

Au Louvre, la radiologue qui révèle les mystères des chefs-d'œuvre

The Conversation, Décembre 10, 2025.

[Elisabeth Ravaud](#), Ingénieur de recherche, Ministère de la Culture

Vous l'ignorez peut-être, mais sous le Louvre, se cache un laboratoire un peu particulier, le Centre de recherche et de restauration des musées de France. Il a pour mission d'étudier, de documenter et d'aider à la restauration des œuvres des 1 200 musées de France. Benoît Tonson, chef de rubrique Science et Technologie, y a rencontré Elisabeth Ravaud. Elle est l'autrice d'un ouvrage de référence sur l'utilisation de la radiographie appliquée à l'étude des peintures « Radiography and Painting » et l'une des plus grandes spécialistes mondiales de cette discipline.

The Conversation : Vous êtes entrée au laboratoire du Louvre en 1993, pourtant à cette époque vous n'étiez ni historienne de l'art ni restauratrice...

Elisabeth Ravaud : À l'époque, je suis médecin, spécialisée en radiodiagnostic et imagerie médicale. J'ai fait mes études de médecine à Paris, à la Pitié-Salpêtrière, puis passé l'internat des hôpitaux de Paris. En parallèle de cette activité hospitalière, j'ai toujours cultivé un goût pour l'histoire de l'art. J'avais d'ailleurs entamé un cursus dans cette discipline, bénéficiant d'une équivalence en deuxième année grâce à ma thèse de doctorat : après sept ans de médecine, on y avait droit. Un jour, on m'a annoncé qu'il me fallait faire un stage. Et c'est comme ça, presque par hasard, que j'ai atterri ici.

Naturellement, je me suis intéressée à la radiographie, le seul point commun évident entre mes études médicales et l'examen des œuvres d'art. Dans le monde hospitalier, je pratiquais la radio conventionnelle, mais aussi l'échographie, l'écho-Doppler, la radiologie interventionnelle, le scanner, l'IRM... Tout un arsenal qui n'existe évidemment pas pour les œuvres. La radio, elle, constituait un vrai pont.

Quelles sont les grandes différences que vous avez pu remarquer entre l'hôpital et le laboratoire ?

E. R. : Très vite, un point m'a frappée : en lisant les rapports ou les articles produits à l'époque, j'ai eu l'impression que l'interprétation des radiographies d'œuvres se limitait aux signes les plus évidents. Par exemple, vous voyez trois personnages sur la radio, mais seulement deux sur le tableau, on en déduit qu'un personnage a été recouvert. Mais tout ce qui relevait d'une information plus subtile semblait laissé de côté. Or, je venais d'un milieu où l'image est examinée en long, en large et en travers. On n'aborde jamais l'examen d'un foie sans jeter un œil aux reins, aux poumons : l'interprétation est systématique, structurée. Cette différence méthodologique m'a immédiatement sauté aux yeux.

Autre surprise : dans les rapports, rien sur les supports, les essences de bois, la toile, les petits signes discrets... On se contentait des évidences. Et quand j'ai voulu me documenter, là où la médecine offre des bibliothèques entières, j'ai découvert qu'en imagerie d'œuvres d'art, il n'existait pratiquement aucun ouvrage. L'information était éparpillée : un peu ici, un peu là, un article isolé... rien de systématisé.

À la fin de mon stage, on m'a proposé de rester. Et si je n'avais pas perçu cette sous-exploitation de l'image, et cette absence d'outils méthodologiques, je ne suis pas sûre que j'aurais accepté : j'avais déjà un poste hospitalier. Mais je me suis dit que je pouvais peut-être apporter quelque chose, une forme d'expertise méthodologique, en faisant passer mes compétences de l'univers médical au monde du patrimoine. C'est ce sentiment qui m'a finalement convaincue.

Sur quels types d'œuvres avez-vous travaillé ?

E. R. : Avec mon parcours, tout portait à croire que je travaillerais sur des objets en volume, comme on travaille en imagerie 3D à l'hôpital, je travaillais sur des corps, donc ce qui aurait pu s'en rapprocher le plus étaient les statues. Mais non : on m'a mise sur... la peinture. Ça m'a surprise. Et en même temps, cela a eu un effet décisif : j'ai réalisé que les tableaux, que beaucoup considèrent comme des objets en deux dimensions (une hauteur et une largeur), possèdent en réalité une profondeur, essentielle à prendre en compte en radiographie. L'épaisseur de la couche picturale, les structures internes du support, l'accumulation des matériaux... tout cela forme une troisième dimension qui conditionne l'interprétation. Et c'est précisément cette profondeur, parfois réduite à quelques millimètres, qui rend l'analyse complexe. Chaque signe radiographique doit être rapporté à sa structure d'origine.



