



# L'imagerie pour l'analyse du patrimoine

## Description des techniques utilisées au groupe Imagerie du C2RMF

version du 09 octobre 2025

sous la direction de Clotilde Boust  
avec Elsa Lambert, Laurence Clivet, Anne Maigret, Philippe Salinson, Alexis  
Komenda, Charlotte Hochart, Nicolas Le Guern

<https://c2rmf.fr/>

### **Pour citer ce document:**

Clotilde Boust et al.. *Guide des techniques d'imagerie pour le patrimoine au C2RMF.*  
In Blog Hypothèse *Scientific imaging for cultural heritage / Images scientifiques pour  
le patrimoine.* <https://copa.hypotheses.org/2380>

## Table des matières

<b>Les méthodes en photographie.....</b>	<b>3</b>
<b>Photographie.....</b>	<b>3</b>
Méthode :reflection peinture.....	4
Méthode :reflection objets.....	4
Méthode :transmission.....	4
Méthode :rasante.....	4
<b>RTI.....</b>	<b>6</b>
<b>L'imagerie dans l'ultraviolet et l'infrarouge (360-1700 nm).....</b>	<b>8</b>
<b>Imagerie en réflexion dans l'Infrarouge IRR et IRFC.....</b>	<b>8</b>
méthode : IRFC.....	9
méthode : transmission.....	9
<b>Réflectographie infrarouge : RIR.....</b>	<b>12</b>
Autre méthode : RIR par transmission.....	13
<b>Imagerie en réflexion d'UV (UVR et UVFC).....</b>	<b>19</b>
méthode :uvfc.....	19
<b>Imagerie Multispectrale UV-IR.....</b>	<b>21</b>
<b>Hyperspectral.....</b>	<b>24</b>
<b>Les imageries de fluorescence.....</b>	<b>27</b>
<b>Image de fluorescence du rouge vers l'infrarouge - LIR.....</b>	<b>27</b>
<b>Imagerie de fluorescence dans le visible.....</b>	<b>30</b>
<b>Les méthodes en radiographie.....</b>	<b>34</b>
<b>Système de radiographie.....</b>	<b>34</b>
Méthode 2 : Radiographie par rayons Gamma.....	36
Méthode 3 : Emissiographie par rayon X.....	36
<b>Tomographie par rayons X.....</b>	<b>38</b>
<b>3D de surface.....</b>	<b>40</b>
Photogrammétrie.....	40
Lasergrammétrie.....	42
Scanner à projection de franges.....	45
Méthode : Mesure du relief d'un tableau sur bois.....	46
Microtopographie.....	49
<b>Imagerie de l'apparence.....</b>	<b>53</b>
<b>Spectromètre optique.....</b>	<b>53</b>
Brillancemètre.....	56
Méthode 1 : brillancemètre industriel.....	57
Méthode 2 : brillancemètre par imagerie.....	58

# Les méthodes en photographie

La photographie est très utile à la connaissance des objets du patrimoine. Cette technique utilise un appareil photographique classique et des éclairages standards de lumière visible. La photographie par réflexion enregistre la forme et la couleur des œuvres, servant de constat d'état en deux dimensions.

## Photographie

### Auteur de l'article

Clotilde Boust

### Titre et sous-titre (sigle et nom déployé)

La photographie

### Qu'est-ce qu'une technique ? - 350 caractères maximum\*

Une photographie d'objet du patrimoine enregistre son apparence couleur.

### Comment fonctionne cette technique ? et comment se déroule un examen ou une analyse avec cette technique ? - 600 caractères maximum

Une photographie enregistre la lumière visible réfléchie par les objets de la scène, sur une surface sensible. L'objet est éclairé avec une ou plusieurs lampes et l'appareil photographique enregistre la lumière venant de l'objet éclairé. En numérique, le fichier photographique numérique est développé sur le logiciel dédié et calibré en couleurs. La photographie numérique peut être vue sur écran ou imprimée.

