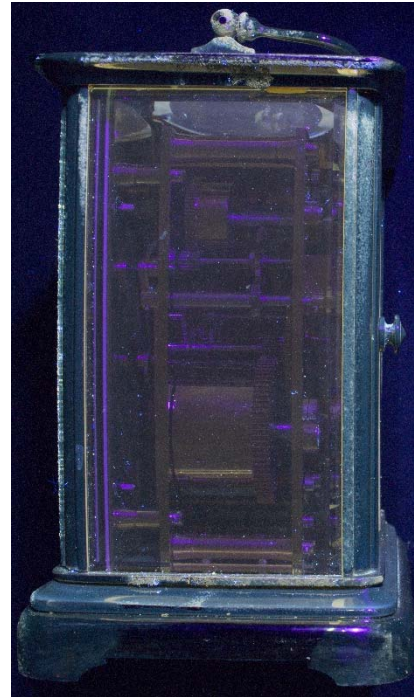


Figure 146 : pendulette de voyage, vue générale du côté gauche sous fluorescence UV. Auto fluorescence dans les teintes froides bleu-vert du vernis et grisâtre des résidus de polyuréthane.



Figure 147 : pendulette de voyage, vue générale de l'arrière. Photographie standard en lumière blanche. Spirale du gong visible. Les mesures XRF ont été effectuées sur la partie basse du boîtier.

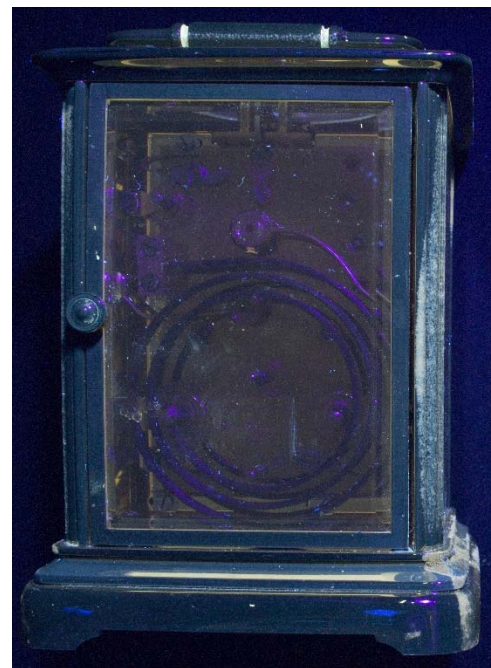


Figure 148 : pendulette de voyage, vue générale de l'arrière sous fluorescence UV. Auto fluorescence grisâtre des résidus de polyuréthane et bleu-vert du vernis.



Figure 149 : pendulette de voyage, vue générale de la partie supérieure. Photographie standard en lumière blanche. On peut voir l'échappement à ancre.

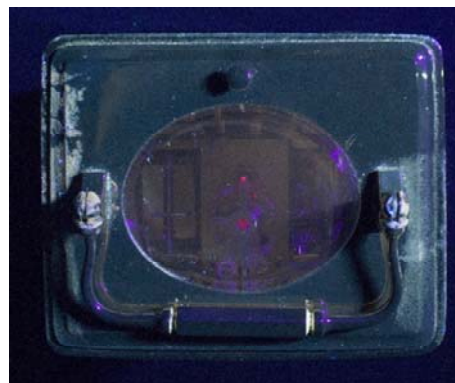


Figure 150 : pendulette de voyage, vue générale de la partie supérieure sous fluorescence UV. Autofluorescence dans les teintes froides bleu-vert du vernis et grisâtre pour les résidus poudreux de la mousse de polyuréthane.



Figure 151 : clé de remontage de la pendulette de voyage, vue générale de la face A.



Figure 152 : clé de remontage de la pendulette de voyage, face A sous fluorescence UV. On distingue les zones du vernis intactes (autofluorescence teinte froide bleu-vert).



Figure 153 : clé de remontage de la pendulette de voyage, vue générale de la face B



Figure 154 : clé de remontage de la pendulette de voyage, face B sous fluorescence UV. On distingue les zones du vernis intactes (autofluorescence teinte froide bleu-vert).



Figure 155 : pendulette dans sa boîte. La mousse polyuréthane est collée à l'intérieur du couvercle.



Constat d'état



Figure 156 : constat d'état de la face et du revers de la pendulette de voyage.



Figure 157 : constat d'état de la partie supérieure de la pendulette de voyage.

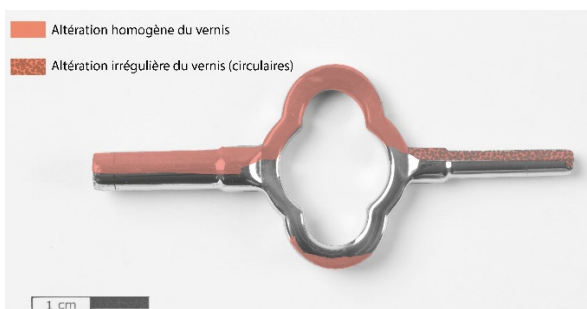
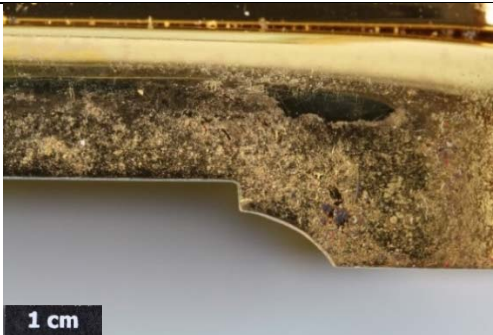



Figure 158 : constat d'état de la clé de remontage, face A



Figure 159 : constat d'état de la clé de remontage, face B

Tableau 14 : constat d'état, description des altérations des matériaux et des traces de surface

Zone	Localisation	Altérations/Traces de surface	Diagnostic	Photographie
Boîtier doré	Généralisé	Empoussièrement	Mélanges de poussières de la pollution atmosphérique et de la poussière issue de la mousse de polyuréthane.	
	Sur les 4 faces, préférentiellement dans les bords du boîtier	Dépôts de résidus bruns clairs	Accumulation de ces dépôts en raison du contact avec une mousse de polyuréthane dans le conditionnement	 <p>1 cm</p> <p>Figure 160 : détails des résidus de la mousse de polyuréthane sur la surface métallique.</p>
	Voir fig. 156-157	Abrasion, rayures	Traces d'usure	
Clé de remontage	Tige et anneau de la clé	Vernis lacunaire. Cette absence du vernis est soit homogène ou irrégulière sous formes circulaires (boucle et tige).	Une probable réaction chimique entre la mousse de polyuréthane et le vernis à base de polyester.	 <p>1 cm</p> <p>Figure 161 : altérations du vernis sous forme circulaire</p>

Mesures d'épaisseur courant Foucault



Figure 162 : pendulette de voyage, mesures d'épaisseur par courant Foucault

Analyses XRF



Spectre 6 : Spectre XRF pour la pendulette de voyage. Il n'y a pas d'or. Analyse effectuée à l'arrière, sur la partie basse du boîtier, en mode « Alloy coating ». © HE-Arc CR, Aline Michel

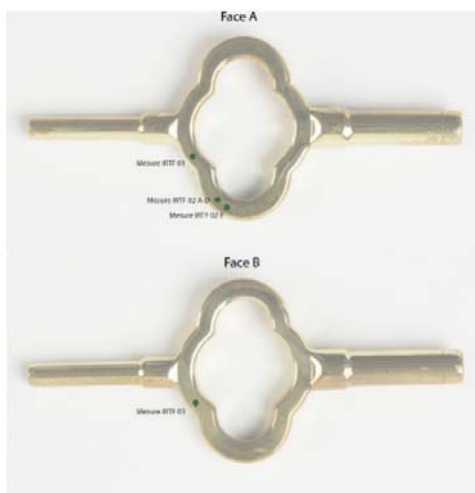
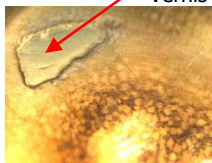
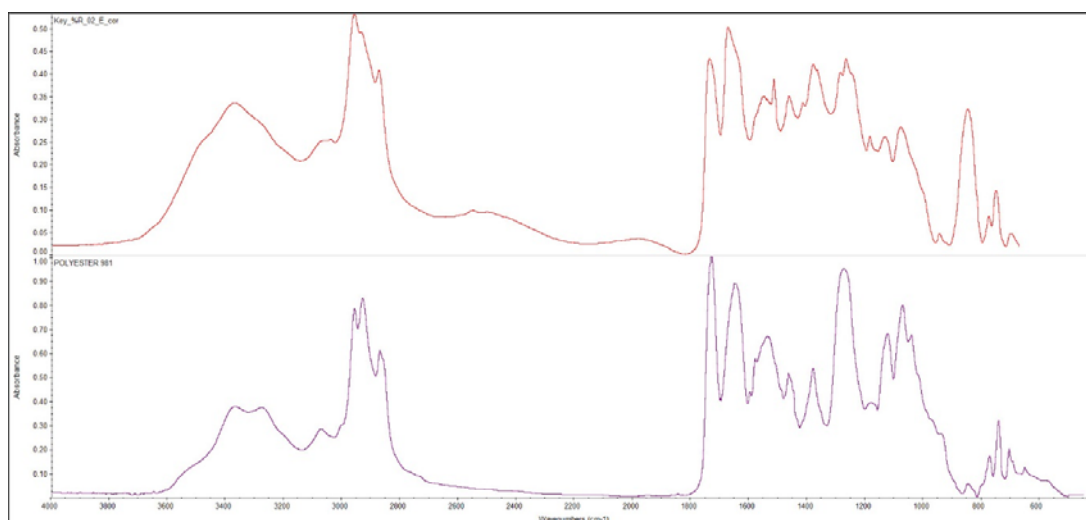
Analyse IRTF

Figure 163 : clé de remontage, localisation des mesures IRTF

Tableau 15 : clé de remontage, résultats analyses IRTF

Mesures	Zones	Résultats
01	Vernis intact	Polyester. Spectre similaire à la mesure 03.
02 B-D	Vernis altéré	Pas de signal
02 E	Zone qui ressemble à la zone en bon état mais à proximité des altérations 	Polyester. Spectre similaire à la mesure 01.
03	Vernis altéré	Pas de signal

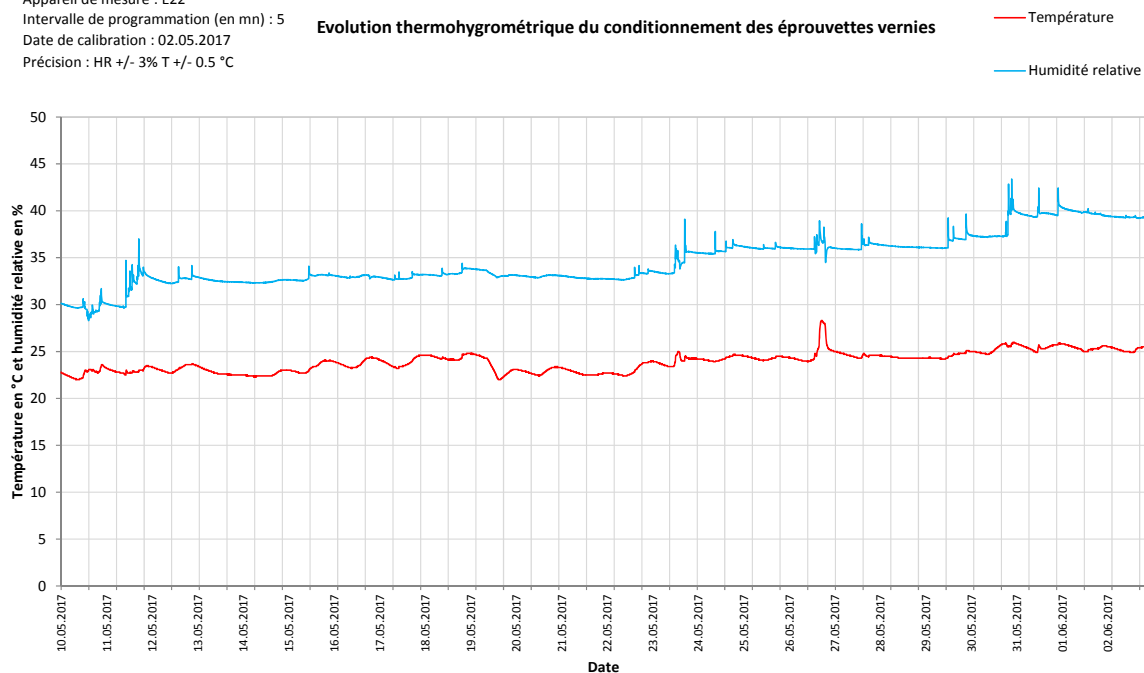


Spectre 7 : spectre IRTF mesure 02 de la clé de remontage. Polyester. © HE-Arc CR, Laura Brambilla

Annexe 4 : Conditions thermo-hygrométriques des éprouvettes

Appareil de mesure : E22
 Intervalle de programmation (en mn) : 5
 Date de calibration : 02.05.2017
 Précision : HR +/- 3% T +/- 0.5 °C

Evolution thermohygrométrique du conditionnement des éprouvettes vernies

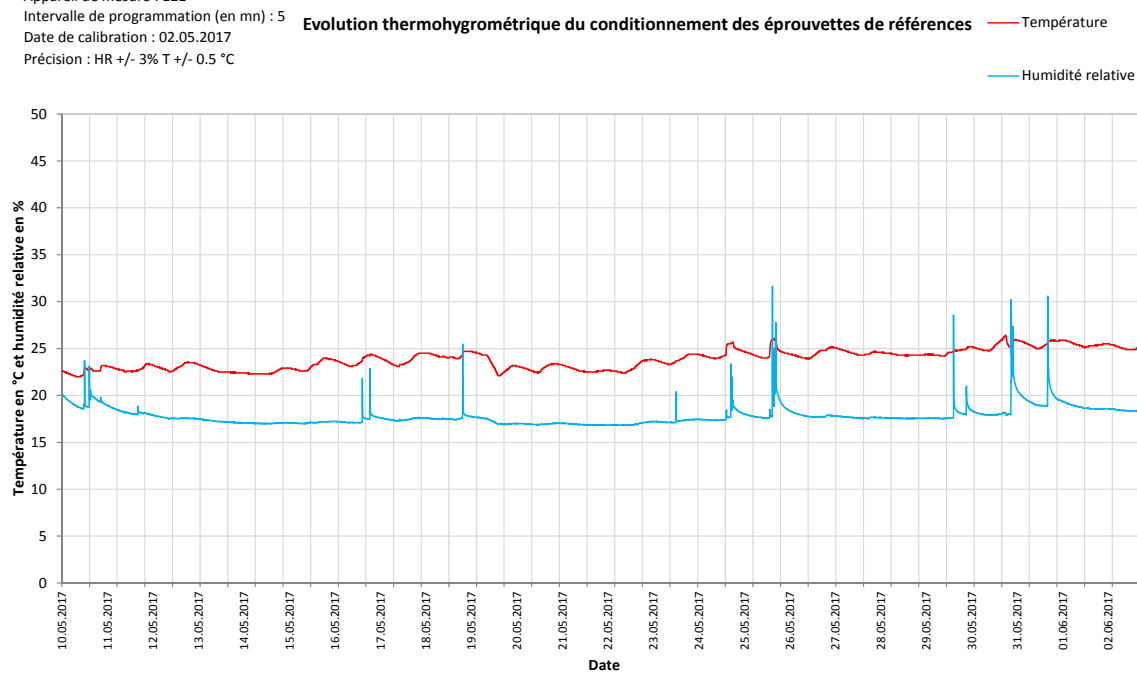


Réalisé par Rebecca Rochat

Graph 1 : évolution thermohygrométrique du conditionnement des éprouvettes vernies.

Appareil de mesure : E21
 Intervalle de programmation (en mn) : 5
 Date de calibration : 02.05.2017
 Précision : HR +/- 3% T +/- 0.5 °C

Evolution thermohygrométrique du conditionnement des éprouvettes de références



Réalisé par Rebecca Rochat

Graph 2 : évolution thermohygrométrique du conditionnement des éprouvettes de référence non vernies

Tableau 16 : tableau récapitulatif des conditions thermohygro-métriques

	Eprouvettes de références	Eprouvettes vernies
Température		
Température maximale en °C	26.5	28.3
Température moyenne en °C	23.9	23.9
Température minimale en °C	22	24
Variations journalières maximale en °C	2.4	4.1
Variations journalières moyenne en °C	0.3	0.3
Humidité relative		
Humidité relative maximale en %	31.6	43.4
Humidité relative moyenne en %	17.8	34.6
Humidité relative minimale en %	16.8	28.3
Variations journalières maximale en %	14.1	6.1
Variations journalières moyenne en %	0.8	0.6

Les courbes de température pour les éprouvettes de référence et des éprouvettes vernies évoluent dans des conditions thermohygro-métriques proches. Il faut savoir que les boîtes en polypropylène étaient disposées au même endroit, dans un tiroir de bureau au Campus Arc 2. Les pics d'humidité et de température observés dans la journée du 27 mai sont dus au déplacement du conditionnement des éprouvettes vernies au Crêt-Taconnet. La salle, dont les fenêtres sont face sud, était bien plus chaude que la salle de stockage habituelle.

Nous jugeons que les profils thermiques des conditionnements sont bons pour la durée de l'étude, les variations journalières moyennes s'élevant à 0.3 °C. Même remarque pour les variations journalières moyennes d'humidité relative oscillant entre 0.8 % pour les éprouvettes de référence et de 0.6 % pour les éprouvettes vernies. Les variations journalières maximales d'humidité relative enregistrées (14.1 % pour les éprouvettes de référence) sont causées par le renouvellement de l'air lors de l'ouverture périodique du conditionnement. Le temps de réadaptions à des conditions idéales nécessite quelques heures (12 heures).

Annexe 5 : Méthodologie ITR

5.1. Construction d'un dispositif

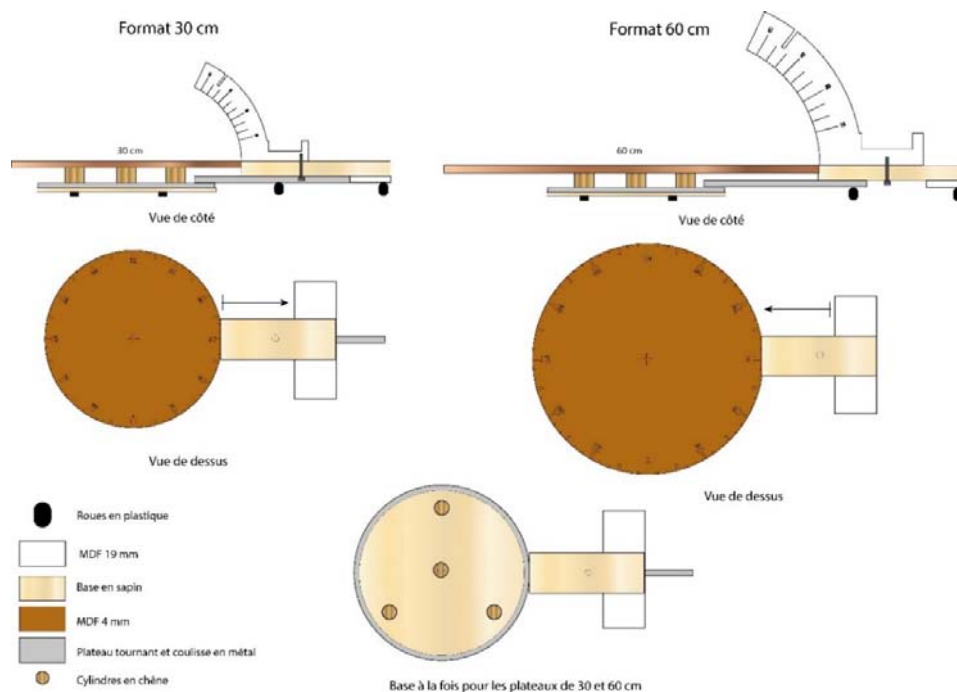


Figure 164 : schéma de principe du dispositif ITR

1. Pour avoir la possibilité de varier le format des plateaux stationnaires (diamètre de 30 et 60 cm) en fonction des dimensions des objets, notre prototype comprend un système à coulisse à tiroir. Pour la répartition du poids, le plateau est posé sur quatre cylindres, fixés sur une base en sapin de 4mm d'épaisseur. La croix au centre du plateau va bloquer le mouvement de ce dernier. On retrouve le négatif de la croix au centre du cylindre central.

