Stage Master 2 Recherche 2026-2027

Restitution virtuelle des dorures d'œuvres peintes

Contexte Le projet RENLOR, financé par le PEPR ICCARE, vise la mise en place d'une chaîne d'acquisition et de visualisation photoréaliste 3D d'une sélection d'œuvres peintes du musée des Beaux-Arts (MBA) de Dijon présentant des surfaces ou des motifs réalisés avec de l'or (figure 1). Il a pour objectif d'étudier et de restituer les effets produits par différents éclairages (naturel, coloré, artificiel) sur ce métal dont la brillance et la matité dépendent de la technique de dorure employée par les peintres. La reconstruction numérique des œuvres permettra d'analyser l'incidence du relief tridimensionnel, des éventuelles couches colorées et translucides recouvrant les dorures, mais aussi des spectres et des positions des sources lumineuses, ainsi que de l'angle d'observation, sur les effets de brillance et de matité des surfaces dorées. L'utilisation de plaquettes échantillons (éprouvettes) représentatives des différentes techniques de dorures permettra de calibrer la précision de numérisation requise, mais également de caractériser leur réflectance à l'état neuf. Les BRDF (fonctions de distribution de la réflectance bidirectionnelle) obtenues, ainsi que des jumeaux numériques de très grande précision, seront utilisés pour proposer une restitution des dorures des œuvres numériques dans leur état d'origine et à différentes échelles d'observation.



(a) (b) (c) (d)

Figure 1: Détails des 4 œuvres ciblées par le projet RENLOR : (a) Maître à l'Œillet de Baden, Sainte Barbe, Sainte Ursule (avers). Suisse, vers 1500 ; (b) Maître d'Alfajarín (Martín Bernat), Consécration d'un évêque. Aragon, vers 1480-1490 ; (c) Maître d'Ambierle, Annonciation, Bruxelles, vers 1470.; (d) Entourage de Vincenzo Foppa, Vierge à l'Enfant entourée d'anges musiciens. Milan, vers 1500.

Travail à réaliser: À partir des plaquettes échantillons, des mesures de BRDF seront réalisées à l'aide d'un goniophotomètre, ainsi que des numérisations à différentes résolution par la technique de RTI. Au début du stage, nous serons alors en possession pour chaque éprouvette de :

- sa géométrie 3D représentée par des cartes de hauteurs en différentes résolutions ;

- la brdf ponctuelle mesurée en une ou plusieurs positions ;
- d'images vue d'une position zénithale et selon plusieurs angles d'éclairage, le tout en différentes résolutions.

L'ensemble de ces données devra être utilisé pour mettre en place une visualisation virtuelle 3D des éprouvettes.

Le travail de stage sera découpé en deux parties. Le but de la première partie sera de caractériser les paramètres optimaux de mesures qui devront être retenus pour la numérisation des œuvres réelles, afin de reproduire le plus fidèlement possible l'apparence visuelle des dorures. Cette première partie du travail de stage sera découpée en plusieurs étapes :

1. Installation et prise en main de PBRT et Mitsuba (plateformes expérimentales utilisées dans le domaine de la synthèse d'images photo-réaliste) — Il s'agira de comprendre la manière de fonctionner de chaque logiciel, en particulier au niveau des paramétrages disponibles des brdf. De nombreuses scènes sont disponibles et aucun développement supplémentaire n'est envisagé sur ces outils ;
2. Réaliser une première visualisation d'une éprouvette à partir d'une géométrie 3D et d'une brdf ponctuelle mesurée ;
3. Étendre cette visualisation afin de permettre son paramétrage simplement (choix de la résolution de la géométrie 3D, choix de la brdf ponctuelle mesurée)
4. Avec l'aide des encadrants : réfléchir à un moyen d'utiliser les images zénithales d'une éprouvette pour reconstruire sa BRDF surfacique ;
5. Mettre en place une étude comparative entre l'aspect visuel des échantillons virtuels et réels selon différentes conditions de visualisation et d'éclairage.

La deuxième partie du travail de stage sera de proposer une application interactive de visualisation des éprouvettes qui sera utilisée comme base pour la visualisation interactive des œuvres numérisées.

Encadrants :

- Christophe Renaud, christophe.renaud@univ-littoral.fr
- François Rousselle, francois.rousselle@univ-littoral.fr

Prérequis :

- Intérêt pour les travaux pluridisciplinaires, le sujet impliquant des échanges avec des restaurateurs et des historiens de l'art ;
- Maîtrise du langage C++ ;
- Des connaissances en simulation d'éclairage et n librairies graphiques seront appréciées.

Financement : PEPR ICCARE

Durée : 5 mois

Lieu : LISIC - site de Calais

Éléments de bibliographie :

[1] Hallot, P., Gil, M., Methodology for 3D Acqisition of Highly Reflective Goldsmihing Artefacts, The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, 2019, https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-2-W17-129-2019

[2] Jeanne Capelle, Reflectance Transformation Imaging (RTI) et épigraphie, sur RAAN, 20/02/2017, https://raan.hypotheses.org/1326.

[3] Mudge, Mark & Malzbender, Thomas & Schroer, Carla & Lum, Marlin. (2006). New Reflection Transformation Imaging Methods for Rock Art and Multiple-Viewpoint Display. Proceedings of the 7th International Symposium on Virtual Reality, Archaeology and Cultural Heritage (VAST2006). 195-202. 10.2312/VAST/VAST06/195-202.

[4] María Mercedes Morita, Daniel Alejando Loaiza Carvajal, Ivana Leticia González Bagur, Gabriel Mario Bilmes, A combined approach of SFM-MVS photogrammetry and reflectance transformation 4imaging to enhance 3D reconstructions, Journal of Cultural Heritage Volume 68, July–August 2024, Pages 38-46, https://doi.org/10.1016/j.culher.2024.05.008

[5] Mara Pistellato, Filippo Bergamasco, On-the-go Reflectance Transformation Imaging with Ordinary Smartphones, arXiv:2210.09821v1

[6] Tim Golla and Reinhard Klein. 2017. An Efficient Statistical Data Representation for Real-Time Rendering of Metallic Effect Car Paints. In Virtual Reality and Augmented Reality: 14th EuroVR International Conference, EuroVR 2017, Laval, France, December 12–14, 2017, Proceedings. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, 51–68. https://doi.org/10.1007/978-3-319-72323-5_4

[7] Myoung Kook Seo, Kang Yeon Kim, Duck Bong Kim, and Kwan H. Lee, Efficient representation of bidirectional reflectance distribution functions for metallic paints considering manufacturing parameters, Optical Engineering 50(1), 013603 (1 January 2011). https://doi.org/10.1117/1.3529429

[8] Kroustallis S. et al. Gilding in Spanish panel painting from the fifteenth and early sixteenth centuries, Journal of Medieval Iberian Studies 8/2 (2016), p. 313-343.

[9] Saunders D. Museum Lighting. A Guide for Conservators and Curators, Los Angeles, 2020

[10] Zorach R., Phillips M.W. Gold. Nature and Culture, London, 2016