### Si cette technique a plusieurs types d'analyse différents, ou si vous souhaitez développer votre première réponse

### Quel est le principe de la méthode 1 ? - 300 caractères maximum

#### Méthode :reflection peinture

Pour effectuer des photographies de peintures, deux lampes flashes diffuses sont positionnées à 45 degrés de part et d'autre de l'objet pour obtenir une lumière uniforme sur l'œuvre.

#### Quel est le principe de la méthode 2 ? - 300 caractères maximum

#### Méthode :reflection objets

Pour effectuer des photographies d'objets en volume, plusieurs lampes de différentes géométries sont positionnées autour de l'objet en fonction de sa forme. La lumière doit être uniforme mais également permettre d'apprécier le volume de l'objet.

#### Quel est le principe de la méthode 3 ? - 300 caractères maximum

#### Méthode :transmission

Utilisé sur les peintures pour révéler des couches picturales cachées non visibles en réflexion, la photographie par transmission est obtenue en positionnant les lampes à l'arrière du tableau.

#### Quel est le principe de la méthode 4 ? - 300 caractères maximum

#### Méthode :rasante

Pour enregistrer la forme de la surface d'une peinture ou d'une portion d'objet, la lampe à lumière dirigée est positionnée en rasant à 10° de la surface. En peinture, quatre images sont effectuées en modifiant l'angle de la lampe : rasant bas, haut, droite et gauche. Les reliefs de surface sont ainsi visibles avec les ombres portées des micro reliefs (craquelures, soulèvements...). Pour faciliter la lecture, l'image peut être vue en niveaux de gris.

#### Quand utiliser cette technique et/ ou quelles sont ses applications au C2RMF ? - 500 caractères maximum

La photographie est utilisée pour enregistrer l'apparence d'un objet, sa forme et sa couleur. Elle sert de constat d'état de l'apparence de l'œuvre.

La photographie rasante sert à enregistrer le relief de l'œuvre, la tension d'une toile ou la déformation d'un bois, les craquelures et soulèvements de la couche picturale, les reliefs de jonctions de métal, les traces d'outils.

La photographie par transmission sert à révéler des couches picturales non accessibles si cette question fait partie de la problématique de l'œuvre.

## **Lien(s) vers article(s) sur une ou des applications récentes**

Imagerie scientifique pour la conservation et la restauration du patrimoine, Clotilde Boust, Nicolas Mélard, Elsa Lambert, Laurence Clivet, Anne Maigret, page 6, LES PRÉALABLES À LA RESTAURATION, Actes des Journées d'étude de Nancy, 2016  
<https://c2rmf.fr/actualite/les-prealables-la-restauration>

## **Quels sont les avantages et les inconvénients de cette technique ? - 350**

caractères maximum\*

Les avantages sont un examen non invasif, une mise en œuvre rapide et un enregistrement des couleurs fiables. L'inconvénient est la nécessité de travailler en milieu clos sans lumières parasites.

## **Quelles sont les caractéristiques techniques ou le modèle utilisé de cette technique au C2RMF ? - 200 caractères maximum ex :**

Le C2RMF est équipé de plusieurs studios photographiques complets dotés d'appareils photographique moyens formats Hasselblads très haute définition HD6 et HD4.

## **Visuel.s ou illustration.s (facultatif) - un maximum de 3 visuels par instrument**



**Fig. 1.** Photographie visible (gauche) et rasante (droite) révélant le réseau de craquelures.  
*Portrait de Joséphine, Andréa Appiani, château de Malmaison (Inv. M.M.2003.2.1). Image C2RMF/Elsa Lambert.*

## RTI

Auteur de l'article  
Anne Maigret

Titre et sous-titre (sigle et nom déployé)

RTI Reflectance Transformation Imaging ou rasante multiangle

Qu'est-ce que la RTI?

Cette technique de photographie permet d'obtenir une image interactive pour pouvoir lire ou mettre en évidence la surface de l'objet en variant l'éclairage.

**Comment se déroule cette technique ? - 600 caractères maximum**

Il s'agit de placer l'appareil photo face à la surface plane, à 45°. L'appareil est fixe et la lumière se déplace. Une série d'images est prise en changeant l'angle d'incidence du flash, du zénithal à la rasante, en tournant autour de l'objet.