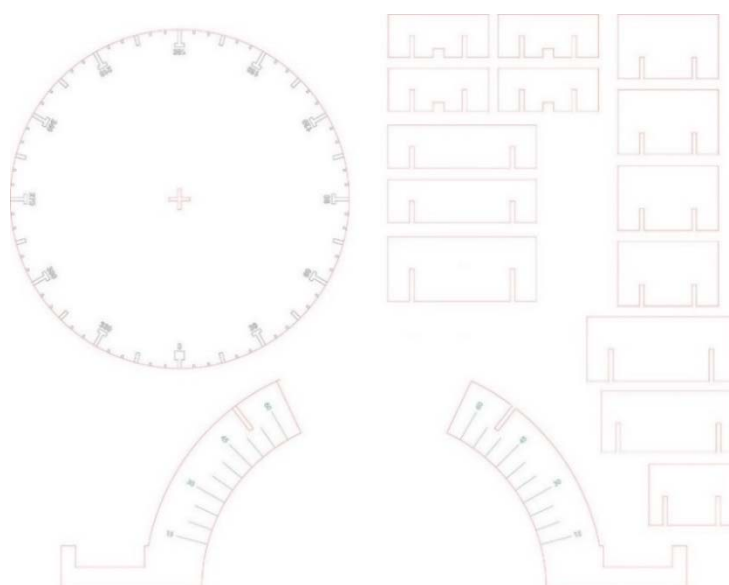


Figure 165 : plan du dispositif adapté pour la découpeuse laser du FabLab de la HE-Arc Neuchâtel. Le tracé rouge correspond à la découpe, le tracé vert au marquage. © Porter, adapté par HE-Arc CR, RR

2. On adapte les dessins vectoriels de Samantha Thi Porter sur le logiciel Adobe Illustrator pour la découpeuse laser du FabLab de Neuchâtel (Speedy 400 Trotec). La couleur et l'épaisseur des tracés sont modifiés pour correspondre au réglage de la machine (JobControl®). Le tracé rouge correspond à la découpe, le tracé vert au marquage, avec un tracé de 0.0001 mm d'épaisseur. La couleur des tracés sont en RVB, selon des codes couleurs spécifiques à la machine. Si le code couleur est correct, le fichier de découpe s'affiche dans le logiciel JobControl®.



Figure 166 : plateau stationnaire Ø 60 cm découpé au laser.



Figure 167 : plaquettes de fixation découpées au laser.

3. On découpe dans un panneau de fibres à densité moyenne (MDF, 4 mm d'épaisseur) les plateaux stationnaires (30 cm et 60 cm de diamètre), les deux bras rotatifs et les plaquettes à la découpeuse laser Speedy 400 Trotec. C'est la seule machine dont les dimensions (1000 x 610 mm) étaient adaptées pour la découpe du plateau stationnaire de 60 cm de diamètre. Avant la découpe, il faut régler la focale adéquate entre la surface du bois MDF et la tête de découpe. Cette action est effectuée avec une jauge. On effectue des essais de découpe et de marquage avec les paramètres du matériau prédéfinis. Les paramètres à disposition sont la fréquence, la vitesse et la puissance. On choisira une vitesse plus rapide pour le marquage.

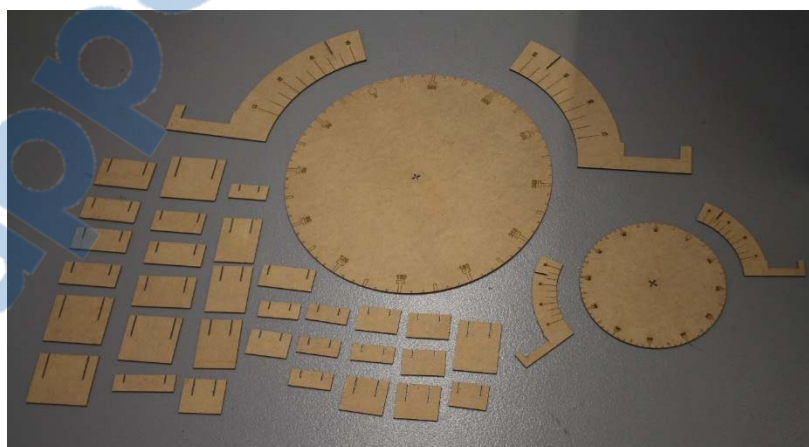


Figure 168 : ensemble des éléments découpés au laser.



Figure 169 : plateau tournant, coulisse à tiroir, plaques métalliques angles droit.



Figure 170 : dessous avec pied en caoutchouc dur

4. On fixe le plateau tournant en acier avec des boulons (écrous hexagonaux) sur une planche en sapin de 20 mm d'épaisseur. La coulisse à tiroir est attachée au plateau tournant avec une vis/écrou. Les plaques métalliques à angle droit viennent bloquer la coulisse, pour éviter tout mouvement du bras pendant la rotation.

5. On fixe 4 pieds en caoutchouc avec des vis à écrou hexagonaux. La vis traverse la planche en sapin. On bloque la vis avec un écrou hexagonal au niveau du plateau tournant.



Figure 171 : détails coulisse à tiroir et plaques métalliques.



Figure 172 . système fixation du bras, vue de dessus



Figure 173 : système de fixation du bras, vue de côté

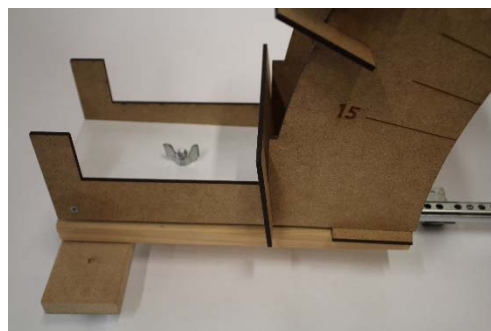


Figure 174 : système de fixation du bras avec le bras

6. La planche en sapin du système à coulisse est percée d'un trou central. On y fait passer une vis et un écrou papillon. On ajoute également trois roues en caoutchouc, une sous la coulisse à tiroir et deux sous la planche MDF horizontale à la planche de sapin. Ces roues vont faciliter la rotation du bras, tout en lui procurant une meilleure stabilité.



Figure 175 : fixation du flash dans le bras rotatif, vue de face.

7. Une planche blanche en MDF de 1.9 mm d'épaisseur est fixée à la base du bras. Cette même planche est percée d'un trou au centre. On peut ainsi y faire glisser le système vis et écrou papillon et fixé le bras à la planche du système à coulisse.



Figure 176 : fixation du flash dans le bras rotatif, vue de côté.

8. Le bras pour le flash est assemblé par un ensemble de pièces rectangulaires découpées au laser (MDF de 4 mm d'épaisseur). Ces plaquettes et des angles droits blancs en plastique sont disposés en fonction des angles lumineux des prises de vue. Cet ensemble permet de bloquer le flash.



Figure 177 : fixation du flash dans la mousse de polyéthylène haute densité.

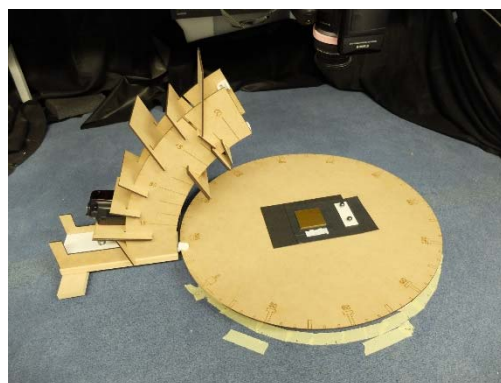


Figure 178 : dispositif ITR terminé.

5.2. Documentation photographique

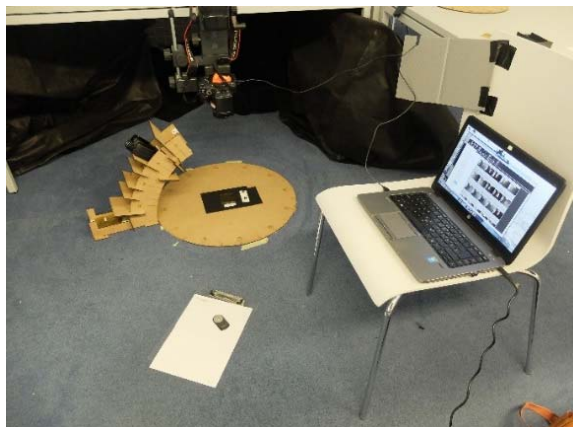


Figure 179 : installation du dispositif ITR.



Figure 180 : bracelet élastique autour de l'objectif pour éviter tout mouvement.

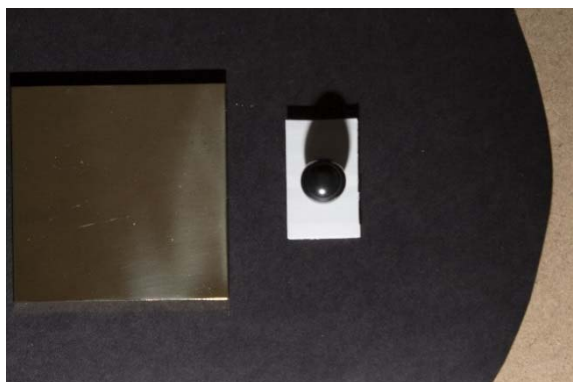


Figure 181 : essai de prise de vue avec le flash.



Figure 182 : essai de prise de vue avec la LED.

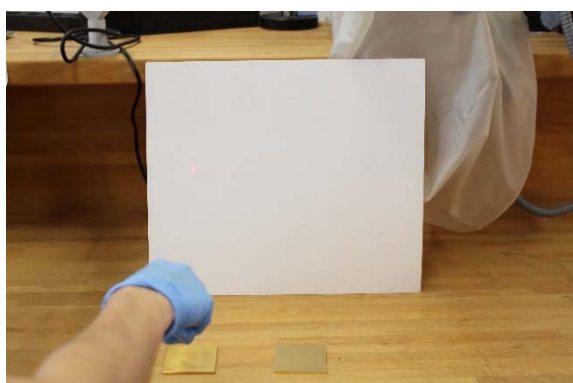


Figure 183 : expérience de la réflexion de la lumière sur la surface polie-miroir. Nous obtenons un point lumineux, c'est une réflexion spéculaire.

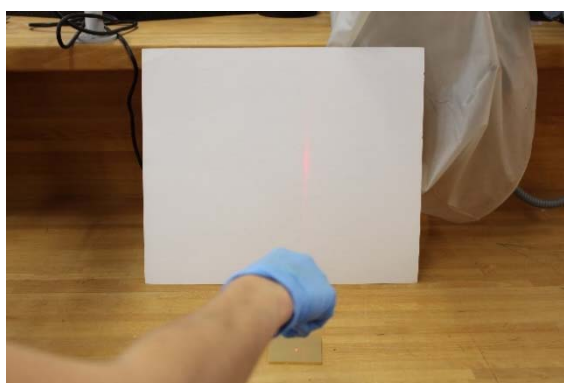


Figure 184 : expérience de la réflexion de la lumière sur la surface satinée. Nous obtenons un trait lumineux, c'est une réflexion diffuse.



Figure 185 : reflet lumineux sur la surface satinée, angle lumineux de 15°, 60° sur le plateau stationnaire.



Figure 186 : reflet lumineux sur la surface satinée, angle lumineux de 15°, 240° sur le plateau stationnaire.

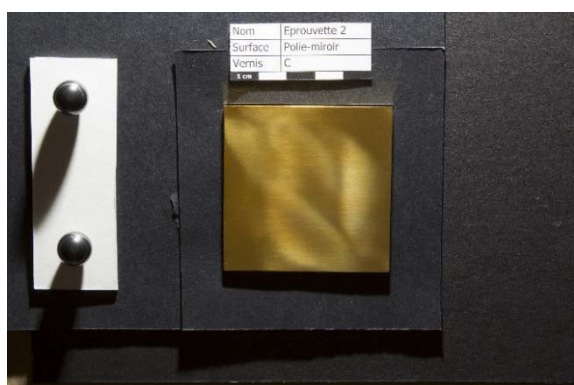


Figure 187 : halo lumineux du flash sur l'éprouvette polie-miroir à l'angle lumineux 15°, 60° sur le plateau stationnaire.

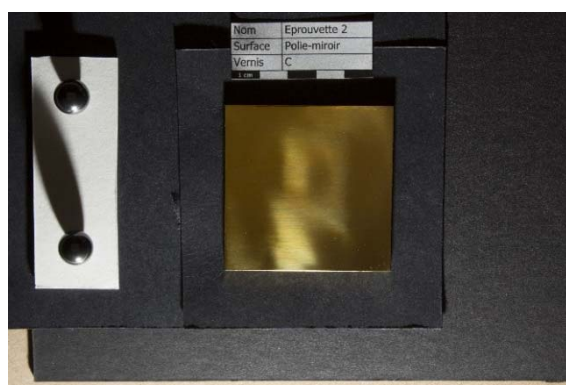


Figure 188 : halo lumineux du flash sur l'éprouvette polie-miroir à l'angle lumineux 15°, 240° sur le plateau stationnaire.

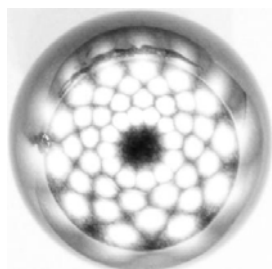


Figure 189 : sphère lumineuse obtenue avec le dispositif à bras

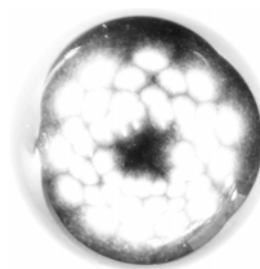


Figure 190 : sphère lumineuse obtenue avec le système à ficelle (« Highlight Method »)

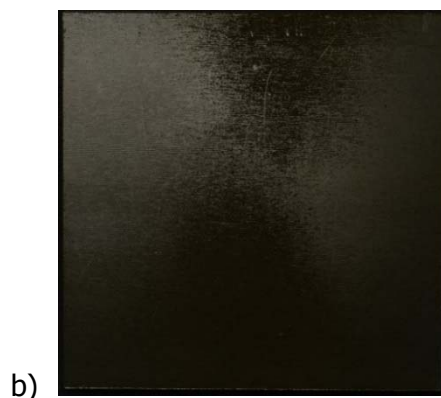
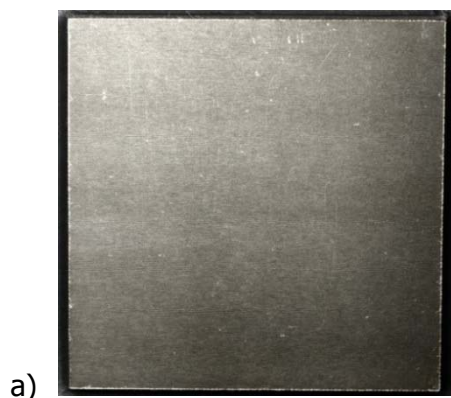

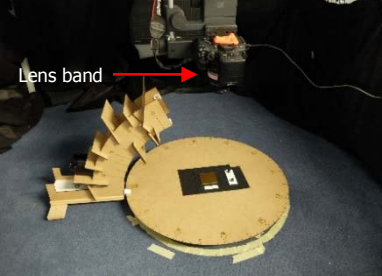
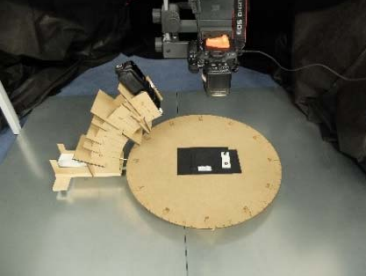

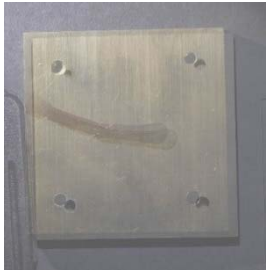
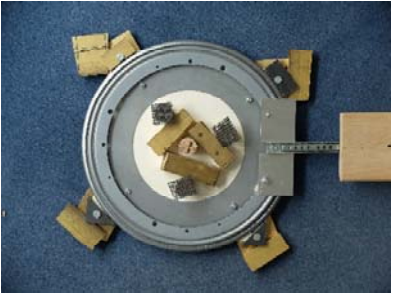

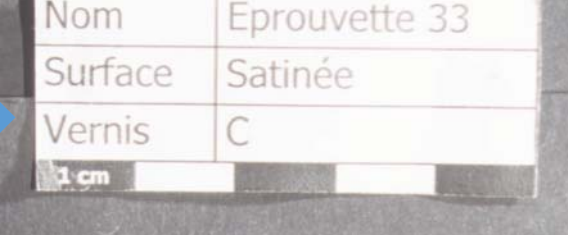


Figure 191 : éprouvette 33, surface satinée. Mêmes paramètres de réglage : a) HSH Fitter, extension .rti. b) PTM Fitter, extension .ptm.

Tableau 17 : gestion de l'imprécision de l'image, évolution du dispositif

1. Dispositif sans modification	2. Ajout des poids et de la bande élastique	3. Placer sur une plaque en acier																
 <p data-bbox="300 667 475 698">Vue d'ensemble</p>	 <p data-bbox="715 667 890 698">Vue d'ensemble</p>	 <p data-bbox="1129 667 1305 698">Vue d'ensemble</p>																
 <p data-bbox="220 1010 555 1077">Détails de la base et du plateau tournant.</p>  <p data-bbox="209 1384 571 1451">Décalage de 5 mm entre la photo 1 et la photo 48</p>	 <p data-bbox="667 1037 1337 1070">Détails de la base et du plateau tournant, avec ajout de poids.</p> <table border="1" data-bbox="603 1149 991 1317"> <tr><td>Nom</td><td>Eprouvette 33</td></tr> <tr><td>Surface</td><td>Satinée</td></tr> <tr><td>Vernis</td><td>C</td></tr> <tr><td colspan="2">1 cm</td></tr> </table> <p data-bbox="608 1328 986 1406">Décalage de 1 mm entre la photo 1 et la photo 48</p> <table border="1" data-bbox="1018 1149 1390 1317"> <tr><td>Nom</td><td>Eprouvette 33</td></tr> <tr><td>Surface</td><td>Satinée</td></tr> <tr><td>Vernis</td><td>C</td></tr> <tr><td colspan="2">1 cm</td></tr> </table> <p data-bbox="1050 1328 1369 1406">Décalage de 0.5 mm entre la photo 1 et la photo 48</p>	Nom	Eprouvette 33	Surface	Satinée	Vernis	C	1 cm		Nom	Eprouvette 33	Surface	Satinée	Vernis	C	1 cm		
Nom	Eprouvette 33																	
Surface	Satinée																	
Vernis	C																	
1 cm																		
Nom	Eprouvette 33																	
Surface	Satinée																	
Vernis	C																	
1 cm																		
 <p data-bbox="236 1888 762 1921">Choix du dispositif final, sans le plateau tournant</p>		 <p data-bbox="991 1809 1225 1843">Bonne superposition</p>																

5.3. Répartition des angles lumineux

Objets satinés

Tableau 18 : répartition des angles lumineux pour les éprouvettes satinées.

