

L'avenir de l'optique pour l'analyse et la conservation des œuvres d'art

Un laboratoire pour les musées ne décrit pas seulement une œuvre à l'instant de son analyse : en adoptant une approche dynamique des faits techniques, les chercheurs parviennent à retrouver la « chaîne opératoire » de l'artiste. Et l'optique, avec ses outils que sont l'analyse multispectrale, des rayons X aux ondes térahertz, l'imagerie 3D, la tomographie X et toutes les méthodes spectrométriques non invasives, a un rôle essentiel à jouer. Suivez le guide !

>> Michel MENU

Laboratoire du C2RMF, Palais du Louvre
michel.menu@culture.gouv.fr

Un laboratoire pour les musées s'inscrit dans l'essor d'une discipline à la jonction de l'histoire de l'art et de l'archéologie avec les sciences physico-chimiques ; l'objectif affiché est de transformer quelque peu l'histoire de l'art classique en prenant en compte la part matérielle des œuvres ainsi que l'aspect technique de celles-ci. L'intention est donc de mieux comprendre et de mieux préserver les témoins du passé conservés dans les musées. Il s'agirait ainsi de conjuguer l'approche définie par l'historien d'art Aby Warburg (1866-1929) au début du xx^e siècle, une histoire philologique et anthropologique des images avec une approche matérielle, c'est-à-dire l'analyse des propriétés physiques des matériaux constitutifs des œuvres d'art et aussi la description des techniques de leur réalisation. C'est ainsi retrouver la « chaîne opératoire » des œuvres, selon le concept énoncé par l'archéologue André Leroi-Gourhan (1911-1986) qui est une syntaxe organisée d'actions, associant gestes, outils et connaissances aboutissant à la transformation d'une matière première en un produit fabriqué. C'est ici une approche dynamique des faits techniques, arrachant la technologie à la simple description d'objets et à l'établissement de typologies.

Dans cette dynamique, l'optique a un rôle essentiel à jouer en faisant appel

aux stratégies spécifiques appliquées à l'imagerie des œuvres : analyse multi-spectrale, des rayons X aux ondes térahertz, imagerie 3D et tomographie X. Elle peut également faire appel à l'analyse mettant en œuvre toutes les méthodes spectrométriques non invasives : l'imagerie associée à une analyse physico-chimique multi-échelle offre une information sur l'apparence à la surface des œuvres comme sur la compréhension de la stratigraphie complexe de la matière en profondeur et à l'application des lasers ; cela s'applique à l'imagerie (holographie, speckle, OCT, fluorescence résolue dans le temps...), à l'analyse (LIBS, Raman...) et à la conservation-restauration (usage de laser pour nettoyer ou ablater spécifiquement des produits extrinsèques aux œuvres [1]).

Dans ce vaste champ, on perçoit tout le potentiel de l'optique qu'il conviendra de faire fructifier dans les années à venir, d'autant qu'il est nécessaire de développer des méthodes non invasives pour des raisons évidentes de préservation. Le présent article rapporte quelques applications représentatives dans le domaine de l'imagerie et dans celui de l'apparence, notamment la couleur.

Quand les images révèlent la genèse d'une œuvre

Depuis l'origine, un laboratoire de musée a comme mission de documenter les matériaux, les techniques et l'état de conservation des œuvres peintes. Il s'agit d'enregistrer l'image d'une œuvre au moment de l'analyse, mais aussi de proposer un ensemble d'images pri-

ses à plusieurs longueurs d'onde pour permettre une interprétation globale lorsqu'elles sont analysées en parallèle d'observations complémentaires de la peinture au microscope, d'analyses ponctuelles, directement ou sur prélèvements minuscules, en ayant recours à des experts spécialisés à l'interface des sciences physico-chimiques et de l'histoire de l'art.

La *figure 1* illustre ce type d'études à travers le travail réalisé par l'équipe de Bruno Mottin, historien de l'art au laboratoire du C2RMF, sur le petit panneau de bois peint par Jan de Beer, maniériste gothique du premier quart du xvi^e siècle : il a permis de rassembler un dossier exemplaire d'images et de décrire les étapes de la création de cette œuvre (*figure 1a*) qui représente un sujet rare, Héraclius décapitant Chosroès, scène de l'histoire de la Vraie Croix, rapportée au Moyen-Âge dans la Légende Dorée par Jacques de Voragine.