Le nombre d'images varie en fonction de la taille de l'objet, il est d' environ 48 images pour un objet de taille moyenne.

Ensuite les images sont montées à l'aide d'un logiciel dédié, libre de droit (RTI builder ou Relight) qui recalcule les images intermédiaires.

Le résultat final se regarde avec RTI viewer, la lumière peut être déplacée virtuellement autour de l'objet pour apprécier les aspérités de surface..

### **Si la RTI a plusieurs types d'analyse différents, ou si vous souhaitez développer votre première réponse**

#### **Quel est le principe de la méthode 1 ? - 300 caractères maximum**

Cette méthode peut se faire manuellement ou bien avec un dôme RTI automatisé (le C2RMF ne dispose pas de dôme)

### **Lien(s) vers article(s) sur une ou des applications récentes**

Si un article existe sur une application, un renvoi vers cette page est possible

<https://culturalheritageimaging.org/Technologies/RTI/>

<https://vcg.isti.cnr.it/vcgtools/relight/>

### **Quand utiliser la RTI ou quelles sont ses applications au C2RMF ? - 500 caractères maximum**

Cet examen est souvent demandé afin de faciliter la lecture d'une surface pour trouver des traces d'outil, mettre en évidence une écriture difficile à lire, faire ressortir des reliefs effacés.

### **Quels sont les avantages et les inconvénients de la RTI ? - 350 caractères maximum\***

Les principaux avantages :

- Met en exergue la surface
- Mise en oeuvre simple et rapide de l'examen et des résultats
- Examen non invasif
- Travail automatisé avec un dôme pour des séries d'objets

Les principaux inconvénients :

- Surface plane
- Objets de petite taille

**Quelles sont les caractéristiques techniques des équipements de la RTI utilisés au C2RMF ? - 200 caractères maximum**

- Nikon D610 - D800
- Flash Nikon
- Sphère brillante de référence
- Logiciel de reconstruction RTI builder et visualisation RTI viewer

**Visuel.s ou illustration.s (facultatif) - un maximum de 3 visuels par instrument**

## **L'imagerie dans l'ultraviolet et l'infrarouge (360-1700 nm)**

### **Imagerie en réflexion dans l'Infrarouge IRR et IRFC**

**Nicolas Le Guern**

IRR : Imagerie sous infrarouge en réflexion

IRT : Imagerie sous infrarouge en transmission

IRFC : Imagerie infrarouge fausse couleur

**Qu'est-ce qu'une image en réflexion d'IR?**

Une image en réflexion dans le proche infrarouge (IRR) est un enregistrement des rayons IR réfléchis par les matériaux de l'œuvre photographiée. Elle est en niveaux de gris et sert à comprendre les matériaux de l'œuvre,

**Comment réaliser une image en réflexion IR, puis une image IRFC ? 600 caractères maximum**

La prise de vue de l'œuvre est réalisée au flash électronique, dont le spectre émet dans le visible et dans l'IR jusqu'à 1000 nm. Les flashes sont positionnés à 45° de part et d'autre des tableaux. On utilise un appareil numérique défiltré, c'est-à-dire sensible jusqu'aux infrarouges. L'usage d'un filtre devant l'objectif permet de n'enregistrer que le spectre IR réfléchi par l'œuvre.

**Si cette technique a plusieurs types d'analyse différents, ou si vous souhaitez développer votre première réponse**

méthode : IRFC

L' image IRR, fusionnée en post-production avec l'image obtenue dans le visible, permet d'obtenir une image en fausses couleurs IRFC. L'image infrarouge est placée sur la couche rouge de l'image visible et les couches rouges et vertes sont décalées. Cette image en fausses couleurs facilite la localisation et l'identification des pigments et des matériaux de l'œuvre, les changements de composition et les restaurations.

méthode : transmission

L'image sous rayonnements infrarouges peut être réalisée en transmission lorsque une stratigraphie complexe de l'œuvre le nécessite. Les lampes sont placées à l'arrière de l'œuvre et les infrarouges transmis sont enregistrés.