Angle lumineux	Position sur le plateau	Angle lumineux	Position sur le plateau
60°	15°	45°	0°
60°	45°	45°	30°
60°	75°	45°	60°
60°	105°	45°	90°
60°	135°	45°	120°
60°	165°	45°	150°
60°	195°	45°	180°
60°	225°	45°	210°
60°	255°	45°	240°
60°	285°	45°	270°
60°	315°	45°	300°
60°	345°	45°	330°
30°	15°	15°	0°
30°	45°	15°	30°
30°	75°	15°	60°
30°	105°	15°	90°
30°	135°	15°	120°
30°	165°	15°	150°
30°	195°	15°	180°
30°	225°	15°	210°
30°	255°	15°	240°
30°	285°	15°	270°
30°	315°	15°	300°
30°	345°	15°	330°

Objets polis-miroirs*Tableau 19 : répartition des angles lumineux pour les éprouvettes polies-miroirs.*

Angle lumineux	Position sur le plateau		Angle lumineux	Position sur le plateau	
60°	0°	15°	45°	0°	15°
60°	30°	45°	45°	30°	45°
60°	60°	75°	45°	60°	75°
60°	90°	105°	45°	90°	105°
60°	120°	135°	45°	120°	135°
60°	150°	165°	45°	150°	165°
60°	180°	195°	45°	180°	195°
60°	210°	225°	45°	210°	225°
60°	240°	255°	45°	240°	255°
60°	270°	285°	45°	270°	285°
60°	300°	315°	45°	300°	315°
60°	330°	345°	45°	330°	345°
30°	0°	15°	15°	0°	15°
30°	30°	45°	15°	30°	45°
30°	60°	75°	15°	60°	75°
30°	90°	105°	15°	90°	105°
30°	120°	135°	15°	120°	135°
30°	150°	165°	15°	150°	165°
30°	180°	195°	15°	180°	195°
30°	210°	225°	15°	210°	225°
30°	240°	255°	15°	240°	255°
30°	270°	285°	15°	270°	285°
30°	300°	315°	15°	300°	315°
30°	330°	345°	15°	330°	345°

Annexe 6 : Protocole des prises de vue

Tableau 20 : dénomination des fichiers

Objets	Modèle	Exemple
Pour les éprouvettes satinées (ES)	Technique_ESno_vernis_noimage	UV_ES33_C_0001
Pour les éprouvettes polies-miroirs (EPM)	Technique_EPMno_vernis_noimage	RTI_EPM25_C_0002
Pour les objets du MIH	Technique_no inventaire_noimage	LB_IV-1035_0003
Pour les lamelles de verre	Technique_LV_application_vernis_noimage	RTI_LV_p_C_0005

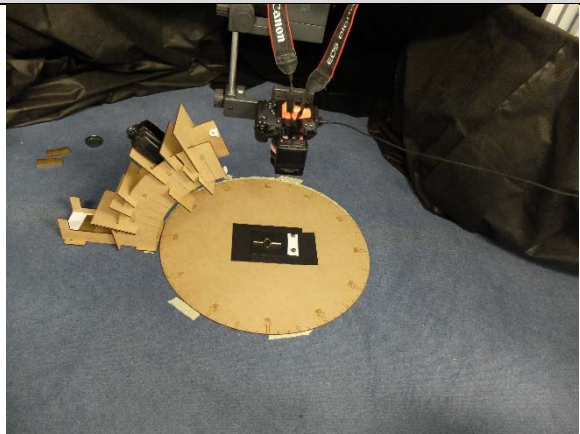
6.1. Imagerie par transformation de la réflectance

Créer un dossier principal par objet qui contient les sous-dossiers suivants :

- Jpeg-exports
- Original-captures (ou RAW)
- DNG

IMPORTANT : tous les dossiers et les fichiers sont séparés par un tiret bas _ (*underscore*). Le logiciel RTIBuilder ne reconnaît pas les dossiers et les fichiers avec un espace.

Tableau 21 : protocole de prises de vue pour l'imagerie par la transformation de la réflectance

Méthode 1 : bras gradué rotatif	
<p>Le principe consiste à faire tourner un bras en quart de cercle, gradué de 4 angles lumineux (15°, 30°, 45°, 60°) sur un cercle gradué de 0° à 345°. Avec ce dispositif, une certaine reproductibilité des résultats est obtenue. Il s'agit d'une méthode intermédiaire entre la « Highlight Method » et la dôme à LED, les deux méthodes les plus utilisées pour l'imagerie par transformation de la réflectance (ITR).</p> <p>Utilisation : éprouvettes planes satinées et polies miroirs et objet historique plat.</p>	 <p>Figure 192 : dispositif à bras gradué.</p>

Protocole

- 1^{ère} étape : Placement de l'éprouvette

Pour le processus de captation des images, on place au centre du plateau stationnaire l'éprouvette en faisant en sorte que l'ombre des sphères réfléchissantes ne soient pas apparentes sur l'objet dans l'angle lumineux le plus faible (15°). Placer la ColorChecker uniquement sur la première photo de la série. La calibration sera ensuite appliquée à l'ensemble des photos.

- 2^e étape : Configuration de l'appareil photo

Il est préférable de prendre des photos en mode manuel et en format RAW. Utiliser un ISO bas pour minimiser le bruit d'image. Régler le diaphragme de telle sorte de maximiser la profondeur de champ tout en minimisant la distorsion de l'image (f5.6 et f11)¹³⁴. Enfin, définir votre exposition afin que les images ne soient pas trop lumineuses lorsque le flash est à sa position la plus élevée (60°) et pas trop faible à sa position la plus basse (15°). Changer, lors de sous-exposition, le réglage flash sur l'appareil photo : choisir « moyenne » (*average*) et non « évaluatif »¹³⁵.

Paramètres des éprouvettes : f11, ISO 100, 1/60

- 3^e étape : Mise au point

On fait la mise en point manuellement (recommandé) avec une lampe de poche LED et l'éclairage artificiel de la salle (néon). La précision de la mise au point est renforcée par ce double éclairage. Eteindre toute les sources de sources de lumière dans la pièce qui peuvent nuire et être reflétée dans la sphère. Les paramètres de chaque prise de vue sont remplis dans un tableau (no de photo, angle lumineux et angle du plateau).

- 4^e étape : Processus de captation des images

Régler le centre du bras rotatif à 0 degrés sur le plateau et bien aligner les traits de repérage (fig. 193). Placer le flash sur la position d'éclairage la plus élevée (60°). Prenez une photo, puis déplacez le bras afin qu'il soit centré sur la marque de 30 degrés. Prenez une autre photo et continuez à parcourir le plateau chaque 30 degrés jusqu'à ce que vous ayez pris une photo au repère 330°. Répéter cette action pour les trois angles lumineux restants (45°, 30°, 15°). Dépoussiérer la surface à chaque changement de l'angle lumineux.



Figure 193 : alignement du bras rotatif sur le plateau stationnaire

¹³⁴ Porter *et al.*, 2016

¹³⁵ Photography Stack Exchange, 2013 [En ligne]

Spécificités : Pour les éprouvettes satinées : prises de vue de 48 photos par éprouvette au format RAW, tous les 30° de rotation du plateau stationnaire : angles lumineux 15° et 45° tous les angles pairs du plateau et angles lumineux 30° et 60° tous les angles impairs du plateau.
 Pour les éprouvettes polies-miroirs, en raison des problèmes liés au «flare», un halo lumineux dans les angles lumineux élevés (60° et 45°), 96 photos sont effectuées (tous les 15° sur le plateau, à 15°, 30°, 45°, 60°). En choisissant cette option, les probabilités d'avoir un fichier ITR exploitable sont plus élevées. Pour supprimer les reflets de l'appareil photo sur la surface polie-miroir, disposer un carton blanc autour de l'objectif et incliner l'appareil photo très légèrement (5° en avant).

Méthode 2 : « Highlight Method »



Figure 194 : dispositif « Highlight Method ».

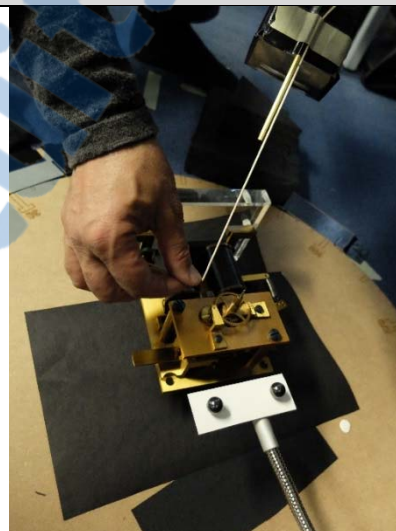


Figure 195 : détail du dispositif

Utilisation : Pour les objets en 3 dimensions, le dispositif avec le bras atteint ces limites. La hauteur des objets sont trop importantes et la distance minimale entre la source lumineuse et l'objet n'était plus remplie (soit 2 fois le diamètre de l'objet). L'alternative sélectionnée est la méthode ITR appelée « Highlight Method », où le bras gradué est remplacé par une ficelle.

Protocole : Pour la « Highlight Method », pour permettre aux sphères réfléchissantes d'être à niveau de l'objet, utiliser le statif du Dinolite® et fixer le carton sur le statif avec des pastilles adhésives (type Patafix®).

Le reste du protocole est le même que pour le bras rotatif.

Pour plus d'informations, vous pouvez consulter « Guide to Highlight Image Capture », le guide développé par Cultural Heritage Imaging, disponible sur

http://culturalheritageimaging.org/What_We_Offer/Downloads/Process/index.html

6.2. Fluorescence sous UV

Principe théorique

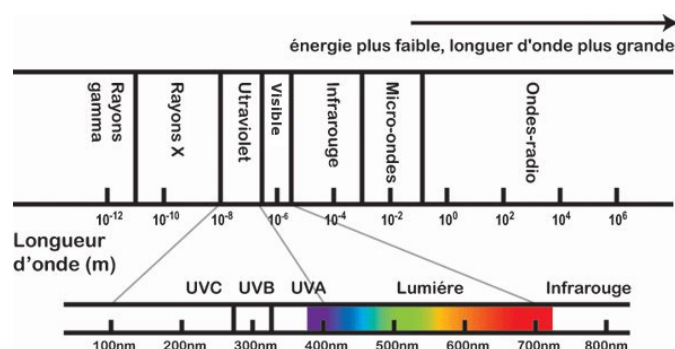


Figure 196 : spectre électromagnétique. © Gouvernement du Canada

Le rayonnement ultraviolet (UV) est un rayonnement électromagnétique invisible à l'œil nu et qui émet dans les longueurs d'ondes de 100 à 400 nm (fig. 196). Les UV sont subdivisés selon leur longueur d'onde : UVA (aussi appelé UV proches ou longs, 320-400 nm), UVB (longueur d'onde moyenne, 280-320 nm) et UVC (courte longueur d'onde, 100-280 nm). Des matériaux naturels et synthétiques transforment le rayonnement ultraviolet qui les frappe en un rayonnement visible. Ce phénomène est communément appelé fluorescence sous ultraviolet. « *Lorsque le rayonnement UV est absorbé par le matériau, les électrons sont poussés temporairement dans un état d'énergie plus élevé. L'énergie absorbée est libérée lorsque ces électrons retournent à leur état normal*³⁶. » Une grande partie de cette énergie libérée a des longueurs d'ondes dans la région de la lumière visible et peut donc être observée. La fluorescence, la couleur et la longueur d'onde spécifique dépendent du matériau en fonction de la longueur d'onde du rayonnement UV utilisé¹³⁷.

Matériels et installations



Tableau 22 : matériels pour la photographie sous fluorescence UV

Matériel	Description
Appareil photographique	Appareil photo Canon EOS 700D
Objectif	Zoom standard (Canon EF-S 18-55 mm f/3.5-5.6 IS II)
Filtre	Le filtre choisi est le B+W UV/IR Cut 486 Filter 58 mm. Il bloque les infrarouges de la lampe UV et les UV et ne laisse passer que la fluorescence visible.
Statif	Table de reproduction Kaiser 5512
Source lumineuse	Lampe UVAHand 250 GS de Honle (250W). Longueurs d'onde émises de 365-405 nm (+/-10nm)

¹³⁶ Simpson Grant, 2000, p. 2

¹³⁷ Ibid.

Tableau 23 : protocole de prises de vue pour la photographie sous fluorescence UV

Dispositif	
	
<p>Figure 197 : installation du dispositif pour la photographie sous fluorescence UV.</p>	<p>Figure 198 : détail de l'installation pour la photographie sous fluorescence UV.</p>
Protocole	
<ol style="list-style-type: none">1. La salle doit être la plus sombre possible. Mise en place d'une tente noire (superposition de deux draps noirs) (fig. 192).2. La Lampe UVAHand de Honle (250W) est fixée à un trépied avec une tige filetée. Positionner la lampe à env. 45° (fig. 193). Cette position axiale permet d'obtenir le maximum d'intensité lumineuse, le rayon lumineux arrivant directement à la surface de l'objet¹³⁸.3. Installation sur l'appareil photo Canon EOS700D du filtre anti UV-IR B+W no 486.4. Pour les éprouvettes polies-miroirs, orienter l'éprouvette de telle sorte que le poinçon soit situé en bas à droite du cadrage. Cette orientation évite les reflets indésirables de la lampe sur l'échantillon.5. Faire la mise au point en lumière visible.6. Se protéger la peau et les yeux (lunettes de protection UV, gants en nitrile résistant, habit à longues manches).7. Allumer la lampe UV. Attendre 5 minutes pour obtenir la pleine intensité de la lumière. <p>Paramètres : Prises de vue, avec temps d'exposition long, entre 5 à 10 secondes. ISO 400 et un diagramme à f11.</p> <p>Il n'y a pas de calibration avec l'échelle colorimétrique. Nous avons fabriqué une échelle colorimétrique avec trois peintures fluorescentes (blanc de zinc, peintures fluorescence rouge et bleue). Sous fluorescence UV, l'intensité de la fluorescence est trop forte pour être exploitable au post-processing.</p>	

¹³⁸ Frey *et al.*, 2008, p. 72



6.3. Photographie standard en lumière blanche


Matériels

Tableau 24 : matériels pour la photographie standard en lumière blanche

Matériel	Description
Appareil photographique	Appareil photo Canon EOS 700D.
Objectif	Zoom standard : Canon EF-S 18-55 mm f/3.5-5.6 IS II Macrophotographie : Objectif EF-S 60 mm f/2.8 Macro USM
Statif	Zoom standard : pied à colonne Macrophotographie : table de reproduction Kaiser 5512. Comme la macrophotographie implique une perte de lumière importante en raison de l'augmentation de la distance entre l'objectif et le capteur ¹³⁹ , les tubes fluorescents de la table reproduction ont apporté la lumière suffisante pour réaliser ce type de prises de vue.
Source lumineuse	Continue (tube fluorescent).

Protocole standard, éclairage latéral

Tableau 25 : protocole de prises de vue pour la photographie standard en lumière blanche, éclairage latéral

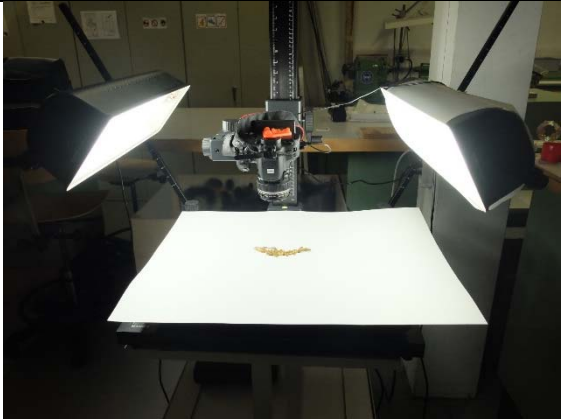
Sources lumineuses	Dispositif
Source lumineuse continue tube fluorescent avec boîtes de diffusion Kaiser	 <p>Figure 199 : dispositif pour l'éclairage latéral pour la photographie standard en lumière blanche.</p>
Protocole	<ul style="list-style-type: none"> - Installer les deux spots latéraux à 45° (fig. 194). - Fixer l'appareil photo au pied à colonne. - Placer la ColorChecker uniquement sur la première photo de la série. La calibration sera ensuite appliquée à l'ensemble des photos. Ajouter une étiquette avec référence de l'éprouvette ou de l'objet et une échelle de mesure. - Faire la mise au point avec le logiciel EOSUtility. - Pour éviter que l'appareil ne se reflète sur la surface métallique, les éprouvettes polies-miroirs sont déplacées dans le coin à droite du cadre de la photo. Un recadrage est ensuite effectué sur Adobe Photoshop. L'emploi de l'objectif à décentrement, qui permet à l'éprouvette polie-miroir d'être au centre de la photo, présentait une qualité d'image inférieure.

¹³⁹ David-Testanière, 2012, p. 4-12

	<p><u>Spécificité</u> : pour photographier les cylindres, approcher les deux spots lumineux de la surface métallique. Incliner l'appareil photo de ¼ vers l'avant et disposer un réflecteur au dessus de l'objet pour diminuer les ombres (fig. 195). On ne met pas l'étiquette de référence, elle se reflète sur la surface.</p>
	 <p><i>Figure 200 : détail de l'installation pour les éprouvettes cylindriques.</i></p>

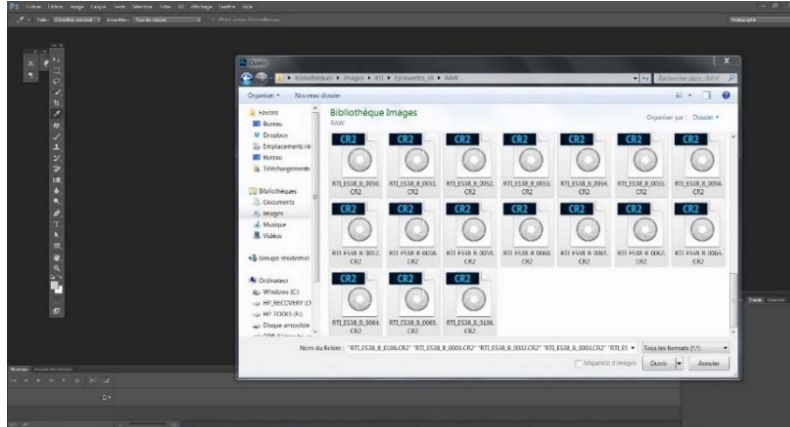
Protocole macrophotographie

Tableau 26 : protocole de prises de vue pour la macrophotographie en lumière blanche.

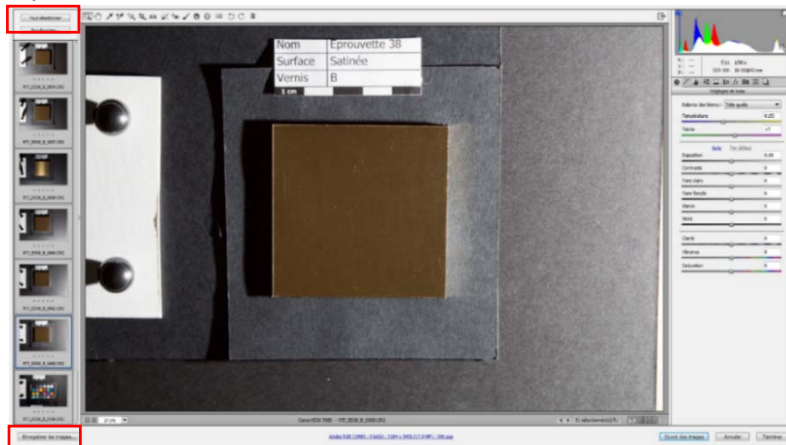
Sources lumineuses	Dispositif
<p>Source continue tube fluorescent (Kaiser RB 5004 HF). Angles 45° ou 30°</p> <p>Flash pour les surfaces satinées</p>	 <p><i>Figure 201 : vue de l'installation pour la macrophotographie.</i></p>
<p>Protocole</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Fixer l'appareil photo à la table de reproduction. - Placer avec l'objet une échelle de mesure. - Varier la hauteur de l'appareil en fonction du grossissement voulu. - Pour les éprouvettes polies-miroirs, faire basculer l'appareil photo en avant de 5°. Ajouter un carton blanc autour de l'objectif. - Faire la mise au point avec le logiciel EOSUtility. <p>Paramètres de prises de vue : f11, ISO100/ISO200, 1/10 ou 1/13 secondes</p> <p>Spécificités : pour les surfaces satinées, l'utilisation du flash et d'un carton autour de l'objectif est recommandé. Le rendu de la couleur est meilleur.</p>

Annexe 7 : Traitement informatique de l'image

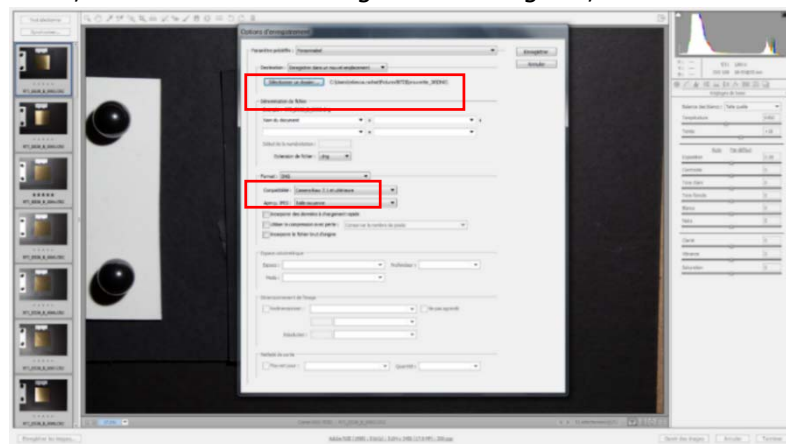
7.1. Traitement de l'image sous Adobe Photoshop's Camera RAW



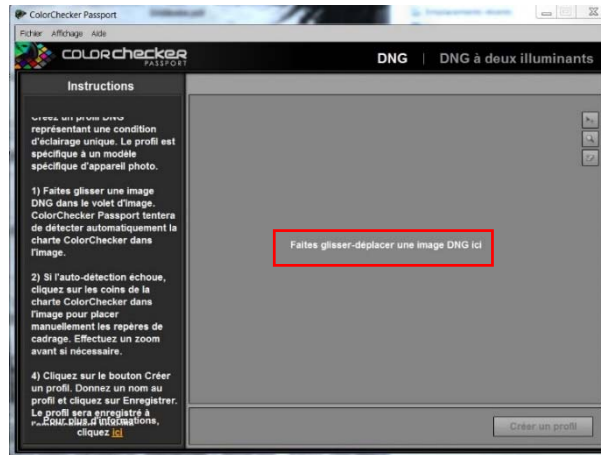
1. Ouvrir sur Adobe Photoshop's Camera Raw les photographies au format RAW et sélectionner toutes les photos.



