

### Léonard de Vinci : science et art de la couleur



Figure 1 - *La Vierge à l'Enfant avec sainte Anne* (ou la *Sainte Anne*) de Léonard de Vinci\*, peinture à l'huile sur panneau de peuplier (168 x 130 cm), commencée en 1501 et restée inachevée à la mort de l'artiste en 1519.

Quels pigments et quels ingrédients Léonard de Vinci employait-il pour peindre ? Quelles techniques picturales mettait-il en œuvre ? Quel est en particulier le principe de la technique *sfumato* ? Pourquoi la réflectographie infrarouge permet-elle de révéler les dessins préparatoires ? Telles sont quelques-unes des questions qu'un scientifique féru d'art se pose en contemplant les chefs d'œuvre présentés au musée du Louvre dans le cadre de l'exposition exceptionnelle (du 24 octobre 2019 au 24 février 2020) commémorant les 500 ans de la mort de Léonard de Vinci [1].

Cette exposition met en lumière le talent universel de cet homme d'exception, d'une curiosité insatiable. L'observation méticuleuse du monde pour comprendre la nature dans toute sa complexité était son *modus vivendi*. Ses innombrables écrits et dessins traduisent en effet son intérêt pour les mathématiques, la géométrie, l'optique, la mécanique, l'hydrologie, l'astronomie, la botanique, l'anatomie, la zoologie, etc. Il convient cependant de rappeler que Léonard de Vinci mettait la peinture au-dessus de tout. Si la lumière et le mouvement

étaient au cœur de son observation du monde, c'est parce qu'il cherchait sans cesse à les capter dans ses toiles. Une dizaine de tableaux du maître sont présentés dans l'exposition au Louvre, dont *La Vierge à l'Enfant avec sainte Anne* (figure 1), le *Saint Jean-Baptiste*, *La Vierge aux rochers*, *La Vierge au fuseau* (figure 2), *La Belle Ferronnière* – *La Joconde* n'ayant toutefois pas quitté sa salle habituelle en raison de sa fragilité –, offrant une belle occasion de se pencher sur les merveilles et parfois les mystères que recèlent ces œuvres.

#### Les pigments de la palette de Léonard

Les peintres de la Renaissance connaissaient le principe des mélanges que nous appelons aujourd'hui mélanges soustractifs [2] : à partir des pigments des trois couleurs primaires – bleu, rouge et jaune – mélangés en proportions convenables, la possibilité d'obtenir un grand nombre de couleurs était bien connue. De plus, le cercle chromatique comportant ces couleurs primaires et leurs complémentaires, diamétralement opposées, fut établi dès le début de la Renaissance.

Les pigments des trois couleurs primaires faisaient bien sûr partie de la palette de Léonard, qui était enclin cependant à la compléter afin d'obtenir des couleurs plus saturées, pour le vert notamment.

Les pigments pour les artistes étaient disponibles chez les apothicaires [2-3]. Pour le bleu, l'azurite (carbonate de cuivre hydraté) était couramment employée tandis que le bleu outremer naturel (extrait du lapis-lazuli) l'était plus rarement en raison de son prix très élevé. Ce dernier permettait cependant d'obtenir des bleus plus profonds (figure 2). Pour le rouge, l'ocre rouge (oxyde ferrique, appelé hématite) côtoyait le vermillon (un sulfure de mercure dénommé cinabre) et le rouge kermès (fabriqué à partir d'une variété de cochenilles, *Kermes vermilio*). L'ocre jaune (oxyde de fer hydraté, appelé goëthite) était présent sur la palette, mais aussi le jaune de plomb et d'étain, obtenu par synthèse, beaucoup plus lumineux que le premier. Léonard affectionnait également des jaunes organiques (safran, curcuma) en raison de leur caractère transparent : il les utilisait en glacis à l'huile pour embellir les verts [1]. Précisément, le vert-de-gris (acétate basique de cuivre) [4] occupait une place de choix sur sa palette pour peindre les paysages. Ce pigment fragile avait malheureusement tendance à brunir.