Sur le panneau de chêne, a été appliquée une préparation blanche à base de craie puis une couche d'impression, à base de blanc de plomb mélangé à de l'huile. La réflectographie infrarouge (capteur InGaAs, sensible entre 0,9 et 1,7 μm) permet de voir que, sur ce support préparé, le peintre a organisé la composition du tableau au moyen d'un abondant dessin sous-jacent (*figure 1b*) réalisé avec une substance sèche, du type fusain ou pierre noire qui absorbe le rayonnement infrarouge. De nombreux changements de composition sont mis ainsi en évidence, témoignant d'une pratique libre et efficace pour mettre en place les personnages sans



© C2RMF, E. Lambert

Figure 1. Héraclius décapitant Chosroès. Tableau sur bois (chêne) de Jan de Beer (actif à Angers entre 1495 et 1528) (H.24 cm ; L.42,5 cm, – inv. RF 2009-6. Musée du Louvre, département des peintures). Prises de vue : lumière directe (a), en réflectographie infrarouge (b), en infrarouge fausses couleurs (c), radiographie (d), et en fluorescence sous UV (e).

se soucier des détails qui furent précisés dans la phase postérieure de dépôt de la peinture ou des couleurs. Le dessin sous-jacent est complété localement par endroits d'un réseau de hachures pour positionner les ombres, définies initialement par rapport à une source unique à laquelle l'artiste a choisi d'ajouter une source secondaire en cours de peinture.

Des clichés en infrarouge fausses couleurs (images RVB en prenant les valeurs respectivement dans l'infrarouge, le rouge et le vert) permettent d'avoir, à partir d'une vue complète de l'œuvre, la composition chimique des pigments pour les différentes pages de couleur (figure 1c).

La radiographie (figure 1d) ne met en lumière ici qu'un petit nombre de lacunes qui sont essentiellement situées sur les bords du panneau et sur les rives de la fente ; d'autres, de petite taille, sont visibles sur le dos de Chosroès, sur le pied gauche du porte-bannière et sous la forme de griffures sur le visage du trompettiste. Toutes ces altérations apparaissent sous fluorescence d'ultraviolets (figure 1e), où l'on note également quelques retouches sur abrasions. Ainsi, sur cette œuvre en excellent état de conservation, ce travail sur une peinture représentative a permis de révéler les développements à la fois méthodologiques et heuristiques réalisables sur les œuvres peintes à partir d'un ensemble classique d'images.

Quand le vernis modifie les couleurs perçues

Pour permettre non seulement la mesure des couleurs de surface, mais aussi l'identification de pigments et de mélanges de pigments, et enfin d'évaluer la rugosité de surface, le laboratoire du C2RMF a conçu et développé un goniospectrophotocolorimètre sans contact (figure 2) dont la bande spectrale s'étend du proche UV au proche infrarouge pour une caractérisation plus précise des constituants de la matière picturale [2].

L'analyse spectrophotométrique de la couleur du tableau *La Joconde* (figure 3a) a permis de comprendre la technique du *sfumato*, si particulière à Léonard de Vinci, par la modélisation des spectres de réflectance réalisée à partir du modèle de Kubelka-Munk (1931), qui fournit des résultats avec une précision de 3% [3].

Sur les carnations à base de blanc de plomb et de vermillon (HgS, pigment >>>



Vigilance
sans
compromis



Détecteurs

- APDs
- Pyroélectriques
- Thermopiles
- Détecteurs UV
- Détecteurs VIS
- Détecteurs NIR
- Détecteurs IR

rouge très vif), Léonard a déposé délicatement, tel un maquillage, de fines couches – quelques microns – de glacis, couche semi-transparente où quelques grains noirs à base d'oxyde de manganèse (terre d'ombre) sont dispersés. Ainsi la lumière pénètre et diffuse dans le glacis, l'opacité étant directement liée à l'épaisseur de la couche déposée.

Quand le poli modifie la lumière

L'artiste florentin de la Renaissance, Desiderio da Settignano (v.1430-1464) a poursuivi tout au long de sa vie – comme Donatello, Léonard de Vinci ou Michel-Ange – une quête du sublime et de la perfection lumineuse. Il a ainsi mis au point des procédés inédits pour piéger dans son œuvre la lumière qui exprimerait l'essence divine de la beauté, en faisant du choix de la matière et des techniques de mise en œuvre les moyens d'adoucir l'ombre sans détruire le volume.

Pour percer le mystère de son savoir-faire, nous avons couplé l'analyse spectrophotométrique de la couleur à un microrugosimètre optique basé sur le principe de la microscopie confocale à champ étendu, qui met judicieusement à profit les aberrations chromatiques d'un système optique pour cartographier en trois dimensions la surface des œuvres, sans contact et avec une résolution du $1/10^e$ de micromètre [4]. Le capteur optique est monté sur une platine X-Y motorisée. Un logiciel permet la reconstruction 3D de la surface des œuvres (figure 4a).

Nous avons ainsi étudié deux œuvres de Desiderio da Settignano : un buste de saint Jean Baptiste, sculpture en ronde-bosse, et un portrait de Jules César, très bas relief ou *schacciato*, sur un marbre de couleur miel clair à la tonalité légèrement hétérogène mais qui permet au sculpteur de capter la lumière ambiante.