**Quel est le principe de l'imagerie en réflexion IR ? - 300 caractères maximum**

Les rayons infrarouges envoyés par la lampe sur l'œuvre sont réfléchis ou absorbés en fonction de la nature des matériaux et pigments, c'est une caractéristique intrinsèque des matériaux. L'appareil photographique enregistre cette réponse aux infrarouges.

Les infrarouges ont un fort pouvoir pénétrant et atteignent jusqu'au support de l'œuvre, traversant les couches de pigments. On peut alors détecter sur le support la

présence éventuelle d'un dessin sous-jacent ou de transformations apportées par l'artiste en cours d'élaboration.

### **Quand utiliser des images en réflexion IR, et des images composites IRFC au C2RMF ? - 500 caractères maximum**

Les images en réflexion IR et composites IRFC sont utiles à la compréhension des peintures de chevalet, des arts graphiques et des objets polychromes.

Les images IRR permettent de déceler les dessins sous-jacents car les IR traversent la couche picturale et sont absorbés par le carbone des crayons ou encres.

Les images IRR et IRFC permettent dans certain cas d'identifier les matériaux en comparant les résultats à des bases de données de pigments purs et connus sous IRR et IRFC. L'image en UVFC si disponible permet de préciser les identifications possibles.

Les images IRFC permettent de repérer les changements de matériaux comme les pigments issus de restaurations passées (même couleur en visible mais couleurs différentes en infrarouge fausses couleurs).

### **Lien(s) vers article(s) sur une ou des applications récentes**

**A. Cosentino “[Infrared Technical Photography for Art Examination](#)”  
e-Preservation Science, 13, 1-6, 2016.**

Lambert E., Bellec J-L., , Itié E., Boust C., “Images fausses couleurs,” in *Scientific imaging for cultural heritage / Images scientifiques pour le patrimoine*, ISSN 2609-780X, 06/11/2018, <https://copa.hypotheses.org/?p=1204>.

### **Quels sont les avantages et les inconvénients de l'IRFC ? - 350 caractères maximum\***

Principaux avantages :

- Examen non invasif et rapide.
- Visualise la répartition des pigments identiques sur une toile.
- Détecte les zones restaurées (couleurs identiques dans le visible mais qui diffèrent en IRFC).
- Combiné avec les résultats obtenus en UVFC, l'IRFC augmente la probabilité d'identifier un pigment.

Principaux inconvénients :

- Appareil numérique défiltré nécessaire.
- Nécessite de travailler en milieu clos sans lumière.
  - Les rayonnements Infrarouges dégagent de la chaleur donc la distance et le temps doivent être maîtrisés
- Une photographie dans le visible est nécessaire pour fabriquer l'IRFC.
- Les bases de données de comparaison doivent être faites dans les mêmes conditions (filtre IR, appareil, lampe).
- L'identification par fausses couleurs fonctionne pour les pigments purs mais pas pour les mélanges.

**Quelles sont les caractéristiques techniques ou le modèle utilisé de cette technique au C2RMF ? - 200 caractères maximum**

- Appareil photo Hasselblad défiltré + filtre devant l'objectif ne laissant passer que les IR (780-980nm)
- Sources flashes électroniques, fournissant un spectre dans le visible et l'IR.

**Visuel.s ou illustration.s** (facultatif) - un maximum de 3 visuels par instrument

es si celles-ci n'appartiennent pas au C2RMF



**Fig. 2.** Image visible (gauche), en infrarouge fausse couleur (centre) et en ultraviolet fausse couleur (droite). *L'Automne, Portrait de Méry Laurent*, Édouard Manet, musée des Beaux-Arts de Nancy (Inv. 1071). Images C2RMF/Jean-Louis Bellec.