Sur la palette figure également le blanc. Le blanc de plomb (carbonate de plomb), connu depuis l'Antiquité, était couramment utilisé par les peintres de la Renaissance, d'une part pour réaliser la couche de préparation sur laquelle seront appliqués les pigments, et d'autre part pour éclaircir les couleurs de ces derniers. La présence du blanc de plomb est aisément mise en évidence par radiographie aux rayons X en raison de la forte absorption de ces rayons par le plomb. Une image uniformément claire traduit un parfait état de conservation, tandis que des taches noires révèlent l'absence de ce pigment blanc due à des altérations (accidents ou décollements au cours du temps). C'est ce qui a permis de constater la bonne

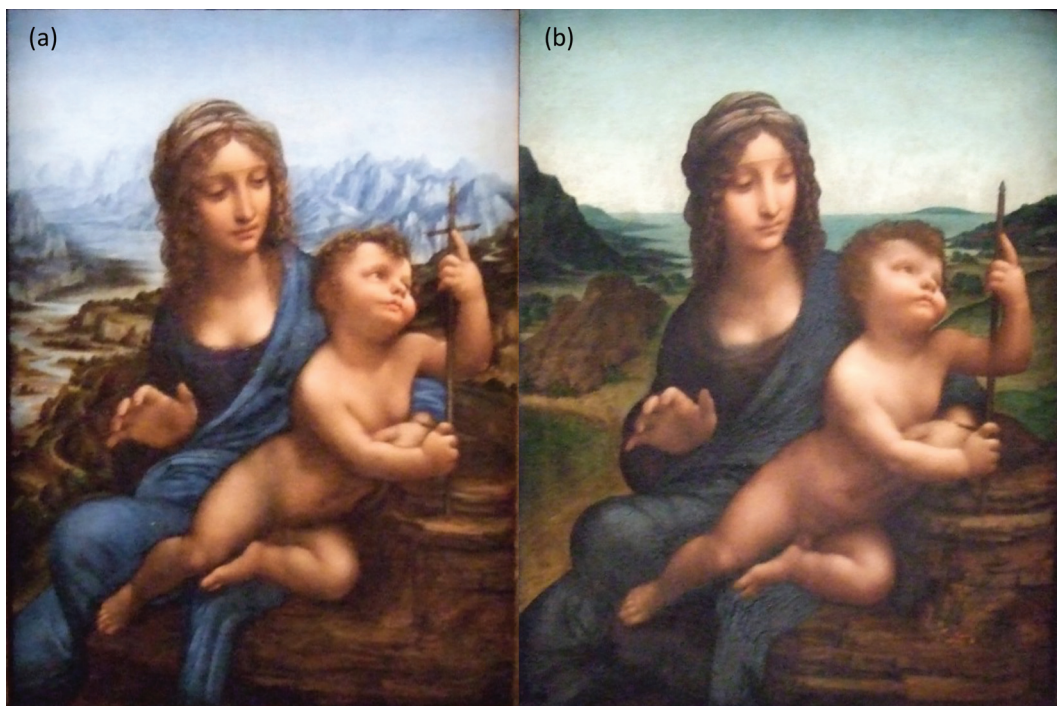


Figure 2 - Les deux versions de *La Vierge au fuseau* exposées au Louvre dans le cadre de l'exposition *Léonard de Vinci\** : (a) *La Vierge à l'Enfant*, dite *Vierge au dévidoir*, ou *Madone Lansdowne* (collection privée) ; (b) *La Vierge à l'Enfant*, dite *Vierge au dévidoir*, ou *Madone Buccleuch* (conservée en Écosse). Selon les experts, l'outremer du lapis-lazuli est présent dans le premier tableau mais absent dans le second dont les bleus, moins profonds, ont été probablement réalisés avec de l'azurite.

préservation de *La Joconde*, et au contraire les nombreuses altérations subies par la *Sainte Anne* [5].

Enfin, le noir était du noir de carbone, obtenu par calcination de bois ou d'os. Pour le brun, Léonard cite une terre verte brûlée destinée à peindre les ombres des carnations, mais aucune preuve n'a été établie quant à l'utilisation de la terre d'ombre.

Déterminer la nature des pigments d'un tableau de manière non invasive est possible par spectrométrie de fluorescence X [6] ou par analyse élémentaire à l'aide d'un accélérateur de particules – comme AGLAE [7] dont dispose le Centre de recherche et de restauration des musées de France (C2RMF) au Louvre.