Deux profils de microrugosité sur la sculpture du Saint-Jean Baptiste révèlent la finition spécifique de la surface en fonction du rendu désiré : on y obser-

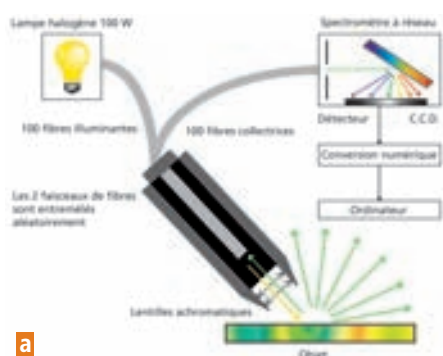
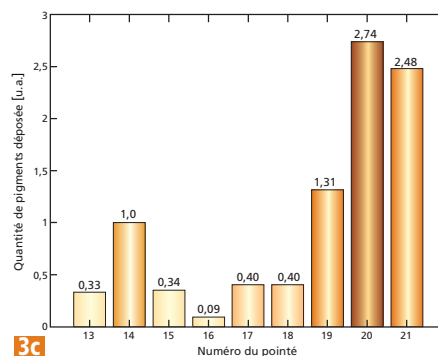
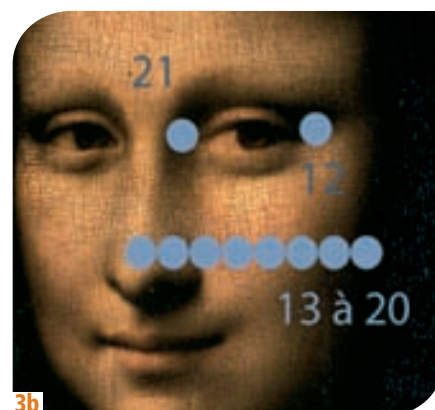


Figure 2. Gonio-spectrophotocolorimètre du C2RMF : principe de fonctionnement (a) et vue du dispositif lors de l'analyse de la couleur du Saint-Jean Baptiste de Léonard de Vinci.



Figure 3. Analyse de la couleur de La Joconde (a), pointés sur le visage de la Joconde (b) et quantité de terre d'ombre déposée (c).



ve une rugosité rms de $1,23 \mu\text{m}$ pour la carnation et $2,43 \mu\text{m}$ pour les drapés du vêtement.

De même, sur le bas-relief de César, la rugosité rms mesurée prend trois valeurs sensiblement différentes sur le fond du relief, où le poli des surface atteint une finesse presque parfaite ($R_a = 0,33 \mu\text{m}$), sur le visage où le coefficient augmente à $0,76 \mu\text{m}$ et sur le drapé où il atteint $0,93 \mu\text{m}$ (figure 4c). Si le *finito*, c'est-à-dire un poli extrêmement poussé, est pour les artistes de la Renaissance le témoin de leur exigence de perfection, Desiderio est un maître incontestable du *finito* analysé par la station de microtopographie !

Le même système peut être utilisé pour mesurer l'épaisseur de couches transparentes, le système enregistrant, cette fois-ci, les deux interfaces (changement d'indice optique) : air/vernis et vernis/couche picturale. Ainsi, sur La Joconde, nous avons pu évaluer l'épaisseur de vernis déposé sur les couches de matière picturales à $48 \mu\text{m}$, cette valeur étant une moyenne sur sept surfaces variant

de $1 \times 1 \text{ mm}^2$ à $10 \times 1 \text{ mm}^2$ analysées avec des pas de $20 \mu\text{m}$ et en prenant un indice de réfraction de vernis de 1,7 (figure 5).

Conclusion

Au fond des images, la trace de l'artiste. Au cœur de la matière, l'empreinte de la main de l'homme pour transformer les objets, les matériaux qu'il a choisis dans la nature.

Les objets, les œuvres que nous ont laissés nos ancêtres et qui peuplent désormais nos musées, sont non seulement les témoins d'une pensée symbolique, des accessoires, des ornements qui accompagnaient les différents moments de