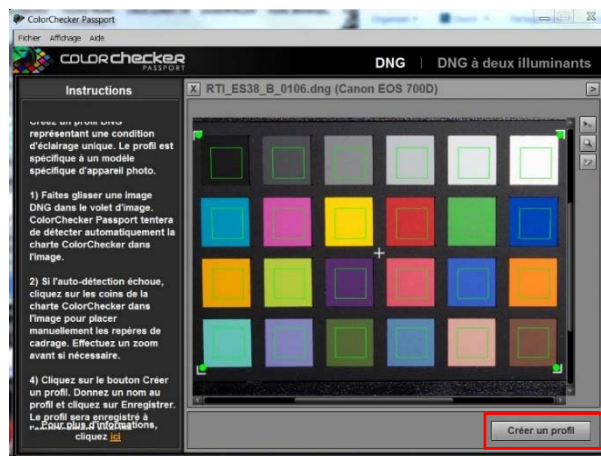
2. Les photos s'affichent dans une nouvelle interface. Cliquer sur le bouton « Tout sélectionner », suivi du bouton « Enregistrer les images », dans la colonne de gauche.



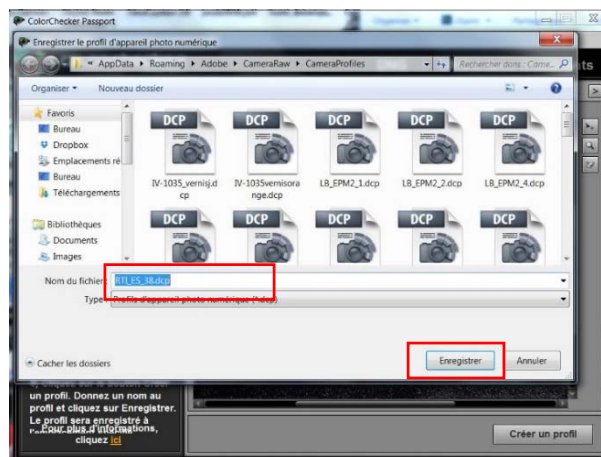
3. Convertir les photographies au format RAW (CR2) au format DNG. Une nouvelle fenêtre s'ouvre. Sélectionner le dossier de destination des photos DNG et sélectionner le format DNG.



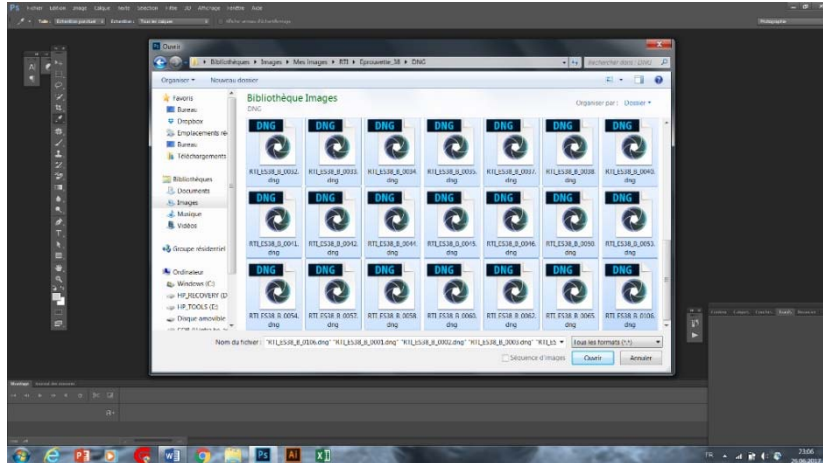
4. Maintenant les photos sont au format DNG, on peut créer le profil colorimétrique avec le logiciel ColorChecker Passport. Faire glisser l'image DNG de la charte colorimétrique dans le logiciel.



5. Le logiciel va effectuer une auto-détection de la charte colorimétrique.



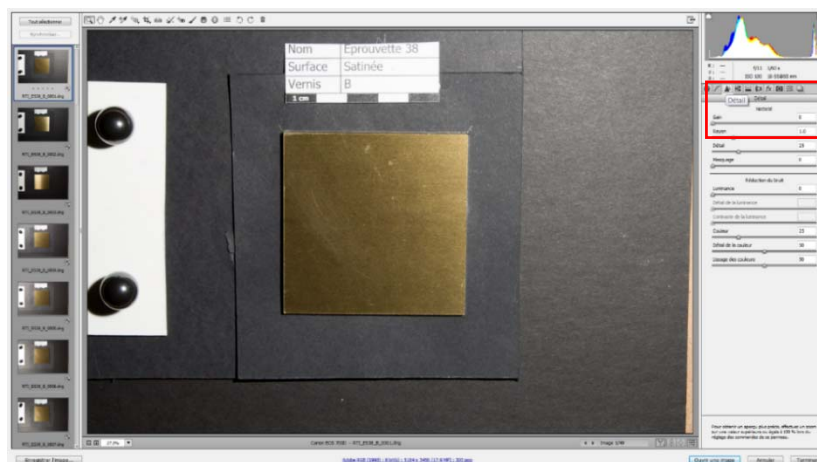
6. On peut maintenant nommer et enregistrer le profil spécifique. Il sera enregistré au format DCP. On retrouve ce profil dans le logiciel Adobe Photoshop's Camera Raw, sous étalonnage de l'appareil photo.



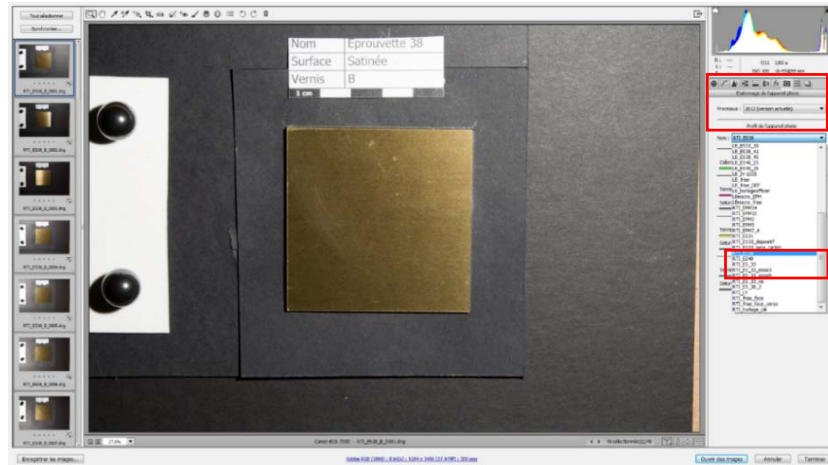
7. Maintenant que le profil colorimétrique a été créé, ouvrir et sélectionner toutes les photos au format DNG dans le logiciel Adobe Photoshop's Camera Raw.



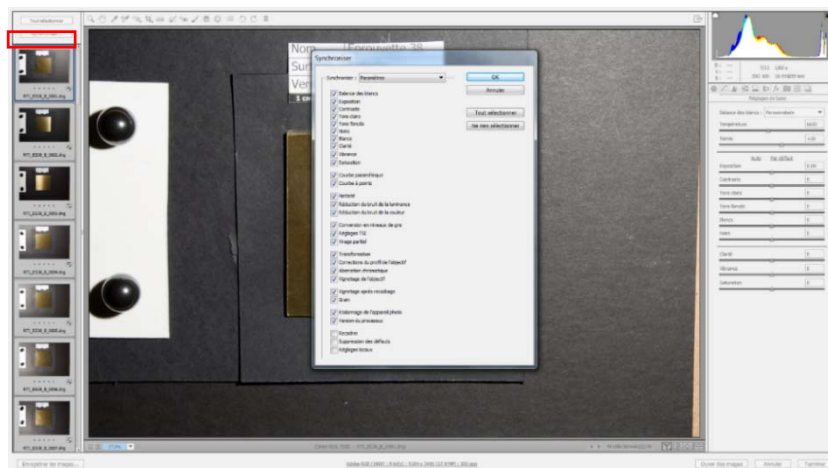
8. Les photos s'affichent dans une nouvelle interface. Cliquer sur la photo de la charte colorimétrique, suivi du bouton « Tout sélectionner ». Nous allons appliquer les réglages couleur à l'ensemble des photos.



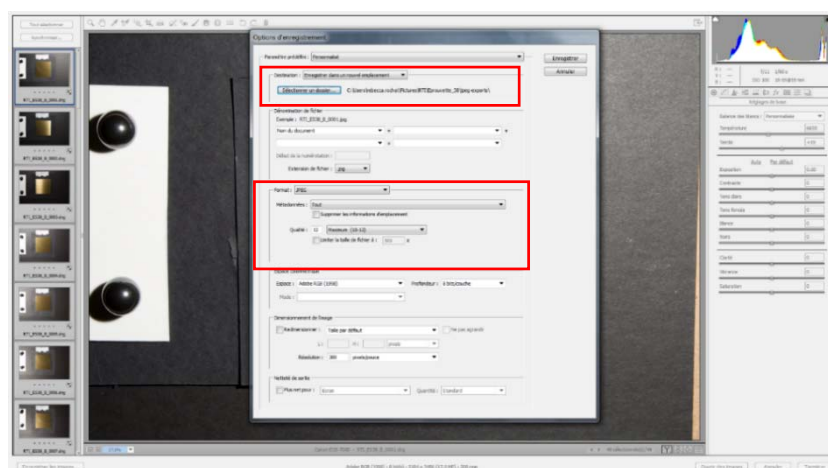
9. S'assurer, sous l'onglet « Détail », que le gain de netteté est à 0.



10. Appliquer maintenant le profil colorimétrique créé sous l'onglet « Etalonnage de l'appareil photo ».

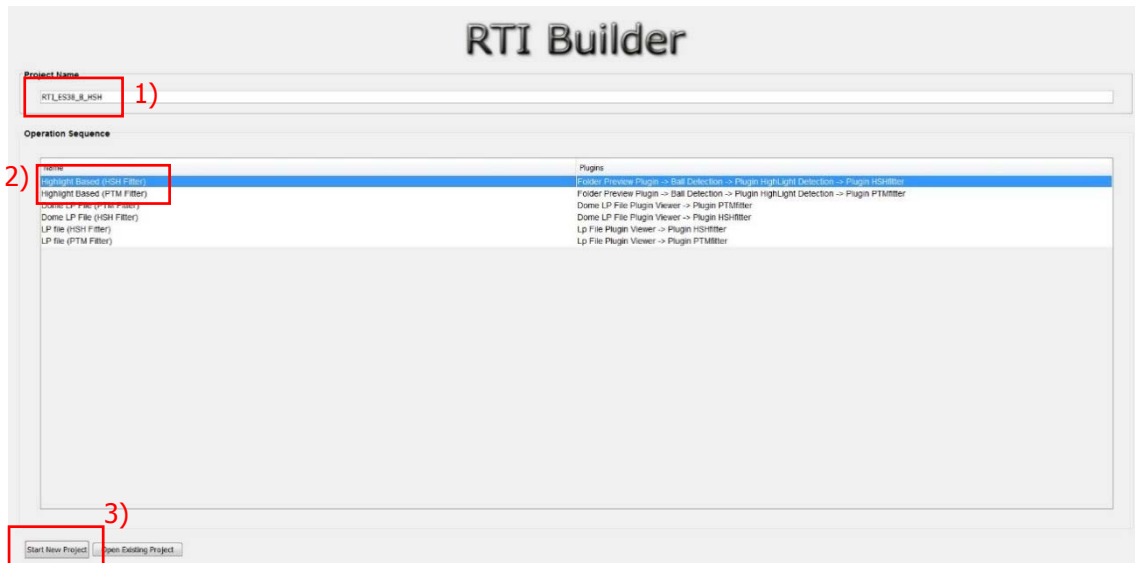


11. Pour s'assurer que tous les réglages sont appliqués lors de l'enregistrement, ouvrir l'onglet "Synchroniser" et sélectionner les champs concernés.

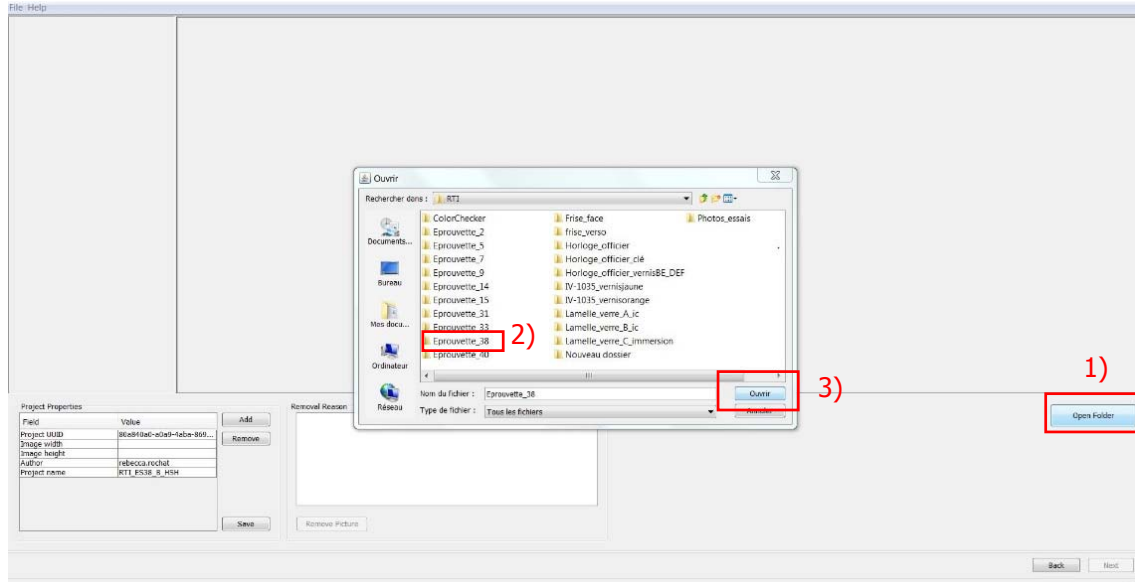


12. Convertir ensuite les images au format JPEG. Les photos sont sauvegardées à la qualité maximale dans le sous-dossier « jpeg-exports ».

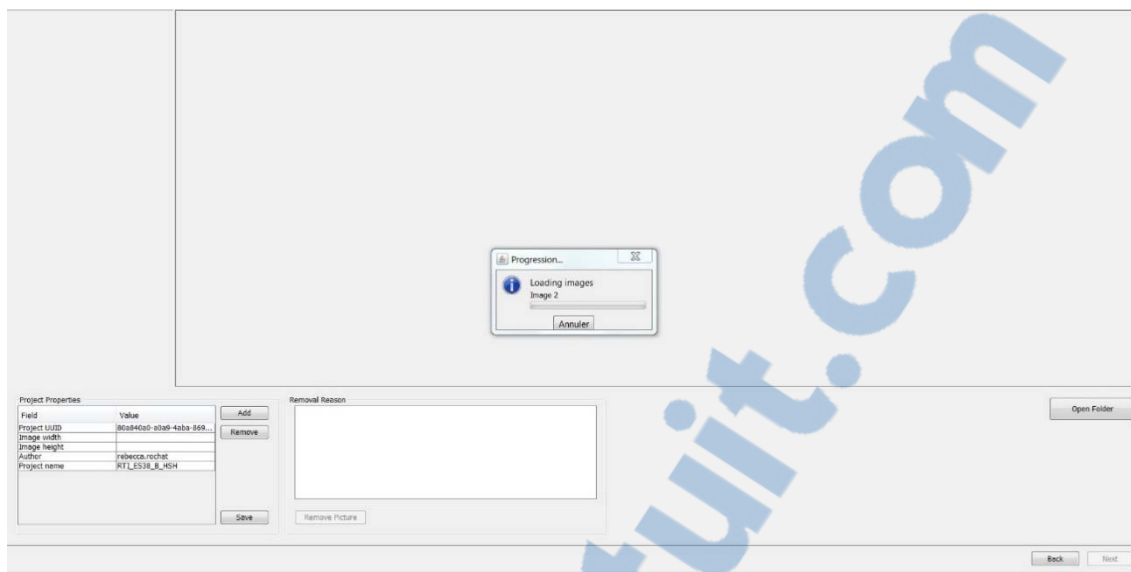
7.2. Création du fichier ITR avec le logiciel RTI Builder



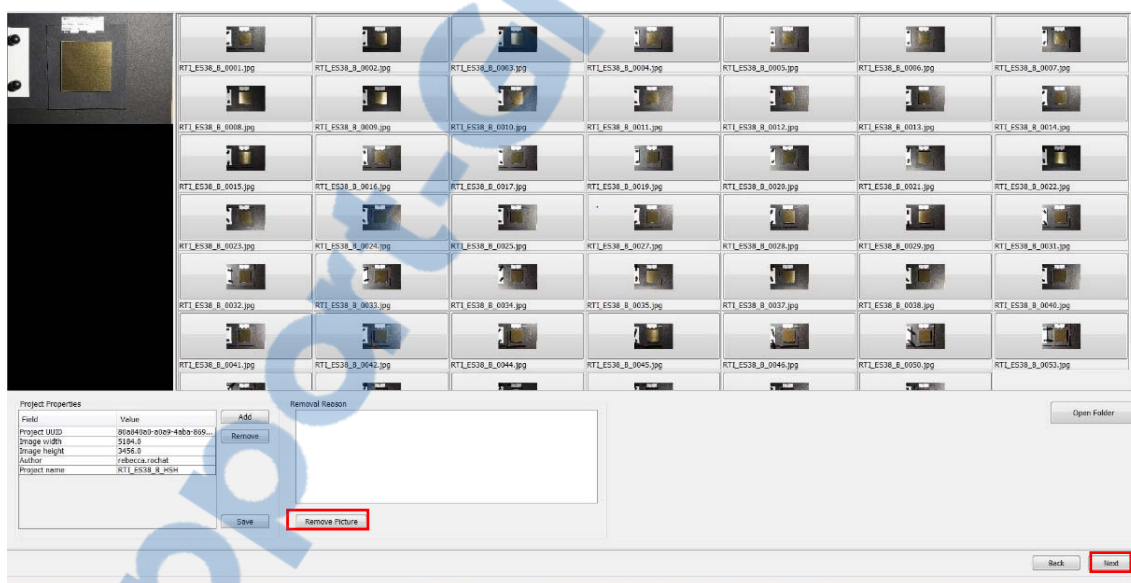
1. Après l'étape de calibration des images, on peut créer le fichier ITR. Dans le logiciel RTIBuilder, entrez un nom au projet en ne mettant que des tirets bas (_). Sélectionner l'algorithme de traitement voulu (HSH Fitter ou PTM Fitter) et cliquez sur « Start New Project ». Pour la séquence PTM, il faut installer le plug in en le téléchargeant sous <http://www.hpl.hp.com/research/ptm/downloads/download.html>. Le *Highlight-Base* s'applique à la méthode ITR *Highlight*. *Dome LP* s'applique à la méthode ITR *light array*.