Radiographie de *la Joconde*. E. Ravaud/E. Lambert-C2RMF, Fourni par l'auteur

Finalement, ce retour à la radio conventionnelle, alors que je travaillais surtout en scanner et IRM, des techniques plus avancées, s'est révélé cohérent. Comme en médecine, la radiographie conventionnelle conserve son importance. Elle offre une première vision globale, oriente le diagnostic, et guide vers d'autres examens. Dans le domaine du patrimoine, elle joue ce même rôle fondamental.

Pouvez-vous nous rappeler le principe de la radiographie ?

E. R. : La radiographie est une technique d'imagerie fondée sur les rayons X, découverts en 1895 par Wilhelm Röntgen, physicien allemand travaillant à l'Université de Würzburg (Bavière). Elle consiste à produire, à partir d'un tube, un faisceau de rayons X qui traverse la matière en subissant une atténuation. Cette atténuation est décrite par la [loi de Beer-Lambert](#). Il s'agit d'une décroissance exponentielle dépendant de l'épaisseur traversée, plus elle est grande, plus l'atténuation est forte, cette décroissance dépend également de la nature du matériau. Par exemple, un métal a un coefficient d'atténuation très élevé : en quelques dizaines de microns, il arrête presque totalement les rayons X. À l'inverse, l'air laisse passer les rayons X très facilement.

Voici le principe : un faisceau homogène traverse successivement le support, la préparation et la couche picturale. Chaque photon est atténué différemment selon les matériaux rencontrés, transformant le faisceau initialement homogène en un faisceau hétérogène. Cette hétérogénéité est ensuite enregistrée par les émulsions radiographiques ou les capteurs numériques.

Historiquement, sur film, plus l'énergie résiduelle est importante, plus l'émulsion devient noire ; à l'inverse, un matériau très absorbant, comme un clou, laisse très peu d'énergie au film, qui reste blanc. L'air apparaît donc noir, le métal blanc. La radio permet ainsi d'observer simultanément le support, la préparation et la couche picturale.



Radiographie de *La Belle Ferronnière* de Léonard de Vinci. C2RMF, Elsa Lambert, Elisabeth Ravaud

J'ai illustré cela avec *la Belle Ferronnière*, de Léonard de Vinci. On y voit les stries du bois de noyer, caractéristiques du support ; les stries transversales correspondant aux coups de pinceau de la préparation, destinée à régulariser la surface du support ; puis la couche picturale, reconnaissable par la forme du portrait et fortement influencée par la nature des pigments. Les carnations, en particulier, apparaissent très marquées en radiographie car elles contiennent un pigment utilisé depuis l'Antiquité jusqu'à la fin du XIX^e ou le début XX^e siècle : le blanc de plomb. Le plomb arrête fortement les rayons X, ce qui rend ces zones très lisibles.

C'est d'ailleurs parce que les peintres anciens utilisaient du blanc de plomb que la radiographie est si informative sur leurs œuvres. À l'inverse, les peintures acryliques contemporaines sont composées d'éléments organiques : elles se laissent traverser, ce qui rend la radiographie beaucoup moins performante.

Vous disiez qu'au moment de votre arrivée au laboratoire, on n'exploitait pas le plein potentiel de la radiographie, c'est-à-dire ?

E. R. : Ce qui m'a surpris, c'est que personne ne s'était réellement intéressé au bois. Pourtant, l'essence du panneau est essentielle, car elle constitue un véritable témoin de provenance. En Italie, les peintres utilisent généralement le peuplier ou le noyer (en Lombardie, notamment) tandis que les panneaux flamands sont réalisés en chêne. Ainsi, si on vous présente un tableau prétendument italien et que la radiographie révèle un support en chêne, on peut avoir de sérieux doutes quant à l'authenticité. Ces indices concernant les supports (bois, toile, papier) ne sont pas aussi spectaculaires que les repentirs.

Dans les années 1920–1930, la radiographie était perçue comme une « lanterne magique » : on faisait une radio et l'on découvrait trois personnages au lieu de deux, ou un bras levé au lieu d'un bras baissé. Ce caractère spectaculaire a beaucoup impressionné, et il continue d'impressionner : chaque fois que je vois une radio riche en informations cachées, il y a toujours ce « Waouh ! » Mais paradoxalement, cette fascination pour l'effet spectaculaire a plutôt freiné l'intérêt pour des signes plus modestes.