### Les dessins préparatoires révélés par réflectographie infrarouge

L'exposition Léonard de Vinci fait la part belle à des images de tableaux obtenues par réflectographie infrarouge. De quoi s'agit-il ?

Rappelons tout d'abord que pour esquisser les divers éléments d'un tableau sur la couche blanche de préparation, avant application de la peinture, les peintres de la Renaissance employaient des composés noirs : noir de carbone (fusain) et oxyde de manganèse. Ces composés absorbent fortement les rayons infrarouges (dans le domaine de longueurs d'onde de 1 à 2 micromètres environ), alors que les pigments de la couche picturale absorbent en général peu ces rayons (sauf évidemment les pigments noirs qui pourraient s'y trouver). En conséquence, les rayons infrarouges sont peu absorbés par la couche picturale qui les réfléchit partiellement, et parviennent donc à la couche de préparation où ils sont sélectivement absorbés par les pigments noirs du dessin préparatoire. La réflectographie infrarouge – qui, comme son nom l'indique, mesure la réflectance dans l'infrarouge en divers points d'un tableau – révèle donc ce dessin et permet de déceler des



Figure 3 - Détail de *L'Adoration des Mages* (vers 1481) obtenu par réflectographie infrarouge révélant le dessin préparatoire\*. Léonard a démultiplié les attitudes possibles des personnages dans un groupe d'adorateurs (à droite de l'image).

modifications qualifiées de « repentirs » [8]. À titre d'exemple, les hésitations de l'artiste apparaissent nettement dans *L'Adoration des Mages* (figure 3), tableau inachevé, tandis que dans ses premiers tableaux, le tracé est précis et les différences entre le dessin préparatoire et l'exécution finale sont minimales.

### L'application des pigments sur le support

Léonard de Vinci peignait uniquement sur des panneaux en bois (noyer, peuplier...) et réservait la toile aux études préparatoires de draperies. À la fin du XV<sup>e</sup> siècle, les panneaux étaient préalablement recouverts d'une couche d'impression au gesso (sulfate de calcium), mais dès ses débuts, Léonard y ajouta une fine impression au blanc de plomb. Par la suite, il supprimera le gesso.



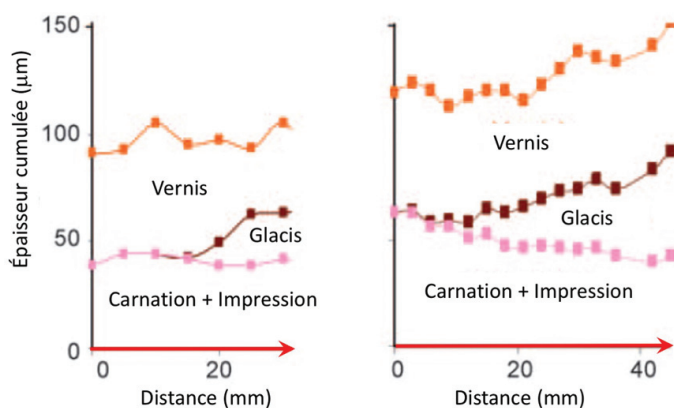


Figure 4 - Détails de la *Sainte Anne* (voir figure 1) : les visages de la Vierge et de l'enfant ont été analysés par spectrométrie de fluorescence X en différents points le long des flèches rouges. Cette technique révèle les couches de glacis entre le vernis et la couche de préparation et de carnation. Adaptation d'une partie de la figure 2 de [10], avec l'aimable autorisation de P. Walter.

Le premier essai conservé d'une peinture attribuée à Léonard de Vinci est probablement *L'Annonciation* (vers 1470-1474). Il s'agit d'une peinture à l'huile sur bois (peuplier). Les peintres flamands avaient amélioré cette technique en rendant le séchage de l'huile plus rapide [9], et les peintres florentins commençaient à l'employer après avoir privilégié jusqu'alors la détrempe (une peinture à base d'œuf, dénommée également *a tempera*), dont le séchage rapide n'autorisait pas les repentirs.

Dans *La Madone à l'œillet* (vers 1474-1476), l'analyse de prélèvements a montré que Léonard a employé conjointement la détrempe et la peinture à l'huile [1]. C'est ce qui lui a permis de dépeindre la subtilité des effets de la lumière pénétrant dans la pièce. Par la suite, il semble qu'il ait employé exclusivement la peinture à l'huile.