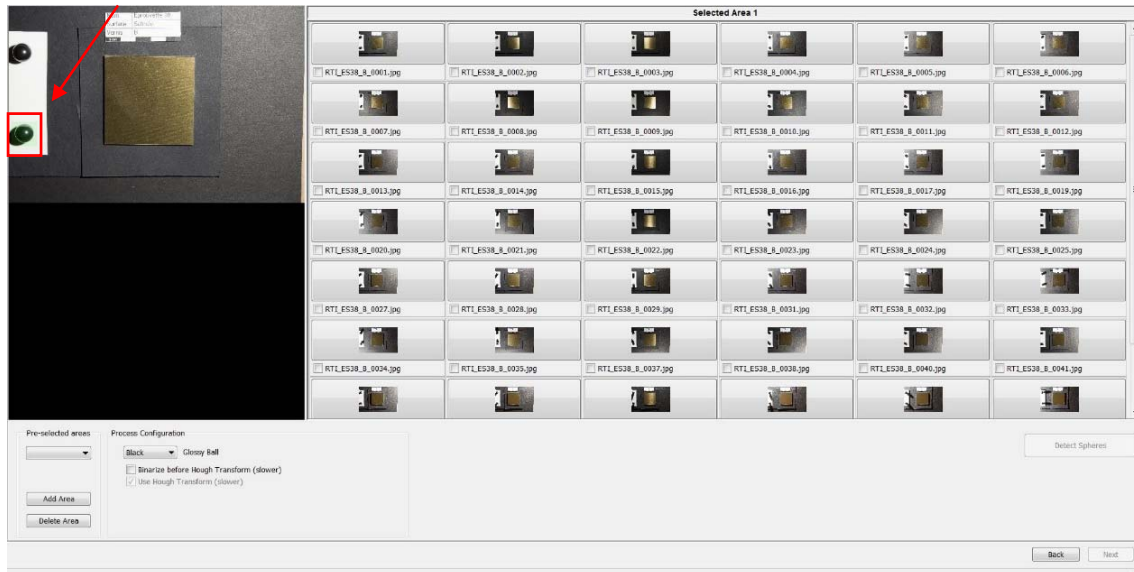
2. Pour l'étape suivante, cliquer sur "Open Folder" (1) et sélectionnez le dossier principal (2) qui contient le fichier jpeg-exports. **Important** : ne pas sélectionner le dossier jpeg-exports mais bien le dossier principal. Si le dossier « jpeg-exports » est sélectionné, un message d'erreur apparaît.



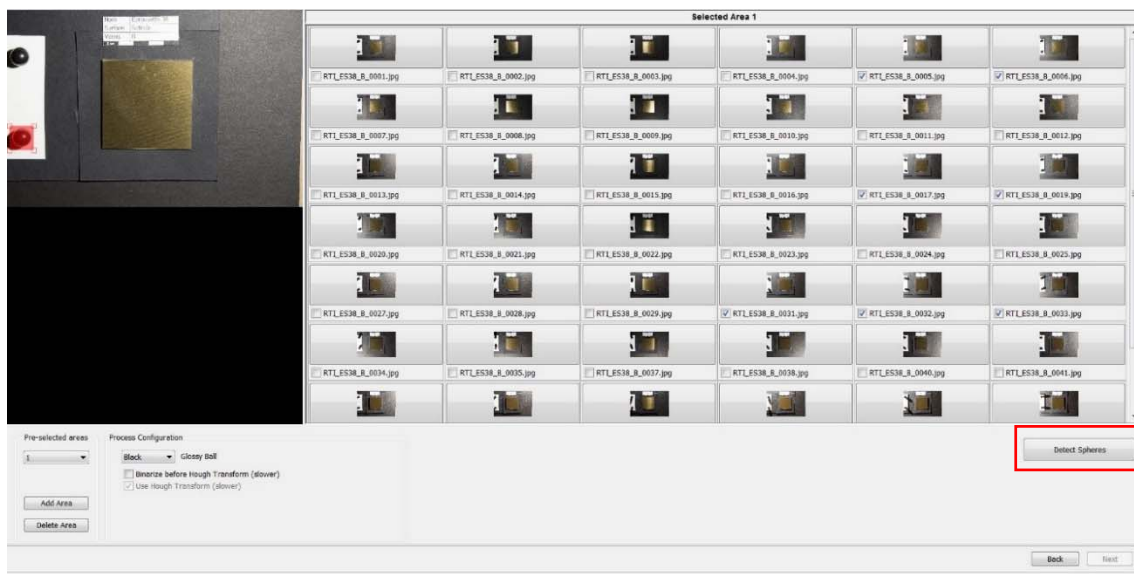
3. Le logiciel charge les images. Cette étape peut prendre quelques minutes (en fonction du nombre et de la taille des images).



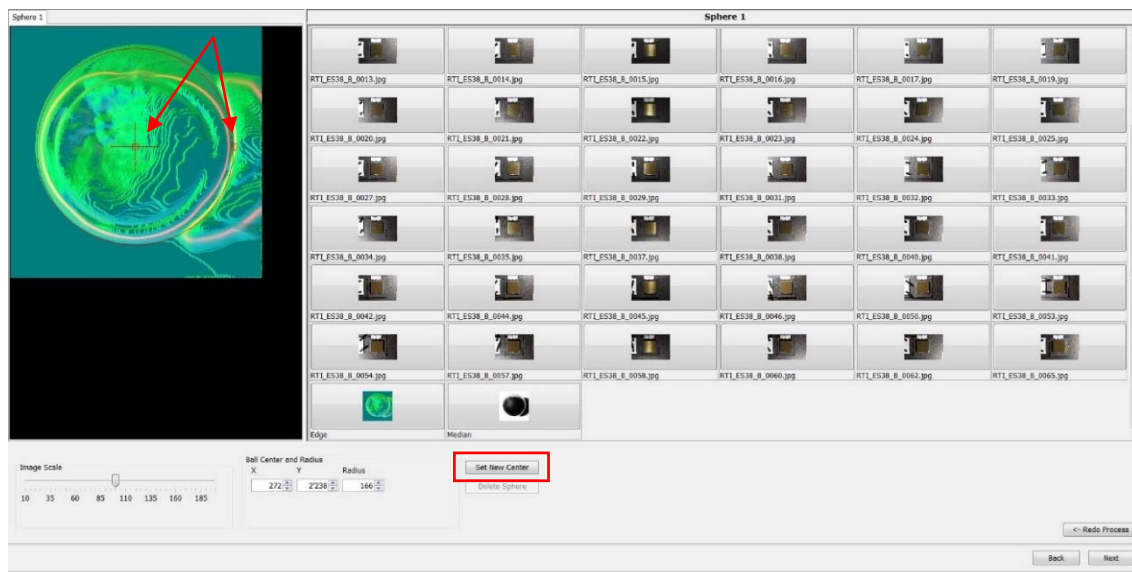
4. Les images sont chargées. Retirer les images surexposées ou présentant le halo lumineux. en cliquant sur « Remove picture ». Cliquer ensuite sur « Next »



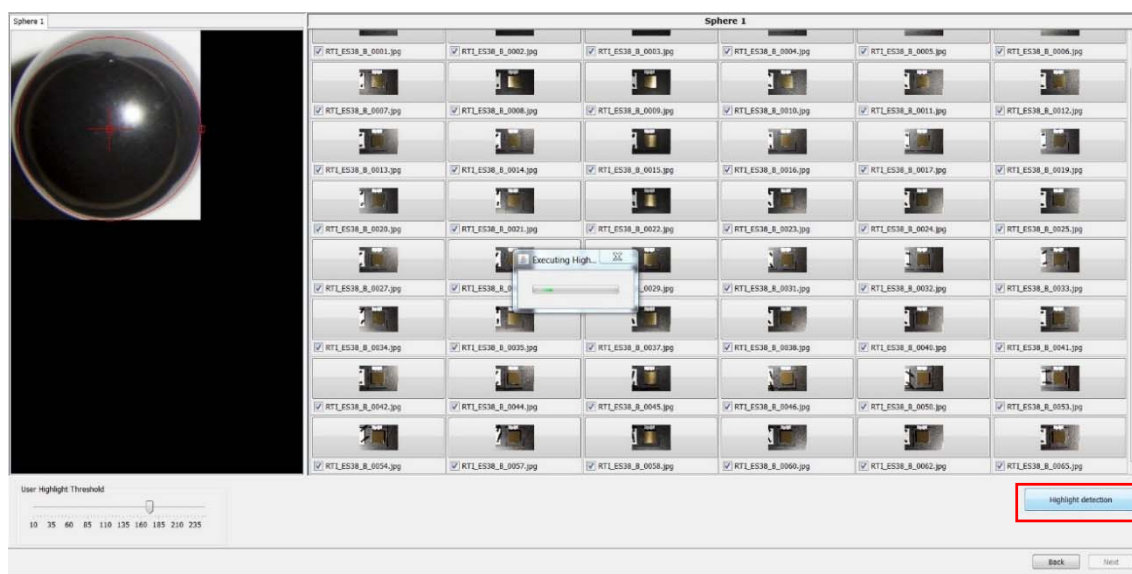
5. Sélectionner la sphère réfléchissante à l'aide de la souris d'ordinateur. La sphère apparaît dans un fond vert.



6. Pour valider la sélection de la sphère, cliquer sur « Add ». Le fond vert devient rouge. Cliquer ensuite sur « Detect Spheres ». La détection des sphères peut prendre quelques minutes.

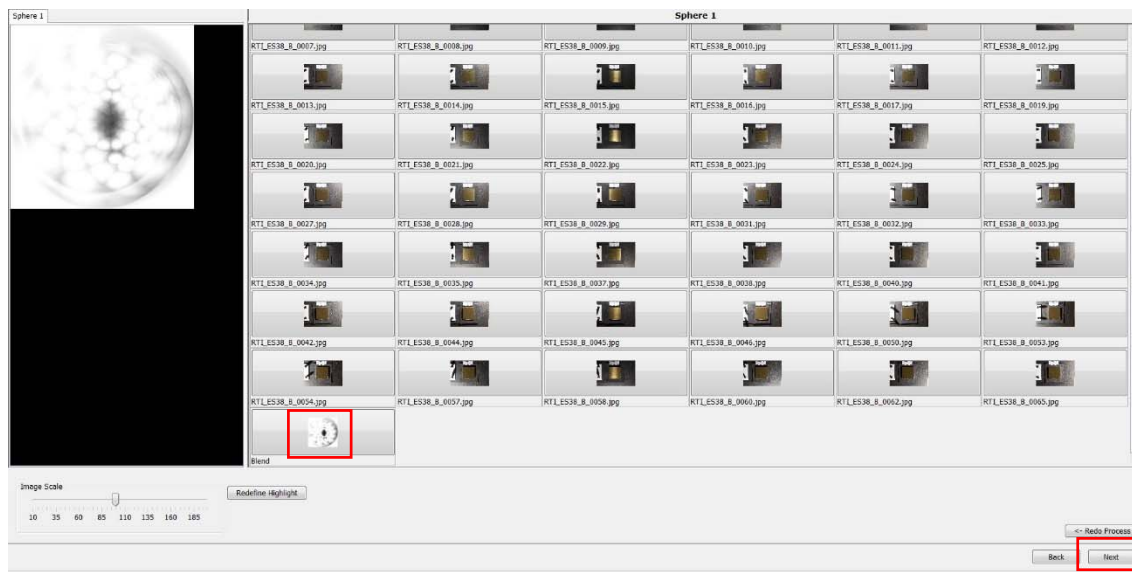


7. La détection de la sphère est terminée. Si l'on souhaite ajuster la cible rouge de telle sorte qu'elle corresponde au bord du cercle, on utilise la croix centrale et le contrôle du radius. Si on effectue ces modifications, ne pas oublier de cliquer sur « Set New Center ». Ensuite, cliquer sur « Next »

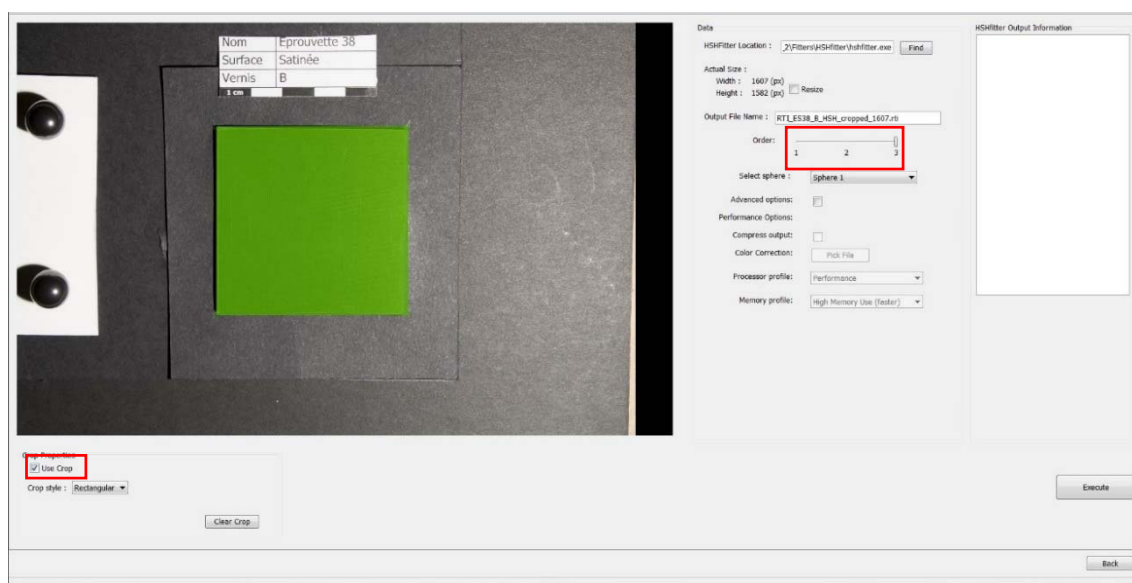


8. On arrive maintenant à la détection et aux calculs des points lumineux (« Highlight Detection »). Cliquer sur « Highlight Detection ». C'est l'opération du programme la plus longue.



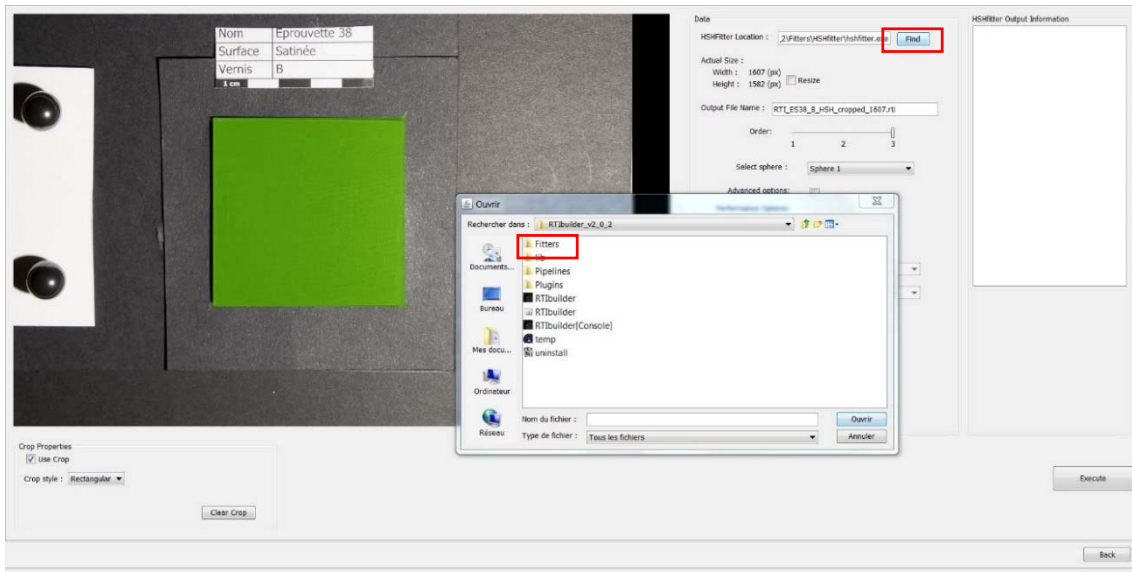


9. Une fois que le programme a fini de détecter les points lumineux, apparaît à la fin des images une image récapitulative des tous les points lumineux sur la sphère réfléchissante. On retrouve cette image dans le sous-dossier « assembly-files ». Si la détection a échoué, cliquer sur « Redo process ». Sinon, cliquer sur « Next » pour continuer.

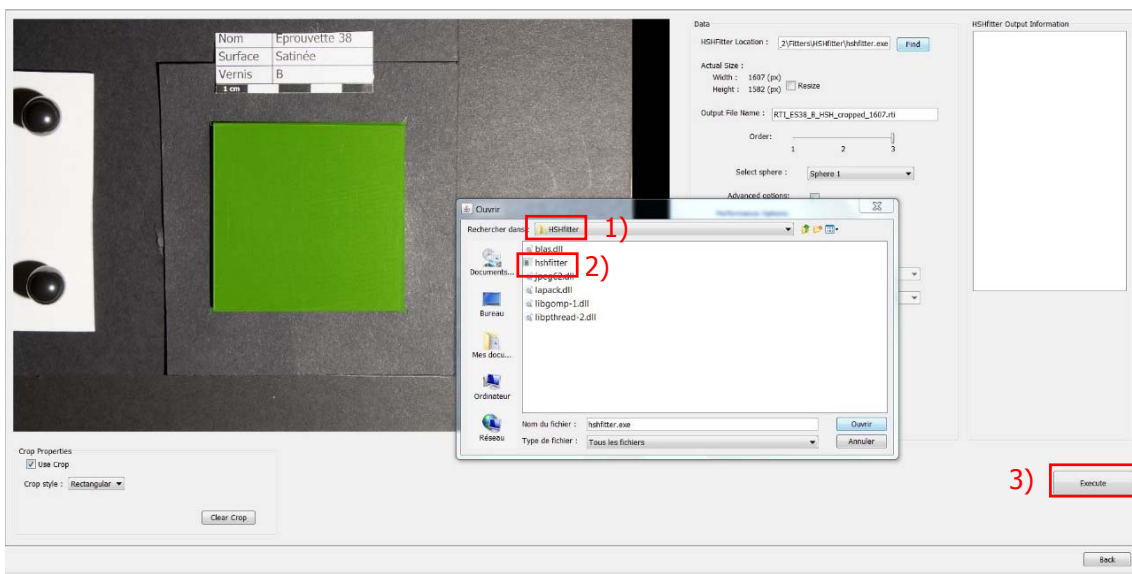


10. Avec l'étape suivante, choisir le chiffre d'ordre. Plus l'ordre est élevé, plus il y a d'informations incluses par pixel et plus la précision de l'éclairage virtuel avec le logiciel RTViewer est proche de la réalité.

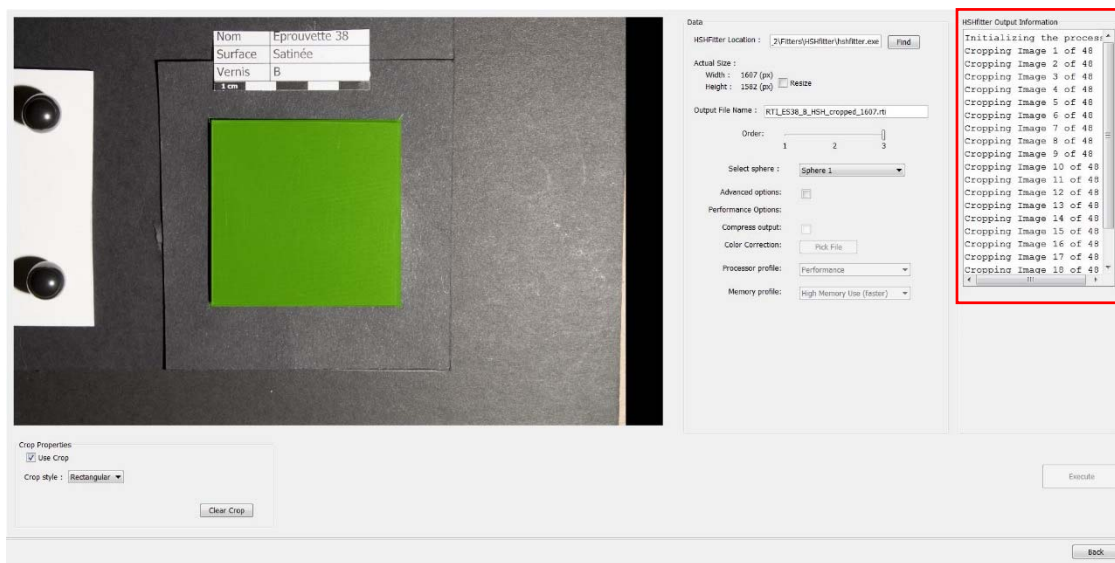
On peut garder toute l'image ou d'en sélectionner qu'une partie. Pour sélectionner une zone, cliquer sur « Use crop ». La zone sélectionnée apparaît en vert.