Par exemple, je peux identifier qu'un panneau a été confectionné à partir de noyer. Je peux aussi déterminer le type de préparation utilisé pour préparer les panneaux avant de les peindre : à l'époque de Léonard de Vinci, par exemple, on utilisait surtout des préparations à base de calcium alors que Léonard, lui, utilisait des préparations au blanc de plomb. Ce sont ce type de signes, plus discrets, sur lesquels j'ai passé du temps.

L'examen lui-même est simple à réaliser : l'équipement nécessaire est accessible, et on pourrait même faire une radiographie en ville, chez un radiologue. Mais ce que j'ai surtout transféré de la médecine vers le patrimoine, c'est une méthodologie, une manière d'aborder l'image de façon systématique. Les techniques, elles, sont différentes. J'ai dû réapprendre l'anatomie du tableau : ses couches, comment il est fabriqué, avec quels pigments, quelles compositions. Et ensuite, comme en médecine, voir des cas, accumuler de l'expérience. Cela a été une aventure passionnante.

Au-delà de la radiographie, utilisez-vous d'autres techniques d'imagerie ?

E. R. : La radiographie ne se suffit pas à elle-même. On la croise avec de nombreuses autres techniques d'imagerie, que j'ai dû apprendre en arrivant ici, car elles diffèrent totalement de celles du milieu médical. On ne fait pas d'IRM ni de scanner, mais on utilise des infrarouges qui permettent de pénétrer la couche picturale et de révéler le dessin préparatoire. L'ultraviolet, lui,

renseigne surtout sur les matériaux en surface, comme le vernis, ou sur les retouches qui apparaissent comme des taches noires sur la fluorescence du vernis ancien.

La micro-fluorescence X consiste à exciter la matière picturale avec un rayonnement X faible. La matière réémet alors un rayonnement qui est enregistré sous forme de spectre, révélant les éléments présents : calcium, plomb, fer, cuivre, étain, strontium, argent, or, etc. Chaque point fournit la composition de tous les éléments présents. Depuis les années 2010, grâce à l'informatique, on peut faire ces mesures en déplacement continu, générant une « image cube », c'est-à-dire une cartographie complète du tableau où, en chaque point, on peut lire le spectre et isoler la présence d'un élément particulier, par exemple le mercure du vermillon.

Cette technique permet de cartographier différents pigments, comme le plomb, le cuivre ou l'étain, de manière très précise sur la couche picturale.



Infrarouge



Rayons X



Ultraviolet



Lumière naturelle

La Belle Ferronnière de Léonard de Vinci éclairée avec différentes lumières. 2CRMF, Elsa Lambert, Elisabeth Ravaut, Thomas Clot, Laval, Calligaro

L'usage combiné de ces techniques a profondément amélioré l'étude fine des couches picturales, permettant d'exploiter au maximum les informations disponibles, tout en gardant la radiographie pour ses informations complémentaires.

Et toutes ces techniques, vous les avez appliquées pour étudier des tableaux de Léonard de Vinci ?

E. R. : Il faut savoir que les collections françaises possèdent cinq œuvres de Léonard de Vinci sur une quinzaine existantes dans le monde. Avoir accès à ce corpus a été une occasion exceptionnelle pour comparer sa manière de travailler au fil du temps. En radiographie, je le rappelle, l'opacité de l'image est proportionnelle à la quantité de matière présente : beaucoup de matière rend l'image opaque, peu de matière la rend transparente.

En comparant *la Belle Ferronnière*, *la Joconde* et *Saint Jean-Baptiste*, on observe une transparence croissante dans les radios : au fil du temps, Léonard utilise la préparation comme réflecteur de lumière, plaçant la matière avec une économie croissante mais précise pour créer des modulations subtiles. Cette information sur la quantité de matière est spécifique à la radio.

Concernant les liants (les matières qui servent à donner de la cohésion et une tenue dans le temps au dépôt de pigments sur un support), il faut savoir que jusqu'au XV^e siècle, la peinture se faisait principalement à la tempera à l'œuf (on se servait de jaune d'œuf en guise de liant), liant rapide à sécher, qui obligeait à poser des coups de pinceau courts et qui produisait des couleurs opaques.

L'apparition de la peinture à l'huile a permis de poser des touches plus longues, de moduler la couleur et de créer des transparences impossibles avec la tempera. Elle est documentée dès le XIII^e siècle dans le nord de l'Europe, car dans ces régions la tempera avait tendance à moisir à cause de l'humidité.