Dans la composition d'une peinture à l'huile, le médium (c'est-à-dire le composant qui apporte consistance et solidité après séchage) est essentiel : il contient non seulement un diluant (une essence volatile comme l'essence de térébenthine) pour ajuster la consistance de la pâte en vue de l'application sur le support, mais aussi des résines apportant de la solidité à la couche colorée et lui conférant des propriétés optiques particulières. Léonard préparait lui-même un certain nombre de ces substances naturelles comme en témoignent ses dessins montrant des instruments (alambics, cornues) lui ayant permis d'extraire des substances naturelles par distillation ou par décoction [5]. On ne dispose que de peu d'informations sur les formulations employées par Léonard, qui voulait sans doute s'en garder l'exclusivité. Ses écrits mentionnent néanmoins l'utilisation d'huile de lin ou d'huile de noix (sans les distinguer par leur degré de siccativité), mélangée à de la térébenthine (résine) et à de l'essence de térébenthine (obtenue par distillation de cette résine), ce qui donne un vernis gras [1].

L'application de la peinture sur un support requiert évidemment un pinceau. Il est remarquable que les traces de pinceau soient souvent invisibles sur les tableaux de Léonard. On

pense qu'il se servait de ses doigts pour les estomper. Des empreintes digitales ont d'ailleurs été décelées sur certaines œuvres, notamment sur le *Saint Jérôme* du Vatican.

## La technique *sfumato* décryptée

Contrairement à la plupart de ses contemporains qui soulignent avec précision les contours des personnages ou des objets qu'ils peignent, Léonard estompe les contours et adoucit les transitions entre l'ombre et la lumière. L'effet vaporeux ainsi obtenu évoque une fumée, d'où le nom de *sfumato* donné à ce procédé qui repose sur la technique des glacis inventée par les peintres flamands : elle consiste à déposer successivement de fines couches d'un même pigment, dispersé en faible quantité dans un liant, sur un fond clair. L'effet de cette superposition est une diminution de la clarté de la couleur tandis que la saturation de celle-ci augmente bien davantage que lors d'un simple mélange du pigment considéré avec un pigment noir. En outre, la réflexion diffuse de la lumière sur le fond clair contribue à donner l'impression que les couleurs émanent des profondeurs de la couche picturale. Les historiens d'art pensent qu'un peintre italien, Antonello de Messine, avait eu connaissance de la technique des glacis lors d'un voyage dans le nord de l'Europe, et à son retour en Italie, il l'aurait diffusée, notamment auprès de Léonard de Vinci. Comment prouver la présence de glacis dans les tableaux de Léonard ? Laurence de Viguier, Philippe Walter et leurs collègues ont analysé *La Joconde*, le *Saint Jean-Baptiste* et la *Sainte Anne* par spectrométrie de fluorescence X [6, 10]. Le long d'une ligne du visage allant d'une zone claire vers une zone plus sombre, cette technique révèle la superposition de couches très fines de peintures de plus en plus nombreuses (figure 4). L'analyse des spectres de fluorescence X permet de déterminer la nature et la concentration en pigments ainsi que l'épaisseur des différentes couches qui est souvent de l'ordre de 1 à 2 micromètres. L'analyse révèle en outre que le rose des visages résulte d'un mélange de blanc de plomb, d'ocre et de vermillon.

La technique du glacis n'a pas été systématiquement employée par Léonard de Vinci. Par exemple, pour peindre *La Belle Ferronnière* (1493-1494), l'artiste a utilisé une peinture noire opaque, conférant un aspect différent aux ombres.

## Comment retrouver les couleurs originelles

L'apparence terne et ambrée de nombreux tableaux s'explique par le vieillissement du vernis. Les restaurateurs savent amincir avec d'innombrables précautions la couche de vernis ancien sans toutefois l'éliminer complètement car la règle d'or à respecter est de ne jamais toucher aux couches de pigments. Puis un nouveau vernis de protection est appliqué. *La Vierge au fuseau* (figure 2a) est un bel exemple de restauration qui rend aux couleurs tout leur éclat.