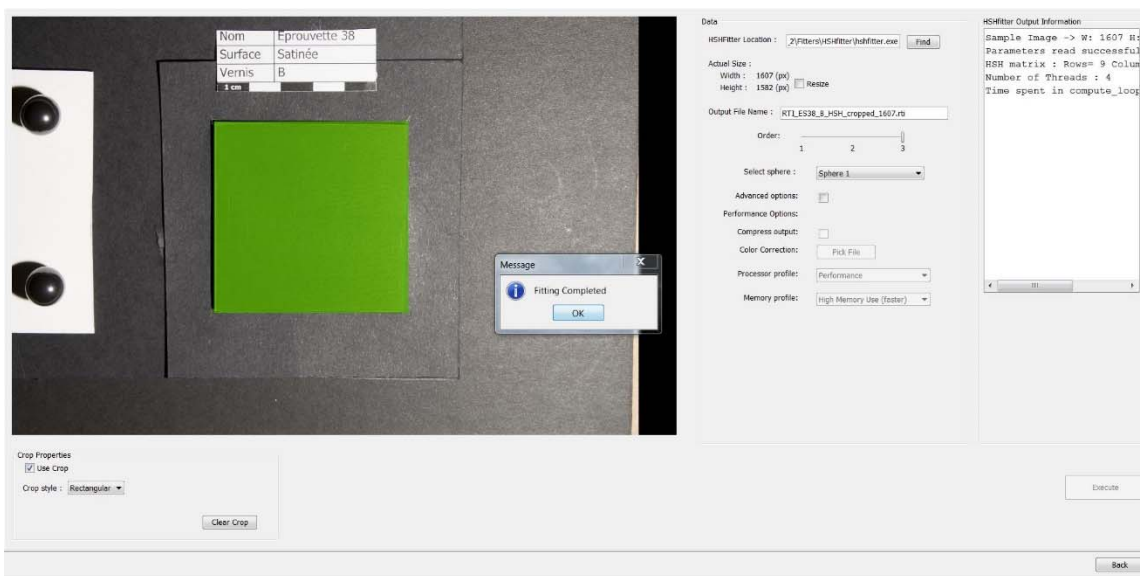
11. Sélectionner la localisation de la séquence (Fitter). Cliquer sur « Find », sélectionner « Fitter » sous « RTIbuilder_v2_0_2 ».



12. Cliquer sur HSH Fitter et sélectionner (sans double cliquer) hshfilter. Cliquer sur « ouvrir ». Après, cliquer sur « Execute ».



13. Le logiciel informe de la progression du traitement de l'image. Le fichier convertit les informations en un fichier .rti

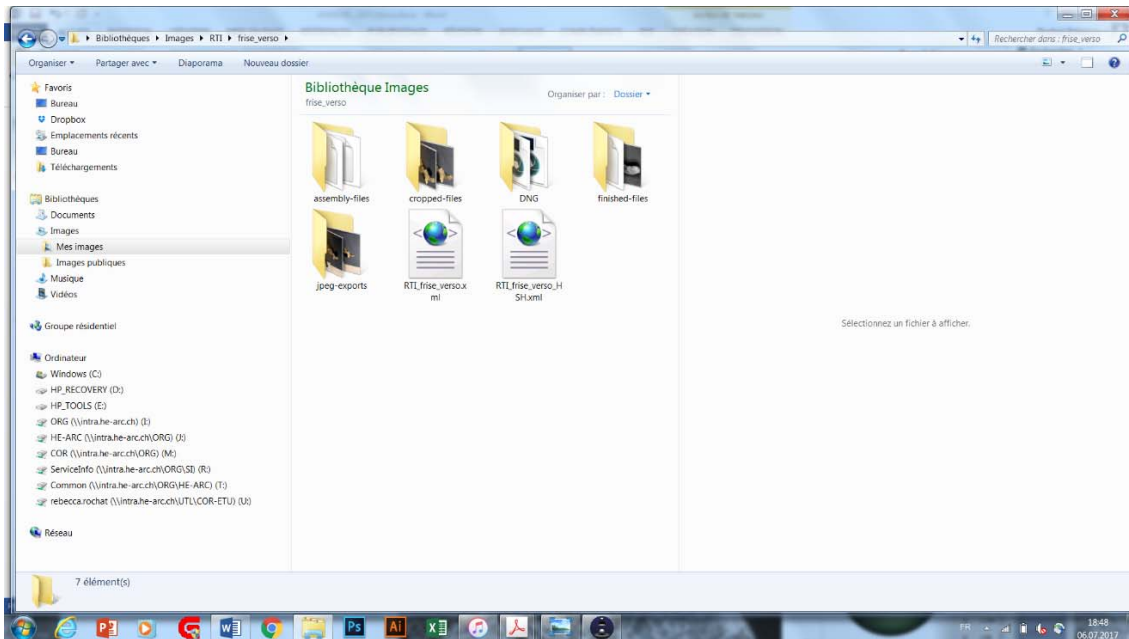


14. Quand le processus est terminé et réussi, une boîte de dialogue « Fitting Completed » apparaît. Si à l'inverse, c'est un message d'erreur (« unknown error »), il est fort probable qu'un espace est inclut dans le nom d'un fichier.

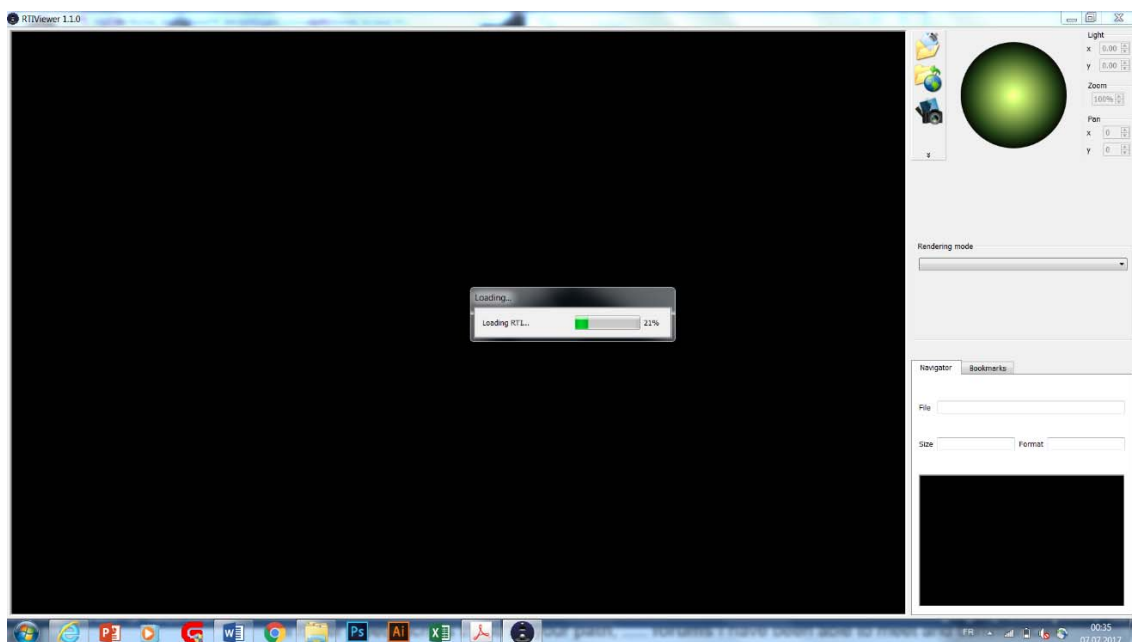
Pour plus d'informations, vous pouvez consulter « Guide to Highlight Image Processing », le guide développé par Cultural Heritage Imaging, disponible sur

http://culturalheritageimaging.org/What_We_Offer/Downloads/Process/index.html

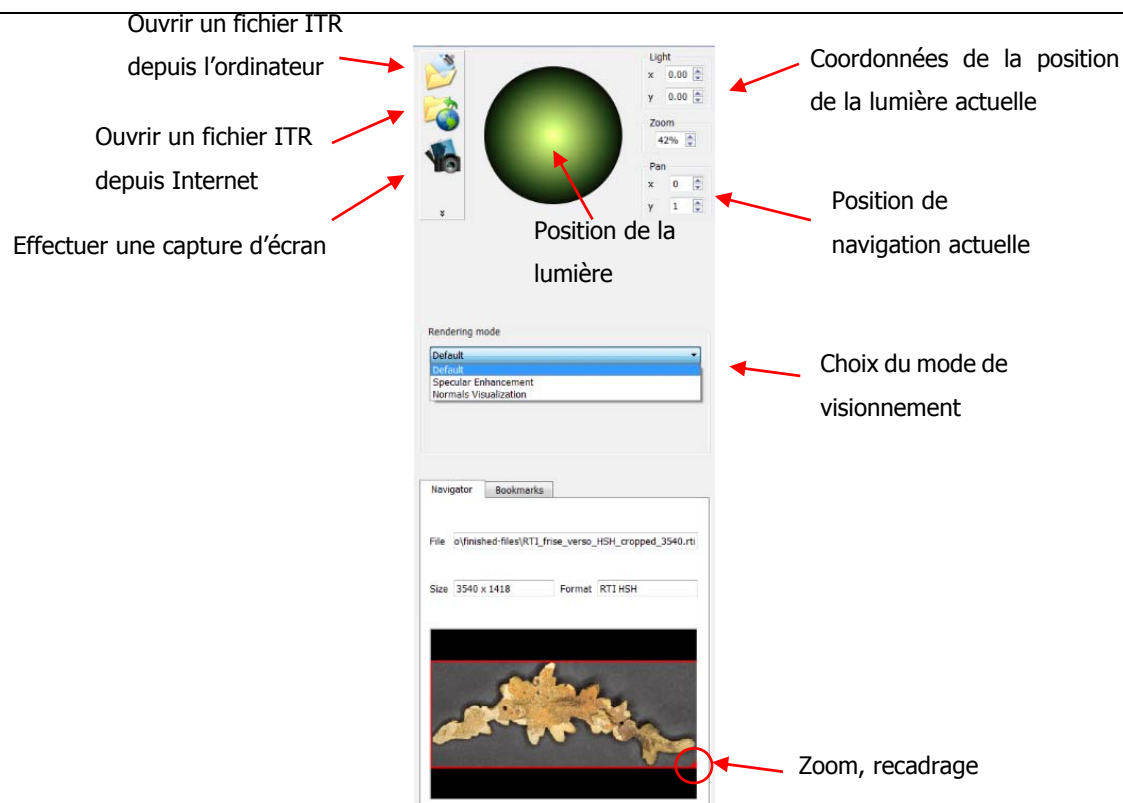
7.3. Visualisation d'un fichier ITR avec le logiciel RTI Viewer



1. Après avoir généré le fichier ITR, le logiciel RTI Builder va créer automatiquement une série de sous-dossiers. Pour ouvrir le fichier RTI Viewer, cliquez sur le sous-dossier « finished-files », où trouver le fichier .rti.



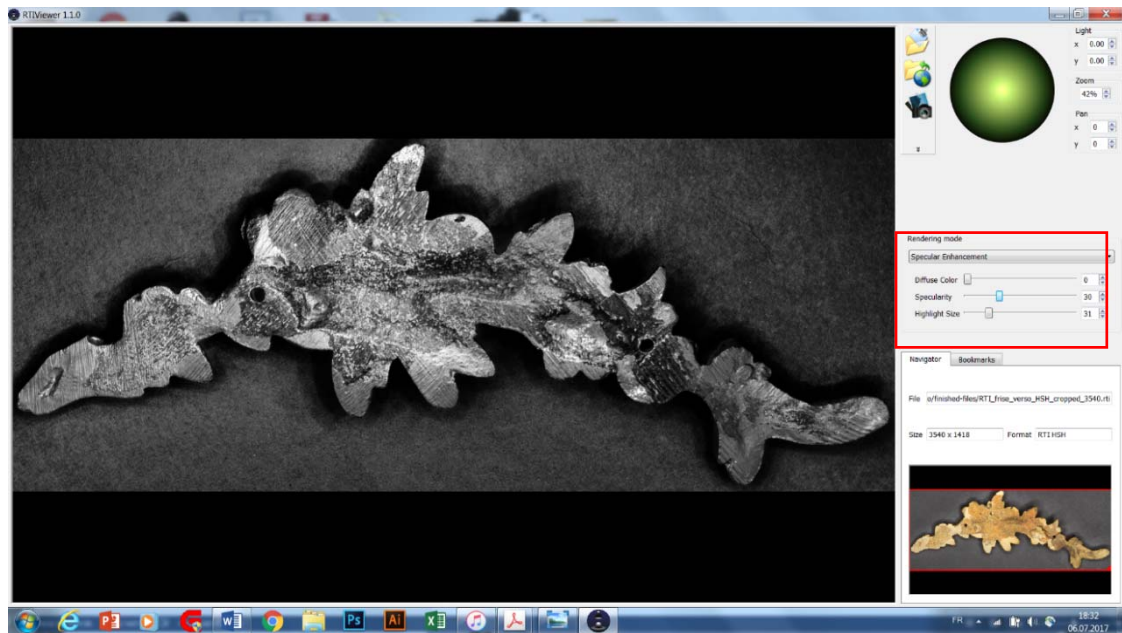
2. Lorsque vous cliquez sur le fichier, le logiciel RTI Viewer s'ouvre et charge le fichier.



3. Le logiciel propose trois modes de visionnement (avec le format .rti) : « Default », « Specular Enhancement » et « Normals Visualisation ». Avec la souris, on peut bouger la source lumineuse de la sphère verte et parcourir interactivement la surface de l'objet. On a la possibilité de recadrer l'image en cliquant sur le triangle rouge situé en bas à droite du rectangle rouge.

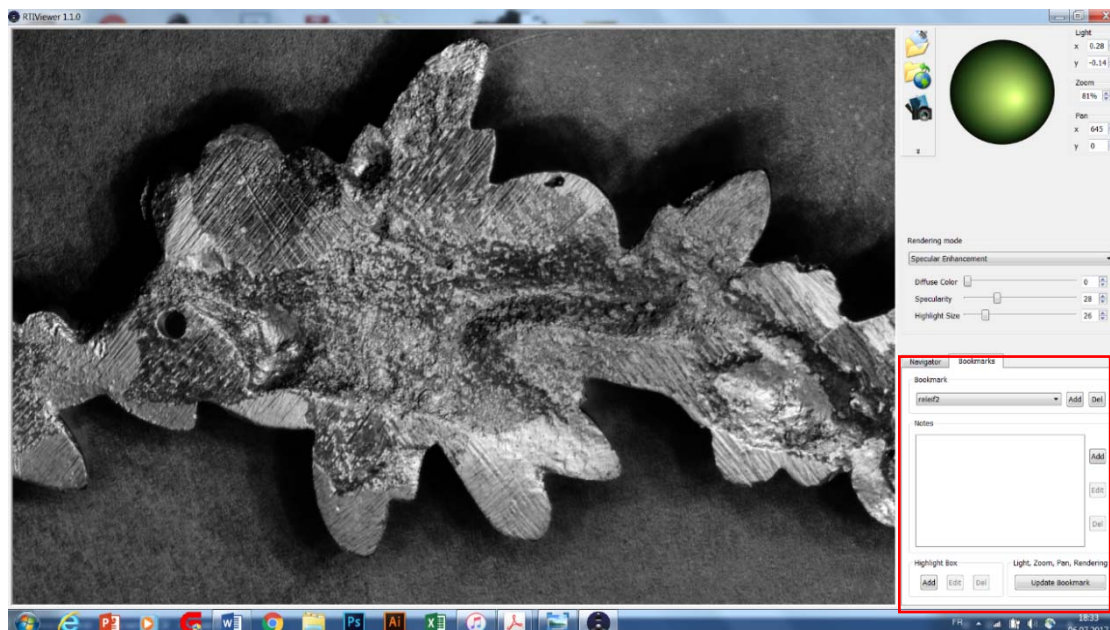


4. Le mode « Default » présente l'image ITR sans amélioration du contraste. Il n'y a pas de paramètres.

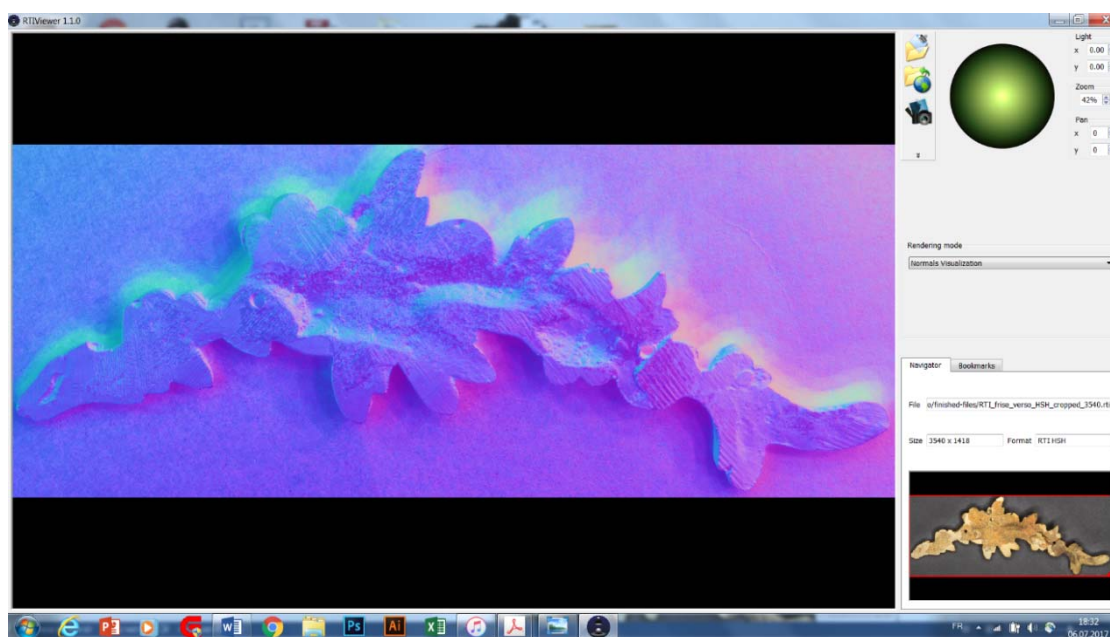


5. Le mode « Specular Enhancement » montre plus de contraste et de détails pour l'objet avec un jeu d'ombre et de lumière. La quantité de détail et de contraste est contrôlée avec trois paramètres : *Diffuse Color*, *Specularity* et *Highlight Size*. Le paramètre *Diffuse Color* va ajuster le pourcentage des informations couleurs RGB diffus. Le paramètre *Specularity* ajuste le pourcentage de la réflexion spéculaire, influencés par la surface de l'objet et de sa réflexion avec la lumière, peu importe sa direction. Lorsque *Specularity* est positionné à 100% et *Diffuse Color* à 0%, seuls les effets de la réflectance selon une direction donnée sont rendus. Avec le paramètre *Highlight Size*, vous pouvez contrôler la brillance du rendu. Avec une valeur faible, on obtient une réflexion mate. En augmentant la valeur, la réflexion sera plus brillante¹⁴⁰.

¹⁴⁰ Cultural Heritage Imaging, 2013b, p. 15 [En ligne]



6. Le logiciel donne la possibilité d'enregistrer des vues intéressantes comme signet (« bookmark »).



7. Ce mode montre où les plans de la surface font faces. Chacune des trois directions est représentée par une couleur fictive. Il permet à l'utilisateur de connaître le bord de l'objet, particulièrement utile lorsqu'il n'y a pas de repères.