En Italie, où le climat était plus clément, l'huile s'est imposée plus tardivement, offrant aux artistes de nouvelles possibilités expressives. Léonard de Vinci, autour de 1472-1473, figure parmi les premiers peintres florentins à utiliser l'huile, marquant ainsi un tournant dans la peinture italienne et la manière de travailler les couches et les effets de lumière.

À l'époque de Léonard, les peintres ne maîtrisaient pas encore très bien le liant et les siccatifs (substances qui jouent un rôle de catalyseur en accélérant le séchage). Ils risquaient soit d'en mettre trop, soit pas assez, et le séchage pouvait devenir problématique : trop rapide, cela provoquait des craquelures prématurées et trop lent, il fallait attendre longtemps avant de poser la couche suivante.

Les écrits de Léonard témoignent de cette inventivité constante : ses recettes de peinture montrent un véritable inventaire de techniques et d'astuces, qu'il mélangeait à des notes sur d'autres domaines. En consultant ses manuscrits pour le travail sur Léonard que nous avons effectué en 2019, on découvre à quel point ces documents sont dispersés : certaines pages contiennent beaucoup d'informations sur la peinture, d'autres seulement trois lignes sur une recette, mêlées à des calculs mathématiques, des études d'hydraulique ou des croquis divers.

Sur une même feuille, il pouvait noter une ébauche pour une *Vierge à l'Enfant*, un calcul algébrique, un projet hydraulique, et bien d'autres idées, ce qui donne l'impression qu'il avait cent idées à la minute qu'il couchait toutes en vrac.

Grâce à toutes ces lectures, vous êtes capable de reproduire la peinture utilisée par Léonard ?

E. R. : Je me suis particulièrement intéressée à un aspect très spécifique des peintures de Léonard, les grains de verre. On savait déjà que certains peintres, notamment au XVI^e siècle, en ajoutaient dans leurs peintures, mais les publications existantes se contentaient de constater leur présence sans vraiment l'expliquer.

Cela m'a amené à me poser la question : à quoi servaient réellement ces grains de verre ? Pour y répondre, j'ai monté un projet de recherche visant à comprendre leur rôle, en testant trois hypothèses principales. La première était que les grains de verre pouvaient modifier la rhéologie de la peinture, c'est-à-dire la manière dont elle se comporte sous le pinceau. La deuxième supposait qu'ils favorisaient le séchage, ce qui était une problématique importante avec le nouveau liant à l'huile utilisé à l'époque. La troisième portait sur la transparence, car le verre est un matériau naturellement transparent et pourrait influencer l'effet visuel.

Les résultats ont montré que les grains de verre n'altèrent pas la texture de la peinture, ce qui est un avantage. Le peintre peut les incorporer sans modifier son geste ou son « écriture ». En revanche, ils favorisent un séchage doux, moins rapide et moins problématique que celui produit par d'autres siccatifs. Sur le plan de la transparence, les analyses optiques ont confirmé que l'ajout de verre fonctionne comme l'ajout d'huile, mais sans entraîner les complications de séchage : l'indice de réfraction du verre et de l'huile étant similaire, la peinture gagne en transparence tout en restant stable. Étant donné l'intérêt constant de Léonard pour la lumière et les effets optiques, je suis convaincue que cette transparence jouait un rôle central et constituait un argument important dans ses choix techniques.

Ce que j'ai appris en travaillant ici

J'ai beaucoup appris sur le monde depuis que j'ai commencé à travailler chez The Conversation il y a deux ans et demi. Je finis souvent par enregistrer l'article pour le lire plus tard, non pas parce que c'est mon travail, mais parce qu'il semble incroyablement intéressant et souvent très utile. Je suis très fière de travailler pour une entreprise où j'ai le sentiment que notre travail, et mon travail, ont vraiment de l'importance pour la société et que nous apportons une contribution positive. Nos rédacteurs travaillent très dur pour vous présenter les recherches, les analyses et les points de vue d'experts à la pointe de leur domaine, des experts qui ont souvent consacré toute leur carrière à étudier les sujets sur lesquels ils écrivent. Je suis ravi que vous lisiez The Conversation et j'espère sincèrement que vous ferez aujourd'hui un don, quel qu'en soit le montant. Les donateurs comme vous sont essentiels au succès d'un organe de presse indépendant comme le nôtre. Nous ne sommes pas soutenus par de grands milliardaires. Mais je suis reconnaissant à tous nos lecteurs qui nous soutiennent !