Lorsqu'un dévernissage n'est pas envisageable pour diverses raisons, il est possible d'alléger virtuellement le vernis grâce à une analyse du tableau par une caméra multispectrale. Cette dernière enregistre les spectres de réflectance en de nombreux points de la toile [11]. Par comparaison à des spectres de référence, il est possible d'ôter numériquement le vernis. C'est le procédé que Mady Elias et Pascal Cotte ont employé pour retrouver les « vraies » couleurs de *La Joconde* (figure 5) [12]. Comme nous l'avons mentionné, ce tableau ne fait pas partie de l'exposition au Louvre. L'image par réflectographie

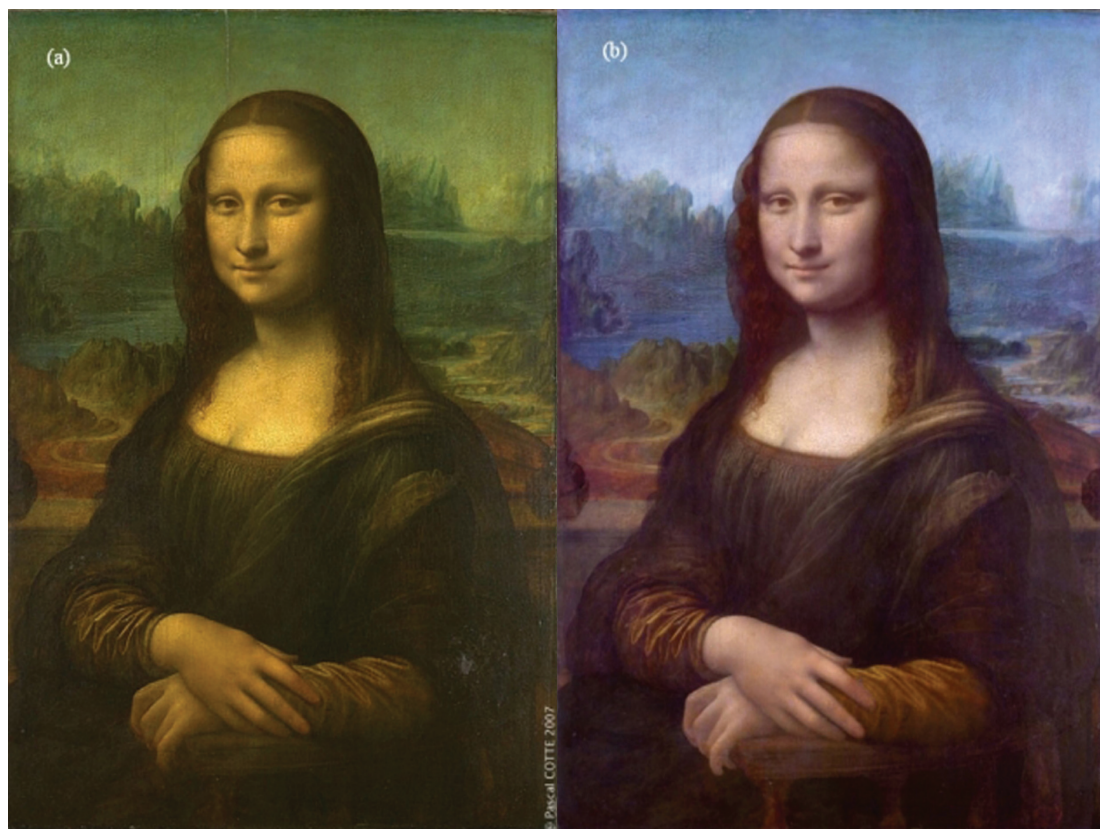


Figure 5 - *La Joconde* : (a) image du tableau actuel obtenue par la caméra multispectrale ; (b) image après dévernissage virtuel grâce à l'analyse des cent millions de spectres de réflectance enregistrés par la caméra. Reproduction (avec permission) d'une partie de la figure 1 de [12a]. © The Optical Society.

infrarouge est néanmoins présentée, mais l'image obtenue par dévernissage virtuel n'est cependant pas exposée.

### En quête de perfection jusqu'à la fin

Léonard de Vinci cherchait sans cesse à améliorer les techniques picturales en exploitant les effets optiques. Grâce à la transparence des fines couches de glacis, il mettait à profit la réflexion de la lumière par la couche préparatoire (qu'il colorait parfois). Cette recherche de la transparence le conduira à ajouter du verre broyé en quantité de plus en plus importante au fil des années. Des grains de verre sodique incolore contenant un peu de manganèse ont été identifiés dans la *Sainte Anne* et surtout dans le *Saint Jean-Baptiste* [1].