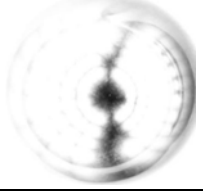
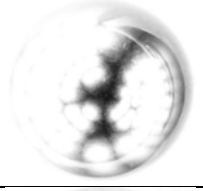
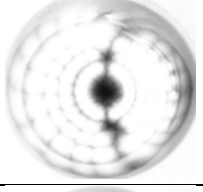
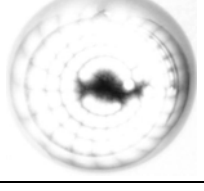
Pour plus d'informations, vous pouvez consulter « Guide to RTI Viewer », le guide développé par Cultural Heritage Imaging, disponible sur

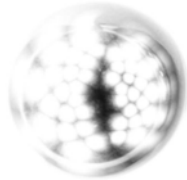
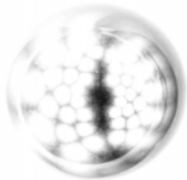
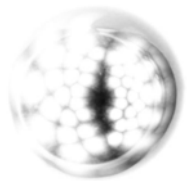
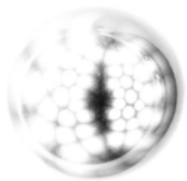
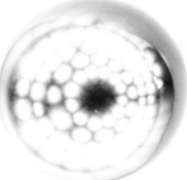
http://culturalheritageimaging.org/What_We_Offer/Downloads/View/index.html

Annexe 8 : Résultats

8.1. Exploitabilité des résultats

Tableau 27 : exploitabilité des fichiers ITR pour les éprouvettes

Eprouvette	Forme	Vernis	Surface	Exploitabilité du fichier ITR	Sphère lumineuse
Eprouvette 14	plane	A	polie-miroir	Exploitable. 21/96 photos supprimées du fichier ITR, halos lumineux.	
Eprouvette 15	plane	B	polie-miroir	Exploitable. 44/96 photos supprimées du fichier ITR, halos lumineux (majoritairement angle lumineux 45°/60°). C'est l'éprouvette la plus touchée par les halos lumineux.	
Eprouvette 2	plane	C	polie-miroir	Exploitable. 13/96 photos supprimées du fichier ITR, halos lumineux (majoritairement angle lumineux 45°/60°).	
Eprouvette 5	plane	Sans vernis	polie-miroir	Exploitable. 14/96 photos supprimées du fichier ITR, halos lumineux (majoritairement angle lumineux 45°/60°). Le phénomène du halo lumineux est ici inversé.	

Eprouvette 31	plane	A	satinée	Exploitable. 8/48 photos retirées du fichier ITR. Reflets lumineux	
Eprouvette 38	plane	B	satinée	Exploitable. 8/48 photos retirées du fichier ITR. Reflets lumineux	
Eprouvette 33	plane	C	satinée	Exploitable. 8/48 photos retirées du fichier ITR. Reflets lumineux	
Eprouvette 40	plane	Sans vernis	satinée	Exploitable. 7/48 photos retirées du fichier ITR. Reflets lumineux	
Eprouvette 7	cylindrique	A	polie-miroir	Inexploitable. Les conditions de prises de vue ne sont pas adaptées pour les éprouvettes polies-miroirs de forme cylindrique.	
Eprouvette 8	cylindrique	B	polie-miroir	Pas de fichier ITR	
Eprouvette 9	cylindrique	C	polie-miroir	Pas de fichier ITR	
Eprouvette 10	cylindrique	Sans vernis	polie-miroir	Pas de fichier ITR	

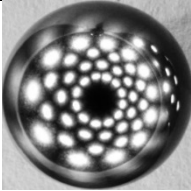
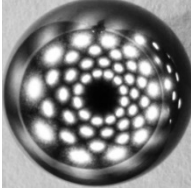
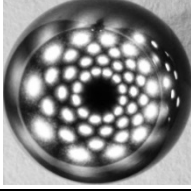
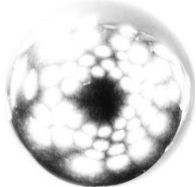
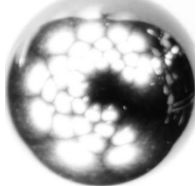
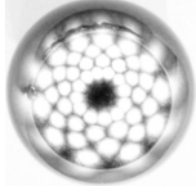
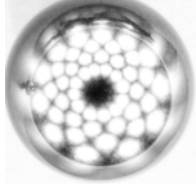
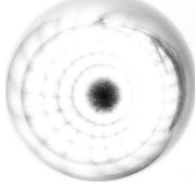
Lames de verre, par immersion	plane	A	lisse	Exploitable	
	plane	B	lisse	Exploitable	
	plane	C	lisse	Exploitable	

Tableau 28 : exploitabilité des fichiers ITR pour les objets historiques.

Objet	Zone	Exploitabilité du fichier ITR	Sphère lumineuse
Horloge à mouvement secondaire	verniss jaune	Exploitable. En raison de l'ombre du socle en plexiglas et des roues d'engrenages, nous avons effectué les prises de vue uniquement sur la partie droite de la platine métallique.	
	verniss orange	Exploitable. 12/48 prises de vue ont été retirées du fichier ITR. Il y avait une imprécision de l'image causé par un léger mouvement de l'objet. La zone lacunaire du verniss orange n'a pu être étudiée. Avec le fichier ITR, les ombres de la roue d'engrenage et les zones surexposées étaient trop importantes.	
Frise	avers	Exploitable	
	revers	Exploitable	
Pendulette d'officier	Clé de remontage	Exploitable	

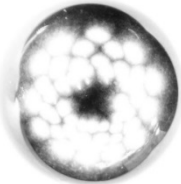

	Partie supérieure	Exploitable	
	Altérations mousse polyuréthane	Inexploitable. L'objet a bougé pendant les prises de vue. Nous avons moins de 24 photos exploitables pour le fichier ITR.	



Figure 202 : essai sur l'éprouvette 7, forme cylindrique. Le fichier est parasité par les conditions de prises de vue (tables). La partie lisible n'est pas représentative de l'objet. Mode Specular Enhancement xy0, DC40_S70_HS75

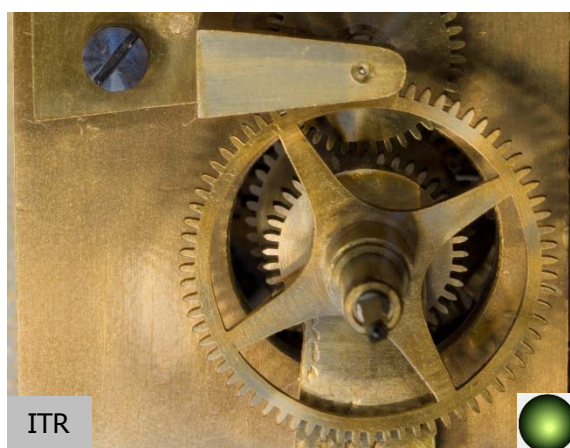


Figure 203 : les zones bleutées sont des zones surexposées. Elles faussent l'interprétation des résultats. Mode Default, x0.09_y-0.16



Figure 204 : éprouvette polie-miroir 15 (verniss B). Le voilage blanc est causé par le halo lumineux du flash. Capture d'écran fichier ITR, mode Specular Enhancement. DC0_S48_HS1_xy0



Figure 205 : phénomène du halo lumineux sur une des prises de vue de la même éprouvette.



Figure 206 : vernis A appliqué sur une lame polie de verre par immersion chauffée.



Figure 207 : vernis B appliqué sur une lame polie de verre par immersion chauffée.



Figure 208 : vernis C appliqué sur une lame polie de verre par immersion.

8.2. Résultats sur les éprouvettes planes, critères 1-2 : mise en évidence des modes d'application et des paramètres du vernis

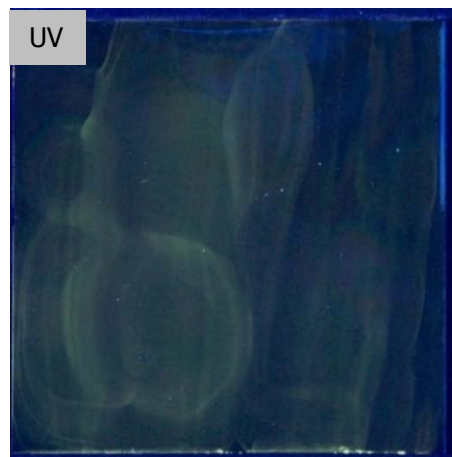


Figure 209 : éprouvette polie-miroir 14 (verniss A). Photographie sous fluorescence UV. Autofluorescence dans les teintes froides, vert.

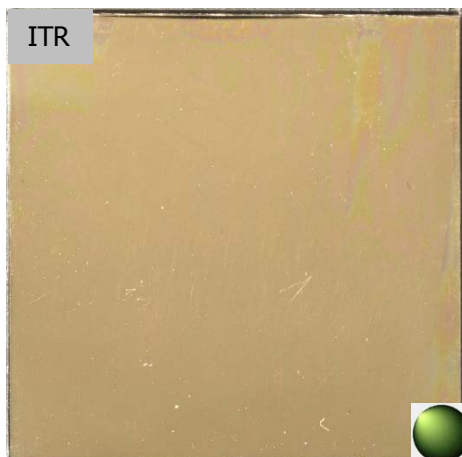


Figure 210 : éprouvette polie-miroir 14 (verniss A). Capture d'écran fichier ITR, mode Specular Enhancement, DC0_S40_HS1_x-0.76_y0.65

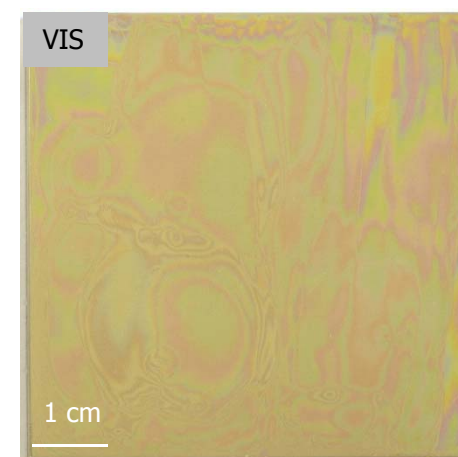


Figure 211 : éprouvette polie-miroir 14 (verniss A). Photographie en lumière blanche, angle lumineux 45°. Irisation

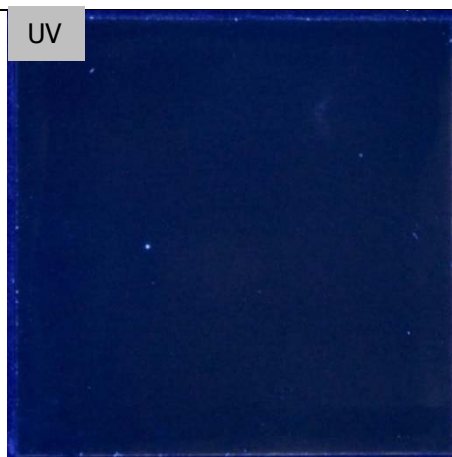


Figure 212 : éprouvette satinée 31 (verniss A). Photographie sous fluorescence UV. Pas d'autofluorescence



Figure 213 : éprouvette satinée 31 (verniss A). Capture d'écran fichier ITR, mode Default x0_y0



Figure 214 : éprouvette satinée 31 (verniss A). Photographie en lumière blanche, angle 45°.

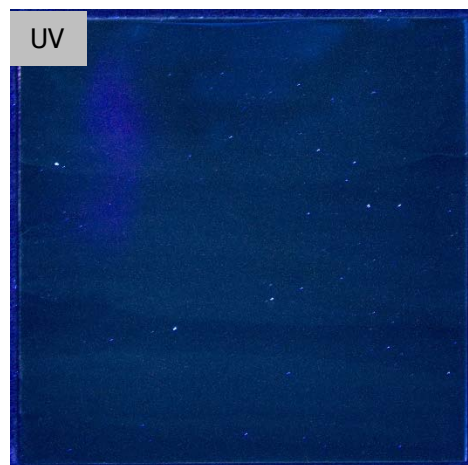


Figure 215 : Eprouvette polie-miroir 15 (verniss B).
Photographie sous fluorescence UV. Légère
autofluorescence dans les teintes froides, bleu-vert.

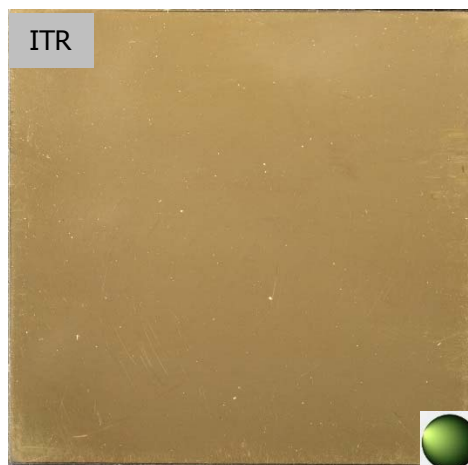


Figure 216 : Eprouvette polie-miroir 15 (verniss B).
Capture d'écran fichier ITR, mode Specular
Enhancement DC91_S8_HS1_x-0.94_y0.34

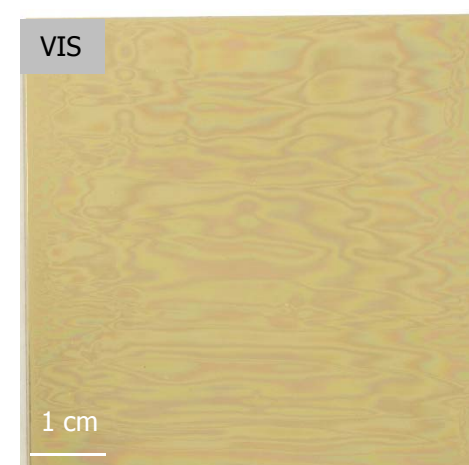


Figure 217 : éprouvette polie-miroir 15 (verniss B).
Photographie en lumière blanche, angle lumineux 45°.
Irisation

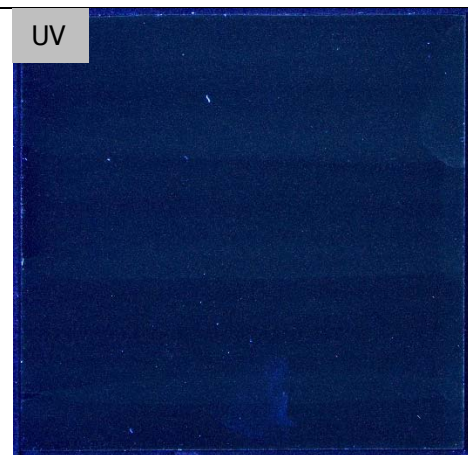


Figure 218 : Eprouvette satinée 38 (verniss B).
Photographie sous fluorescence UV. Très légère
autofluorescence dans les teintes froides, bleu-vert.

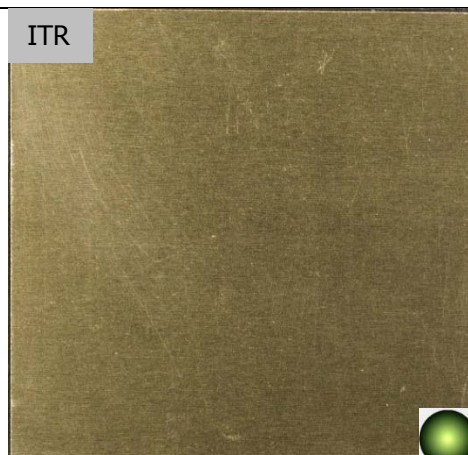


Figure 219 : Eprouvette satinée 38 (verniss B). Capture
d'écran fichier ITR, mode Default x0_y0

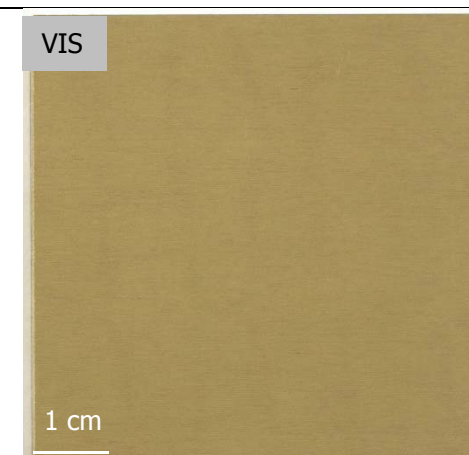


Figure 220 : éprouvette satinée 38 (verniss B).
Photographie en lumière blanche, angle lumineux 45°.

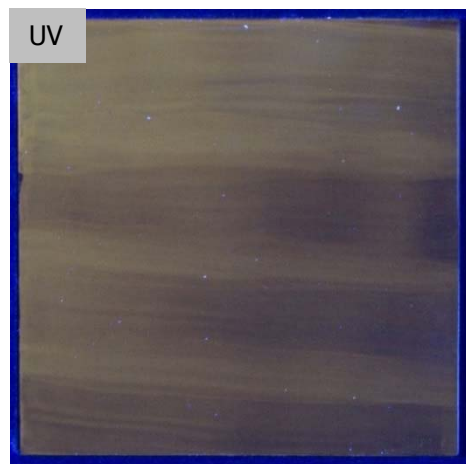


Figure 221 : éprouvette polie-miroir 2 (vernish C). Photographie sous fluorescence UV. Autofluorescence dans les teintes orangée plus froide que l'éprouvette satinée.

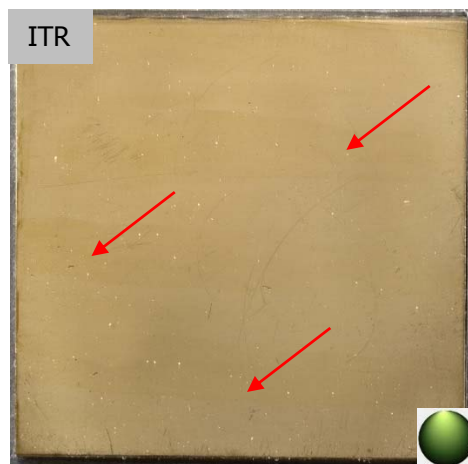


Figure 222 : éprouvette polie-miroir 2 (vernish C). Capture d'écran fichier ITR, mode Specular Enhancement, DC91_S30_HS1_x-0.12_y0.99

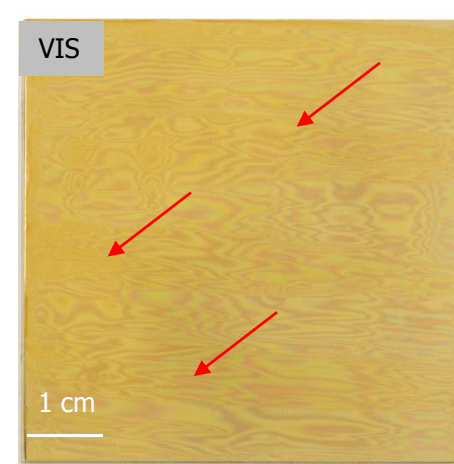


Figure 223 : éprouvette polie-miroir 2 (vernish C). Photographie en lumière blanche, angle lumineux 45°. Irisation



Figure 224 : éprouvette satinée 33 (vernish C). Photographie sous fluorescence UV. Autofluorescence dans les teintes orangée plus chaude que l'éprouvette polie-miroir.



Figure 225 : éprouvette satinée 33 (vernish C). Capture d'écran fichier ITR, mode default, x0_y0

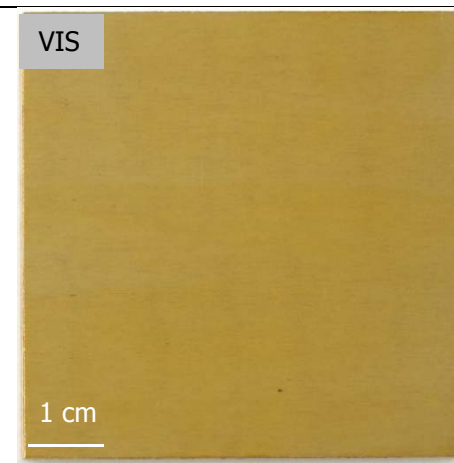


Figure 226 : éprouvette satinée 33 (vernish C). Photographie en lumière blanche, angle lumineux 45°.

8.3. Eprouvettes planes, critère 3, mise en évidence des traces de surface

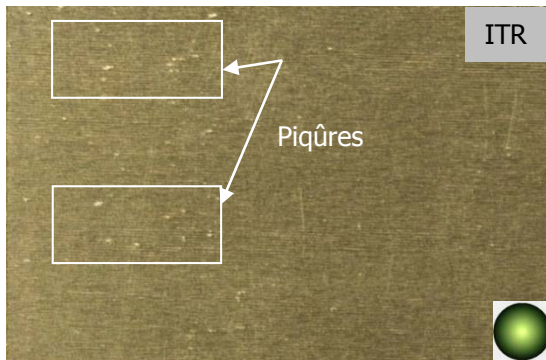


Figure 227 : détail épreuve satinée 31 (verniss A).
Capture d'écran fichier ITR, mode Specular
Enhancement, DC100_S2_HS75_x0_y0



Figure 228 : détail épreuve satinée 31 (verniss A).
Macrophotographie en lumière blanche angle 30°. Avec flash.



Figure 229 : détail épreuve satinée 38 (verniss B).
Capture d'écran fichier ITR, mode Specular
Enhancement. DC100_S2_HS75_x0_y0



Figure 230 : détail épreuve satinée 38 (verniss B).
Macrophotographie en lumière blanche, angle 30°. Avec flash.



Figure 231 : détail épreuve satinée 33
(verniss C). Les traces d'usures ont un meilleur
contraste, en comparaison avec la capture d'écran
ITR. Macrophotographie en lumière blanche.