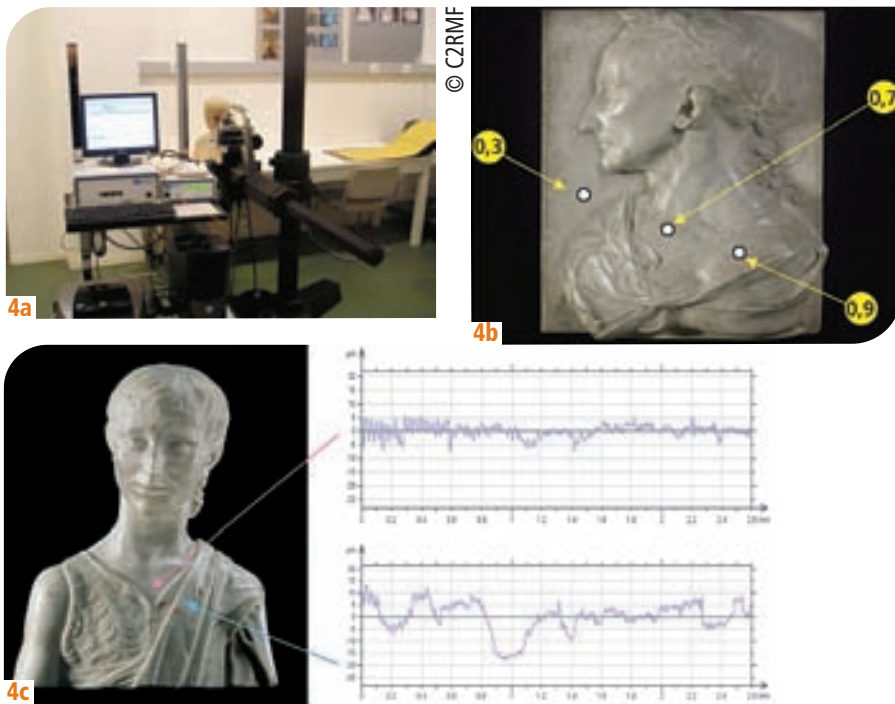


Figure 4. Analyse de la microrugosimétrie (a) de sculptures en marbre de Desiderio da Settignano : profils de microrugosimétrie de la surface du Saint-Jean Baptiste en deux points distincts (b) et valeurs de la rugosité (rms) en trois points du portrait de Jules César (c).

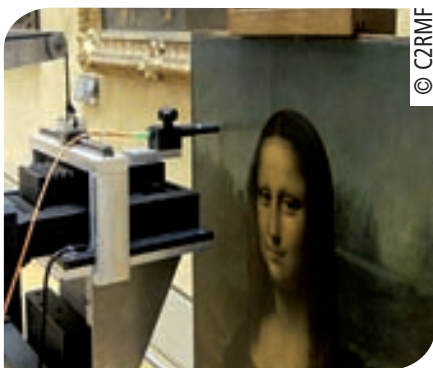


Figure 5. Mesure de l'épaisseur de vernis sur La Joconde.

leur existence, mais ce sont aussi des produits qui permettent de rendre compte des tendances, des conditions socio-technico-économiques.

L'optique a dans ce champ-là un rôle essentiel et primordial à jouer car ses méthodes permettent de répondre aux objectifs de la science au service de l'art :

- comprendre l'altération des matériaux (pour un tableau de la Renaissance italienne c'est le support en peuplier, l'évolution des couleurs, les modifications en surface de la matière picturale, le réseau des craquelures...);
- étudier le vieillissement sur le long

terme des matériaux qui constituent l'oeuvre en fonction de son environnement pour trouver les conditions optimales d'exposition et donc pérenniser l'exposition de l'oeuvre ;

- aller au-delà des informations sur les connaissances à l'époque de sa réalisation en analysant la façon dont l'oeuvre a enregistré des informations dans sa matière pour en déduire le savoir-faire du peintre. ■

Références

- [1] C. Fotakis, D. Anglos, V. Zafiropulos, S. Georgiou, V. Tornari, Lasers in the preservation of cultural heritage. Principles and applications, 2006, Ed. Taylor & Francis.
- [2] A. Chiron, M. Menu, La couleur des oeuvres d'art. Caractérisation spectrophotométrique de l'oeuvre d'art : objectifs, contraintes, perspectives, Techné 9-10, Paris 1999, 161-171.
- [3] J.-P. Mohen, M. Menu, B. Mottin, Au coeur de la Joconde, Paris 2006, éd. Française, Gallimard.
- [4] J. Cohen-Saban, L'optique accélère le contrôle d'états de surface, Mesures 719, Paris, 1999, 85-89.

Remerciements

Jean Louis Bellec, Alain Chiron, Guillaume Dupuis, Jean-Jacques Ezrati, Estelle Itié, Elsa Lambert, Bruno Mottin, Elisabeth Ravaud.



Brio, concentré d'énergie hautes performances pour l'industrie et le labo!

- Energies:
 - 120mJ @ 1064nm
 - 80mJ @ 532nm
 - 33mJ @ 355nm
- Stabilité tir-à-tir: 0.6%
- Générateurs d'harmoniques amovibles
- Alimentation compacte, légère et déconnectable
- Garantie complète, optiques incluses

Oscillateur multimode ou gaussien, atténuateur motorisé, version OEM et d'autres options sur demande.



www.quantel-laser.com