Léonard retravaillait ainsi continuellement ses tableaux, dont le nombre se limite à moins d'une vingtaine, dont certains sont restés inachevés. Il poursuivait inlassablement sa quête de la perfection, comme le prouvent les trois tableaux qu'il conserva et retravailla jusqu'à sa mort : *La Joconde*, la *Sainte Anne* et le *Saint Jean-Baptiste*.

Mettre la science au service de l'expression artistique, tel fut l'objectif de Léonard de Vinci durant toute sa vie. Il aura magnifiquement montré que « *la couleur est le plus beau trait d'union entre la science et l'art* » [3].

Cet article a pour origine un billet du blog de l'auteur, « Questions de couleurs », hébergé par le site *Scilogs de la revue Pour la Science* ([www.scilogs.fr/questions-de-couleurs](http://www.scilogs.fr/questions-de-couleurs)).

\* Photographies prises par l'auteur au Louvre en visitant l'exposition Léonard de Vinci.

[1] Catalogue de l'exposition Léonard de Vinci au musée du Louvre, sous la direction de Vincent Delieuvin et Louis Frank, Coédition musée du Louvre Éditions/Hazan, 2019.

[2] Valeur B., *La couleur dans tous ses éclats*, Belin, 2011.

[3] Valeur B., La chimie crée sa couleur... sur la palette du peintre, in *La chimie et l'art. Le génie au service de l'homme*, Dinh-Audouin M.-T., Jacquesy R.A., Olivier D., Rigny P. (coord.), EDP Sciences/Fondation de la Maison de la Chimie, 2010, p. 129-167.

[4] À ne pas confondre avec le carbonate hydraté de cuivre qui se forme sur le cuivre en milieu humide, également dénommé vert-de-gris.

[5] Walter P., Cardinali F., *L'art-chimie. Enquête dans le laboratoire des artistes*, Éditions Michel de Maule, 2013, p. 97-115.

[6] La spectroscopie de fluorescence X consiste à collecter les rayons X émis par la matière consécutivement à son irradiation par des rayons X. Le spectre de fluorescence X est caractéristique du matériau irradié.

[7] AGLAE : Accélérateur Grand Louvre d'Analyses Élémentaires (<https://c2rmf.fr/analyser/un-laboratoire-de-haute-technologie-pour-les-collections-des-musees/aglae>).

[8] Beck L., Lumière et art, ou comment (perce)voir l'invisible, *Reflets de la Physique*, 2016, 47-48, p. 100.

[9] Il ne s'agit pas d'un séchage par évaporation, mais de la formation d'un film souple par réticulation en présence de dioxygène. C'est l'huile de lin que les peintres flamands préféraient car c'est la plus siccativante des huiles. Ils augmentaient sa siccativité par cuisson pendant plusieurs heures et par addition de blanc de plomb ou de litharge (oxyde de plomb).

[10] de Viguier L., Walter P., Laval E., Mottin B., Solé V.A., Revealing the *sfumato* technique of Leonardo da Vinci by X-ray fluorescence spectroscopy, *Angew. Chem. Int. Ed.*, 2010, 49, p. 6125.

[11] La caméra multispectrale possède un capteur CCD de 12 000 pixels par ligne permettant d'enregistrer jusqu'à 240 millions de spectres de réflectance dans treize plages de longueurs d'onde (dix dans le visible et trois dans l'infrarouge). Le dévernissage virtuel est effectué par comparaison avec des spectres de référence obtenus par l'analyse de nombreux pigments utilisés dans les peintures du XVI<sup>e</sup> siècle, recouverts ou non de vernis vieillis artificiellement.

[12] Elias M., Cotte P. : a) Multispectral camera and radiative transfer equation used to depict Leonardo's *sfumato* in *Mona Lisa*, *Appl. Opt.*, 2008, 47, p. 2146 ; b) L'imagerie spectrale détaille *La Joconde*, *Photoniques*, 2008, 37, p. 32.

**Bernard VALEUR,**

Professeur honoraire du Conservatoire national des arts et métiers.

\*[valeur.bernard@orange.fr](mailto:valeur.bernard@orange.fr)