Figure 232 : détail épreuve satinée 33
(verniss C). Les traces d'usures ont un meilleur
contraste, en comparaison avec la capture d'écran
ITR. Macrophotographie en lumière blanche, angle
30°. Avec flash.

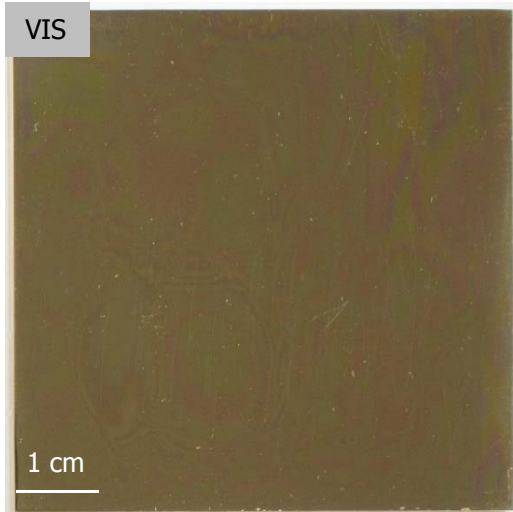


Figure 233 : éprouvette polie-miroir 14 (verniss A). Photographie standard en lumière blanche, angle lumineux 45°. Sans carton, surface assombrie. L'utilisation sans le carton permet de révéler plus de détails de surface. Sans le carton, on n'observe que l'irisation du vernis (fig. 211, p. 145).



Figure 234 : éprouvette polie-miroir 14 (verniss A). Capture d'écran fichier ITR, mode Specular Enhancement. DC100_S50_HS44_xy0

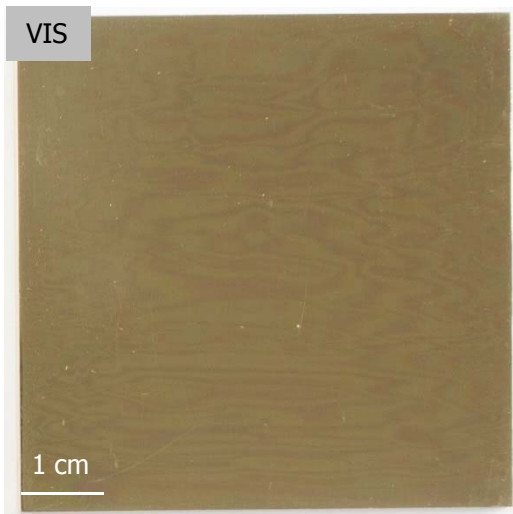


Figure 235 : éprouvette polie-miroir 15 (verniss B). Photographie standard en lumière blanche, angle lumineux 45°. Sans carton, surface assombrie. L'utilisation sans le carton permet de révéler plus de détails de surface. Sans le carton, on n'observe que l'irisation du vernis (fig. 217, p. 146).



Figure 236 : éprouvette polie-miroir 15 (verniss B). Le voilage blanc est causé par le halo lumineux du flash. Capture d'écran fichier ITR, mode Specular Enhancement. DC100_S48_HS1_xy0

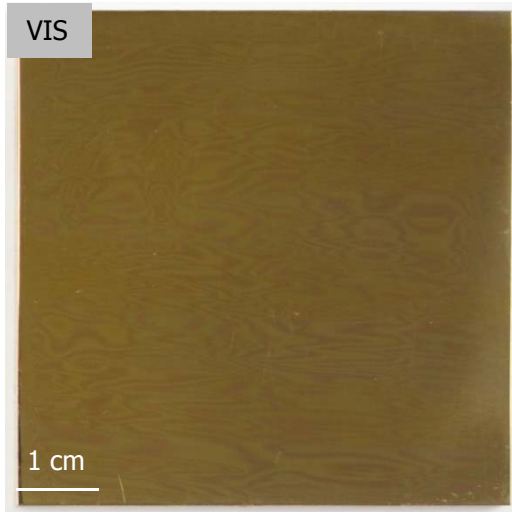


Figure 237 : éprouvette polie-miroir 2 (vernish C). Photographie standard en lumière blanche, angle lumineux 45°, sans carton, surface assombrie. L'utilisation sans le carton permet de révéler plus de détails de surface. Sans le carton, on n'observe que l'irisation du vernish (fig. 223, p. 147).

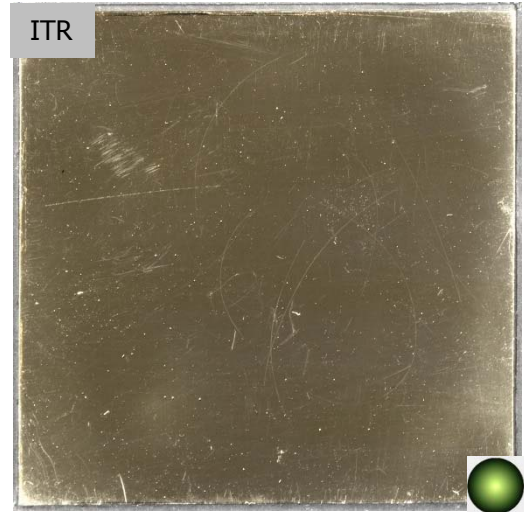


Figure 238 : éprouvette polie-miroir 2 (vernish C). Capture d'écran fichier ITR, mode Specular Enhancement. DC100_S50_HS1_xy0

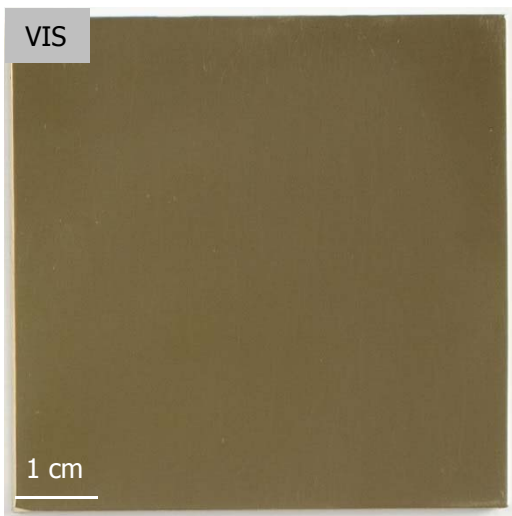


Figure 239 : éprouvette polie-miroir 5 (référence sans vernish). Photographie standard en lumière blanche, angle lumineux 45°, sans carton, surface assombrie. L'utilisation sans le carton permet de révéler plus de détails de surface.



Figure 240 : éprouvette polie-miroir 5 (référence sans vernish). Capture d'écran fichier ITR, mode Specular Enhancement. DC100_S50_HS1_xy0

8.4. Horloge à mouvement secondaire, vernis jaune, critères 1-3

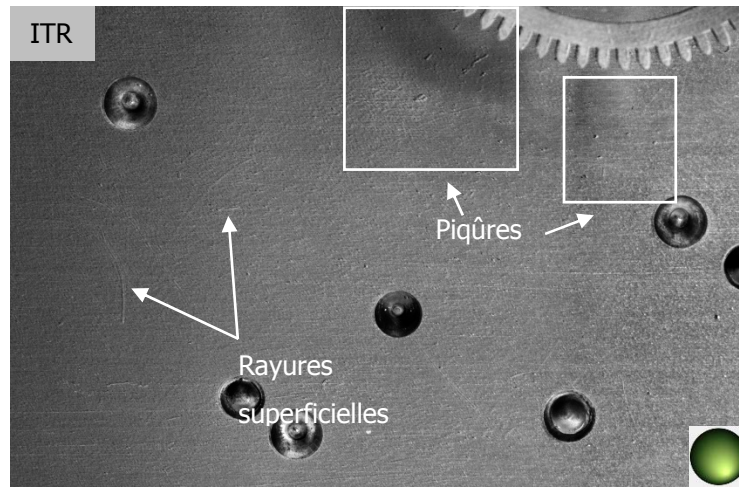


Figure 241 : horloge à mouvement secondaire, platine métallique vernie de couleur jaune. Capture d'écran fichier ITR, mode Specular Enhancement, D0_S36_HS208_x0.28_y-0.59

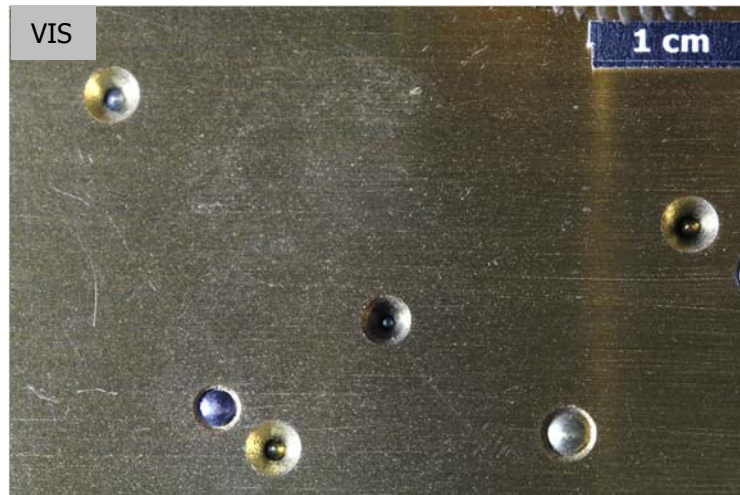


Figure 242 : horloge à mouvement secondaire, platine métallique vernie de couleur jaune. Macrophotographie en lumière blanche, angle lumineux 30°.

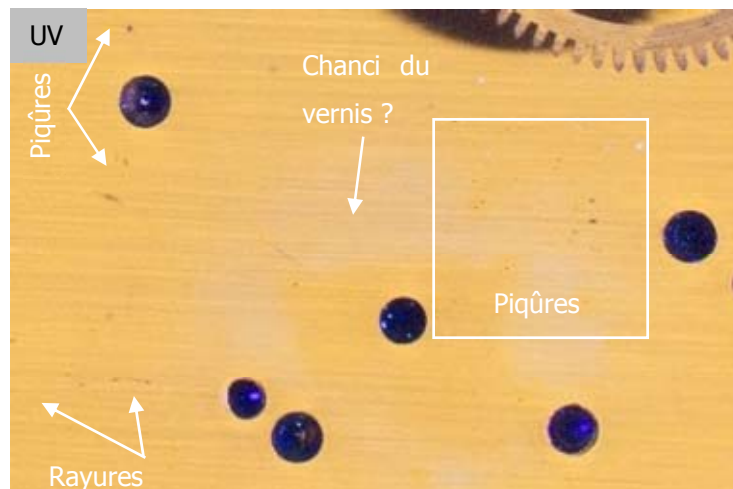


Figure 243 : horloge à mouvement secondaire, platine métallique vernie de couleur jaune. Photographie sous fluorescence UV. Autofluorescence dans les teintes orange-clair

8.5. Avers de la frise, critères 1-2

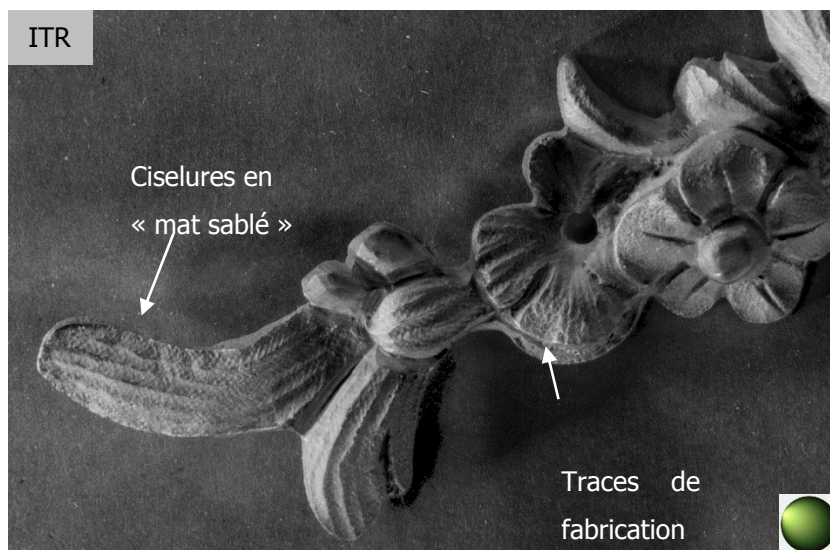


Figure 244 : avers de la frise, décors accentués par la technique ITR. Capture d'écran fichier ITR, mode Specular Enhancement, DC0_S28_HS1_x-0.92_y0.40



Figure 245 : avers de la frise, décors. Macrophotographie en lumière blanche, angle lumineux 45°.

8.6. Frise, critère 3

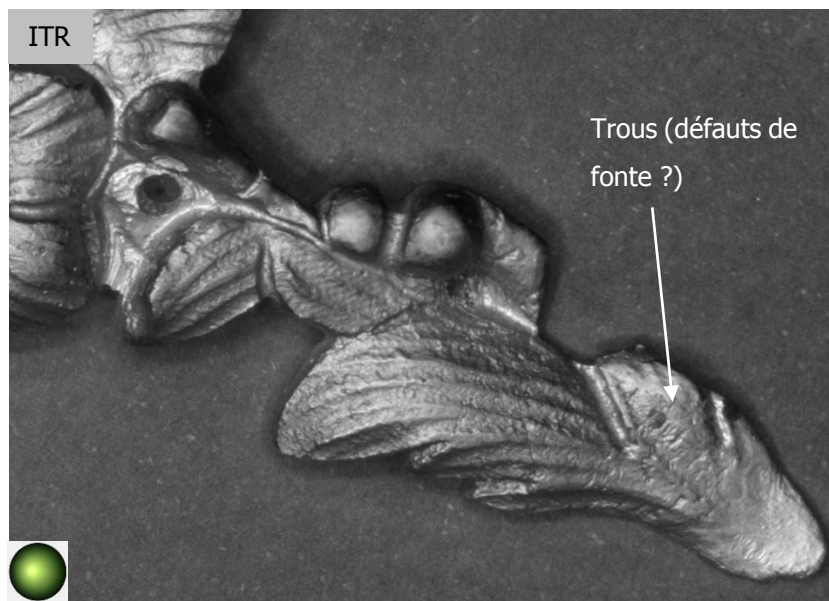


Figure 246 : avers, extrémité droite. Capture d'écran fichier ITR, mode Specular Enhancement. DC0_S27_HS1_x-0.22_y0.04



Figure 247 : avers de la frise, extrémité droite. Macrophotographie en lumière blanche, angle lumineux 45°.

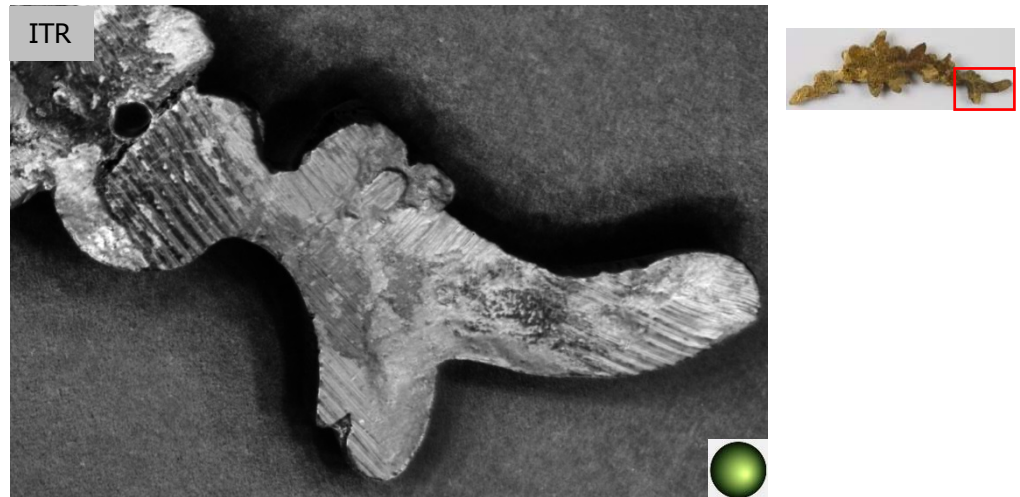


Figure 248 : revers de la frise, extrémité droite. Capture d'écran fichier ITR, mode Specular Enhancement, DCO_S28_HS26_x0.28_y-0.14



Figure 249 : revers de la frise, extrémité droite. Macrophotographie en lumière blanche, angle lumineux 45°.

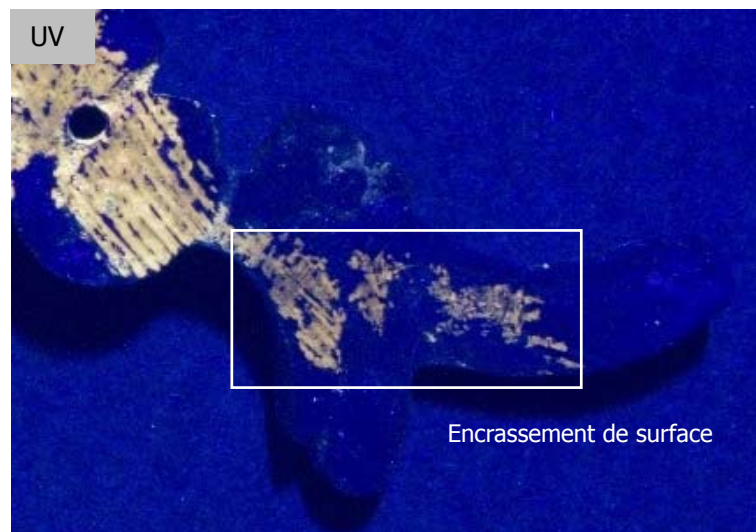


Figure 250 : revers de la frise, extrémité droite. Photographie sous fluorescence UV. On distingue deux autofluorescences : en orange le vernis épargne et en blanc la substance brune-marron.

8.7. Pendulette de voyage, partie supérieure, critères 1-3



Figure 251 : pendulette de voyage, détail de la partie supérieure. Capture d'écran fichier ITR, mode Specular Enhancement. DC0_S35_HS35_x-0.03_y-0.92

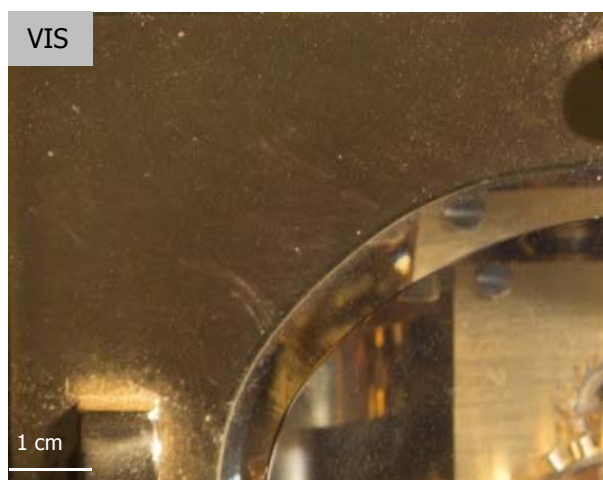


Figure 252 : pendulette de voyage, détail de la partie supérieure. Photographie en lumière blanche, angle lumineux à 60°



Figure 253 : pendulette de voyage, détail de la partie supérieure. Photographie sous fluorescence UV.

Annexe 9 : liste des documents sur le serveur M:

1. Mémoire de Bachelor

2017_BA_CROSTH-Rochat-Rebecca_ApplicationsITRsuralliagescuvireux.docx

2017_BA_CROSTH-Rochat-Rebecca_ApplicationsITRsuralliagescuvireux.pdf

2. Fichiers .rti

Eprouvettes polie-miroirs

RTI_EPM2_C.rti

RTI_EPM5_ref.rti

RTI_EPM14_A.rti

RTI_EPM15_B.rti

RTI_EPM7_A_cylindrique.rti

Eprouvettes satinées

RTI_ES31_A.rti

RTI_ES33_C.rti

RTI_ES38_B.rti

RTI_ES40_ref.rti

Horloge à mouvement secondaire

RTI_IV1035_vernisorange.rti

RTI_IV1035_vernisjaune.rti

Frise

RTI_IV957_frise_avers.rti

RTI_IV957_frise_revers.rti

Pendulette de voyage

RTI_pendulette_partiesuperieure.rti

RTI_pendulette_cle.rti

3. Dossiers des photographies de l'étude comparative

Eprouvettes_verniss_A

Eprouvettes_verniss_B

Eprouvettes_verniss_C

Eprouvettes_référence

IV957_Frise

IV1035_horloge_mouvement_secondaire

Pendulette_voyage