## Réflectographie infrarouge : RIR

### Auteur de l'article

Laurence Clivet

### Titre et sous-titre (sigle et nom déployé)

RIR - Réflectographie infrarouge

### Qu'est-ce que la RIR ? - 350 caractères maximum\*

Cette technique est utilisée pour la peinture et permet de capter les rayonnements du proche infrarouge avec une caméra spécifique. Elle met en évidence les dessins

sous-jacents et les changements de composition car les infrarouges pénètrent la couche picturale et sont absorbés par les composés au carbone présents dans les dessins préparatoires.

### **Comment fonctionne une RIR et comment se déroule un examen ? - 600 caractères maximum**

Dans la méthode par réflexion qui est la plus commune, les lampes halogènes qui émettent des infrarouges sont placées à 3 mètres de chaque côté de la caméra et orientées à 45° par rapport à l'œuvre. La lumière infrarouge est absorbée par les matériaux riches en carbone alors que les pigments de la peinture sont plus ou moins transparents aux infrarouges. On enregistre les radiations réfléchies par la peinture ainsi modulée par les matériaux.

Et pour produire une image de plus grande résolution, plusieurs acquisitions partielles sont faites sur un même tableau puis assemblées en post-production.

### **Si la RIR a plusieurs types d'analyse différents, ou si vous souhaitez développer votre première réponse**

#### **Quel est le principe de la méthode 1 ? - 300 caractères maximum**

Autre méthode : RIR par transmission

Il est possible d'enregistrer la lumière infrarouge traversant le tableau, en plaçant la lampe à l'arrière de celui-ci. Cela permet de mettre en évidence des dessins se trouvant sur plusieurs niveaux de supports présents entre la face et le revers de l'œuvre et non visibles en l'état.



Détail du C2RMF81801\_à gauche RIR par réflexion (SAP5960), à droite RIR par transmission(SAP5961).

### **Quand utiliser une RIR et/ ou quelles sont ses applications au C2RMF ? - 500 caractères maximum**

La RIR est une technique d'imagerie non invasive réalisée systématiquement sur toutes les peintures de chevalet. Elle permet de mieux comprendre le processus de création de l'artiste, la localisation des pigments et les éventuels changements de composition grâce à la mise en évidence des tracés à base de carbone. Elle est aussi parfois réalisée en cours de restauration lors de découvertes après enlèvements de repeints par les restaurateurs.

### **Lien(s) vers article(s) sur une ou des applications récentes**

LA VIERGE DU CHANCELIER ROLIN - étude d'œuvre

La Vierge à l'Enfant du chancelier Rolin de Jan VAN EYCK

<https://c2rmf.fr/actualite/la-vierge-du-chancelier-rolin-etude-doeuvre>

### **Quels sont les avantages et les inconvénients de la RIR ? - 350 caractères maximum\***

Principaux avantages:

- examen non invasif,
- résultats (tracés sous-jacents) visibles immédiatement,
- mise en place relativement simple et rapide
- repérage des changements de matériaux

Principaux inconvénients:

- le remontage des images en postproduction est assez long dans le cas de grands tableaux
- Les rayonnements Infrarouges dégagent de la chaleur donc la distance et le temps doivent être maîtrisés

**Quelles sont les caractéristiques techniques ou le modèle utilisé de caméra**

**RIR au C2RMF ? - 200 caractères maximum ex :**

Le C2RMF possède deux caméras de la société Opus Instruments : la caméra Osiris avec un capteur InGaAs de 16MP sensible aux infrarouges de 900 à 1700 nm et la caméra Apollo avec un capteur de 26MP.

**Visuel.s ou illustration.s (facultatif) - un maximum de 3 visuels par instrument**



Vierge et l'Enfant, panneau central du triptyque dit du Maître de Moulins.  
HEY Jean, dit LE MAITRE DE MOULINS (actif ca. 1475-1505).  
Vue d'ensemble du panneau central en réflectographie infrarouge. © C2RMF - Laurence Clivet  
Moulins, cathédrale Notre-Dame de l'Annonciation.



Portrait présumé de Madeleine de Bourgogne, dame de Laage, présentée par Sainte Madeleine.  
HEY Jean, dit LE MAITRE DE MOULINS (actif ca. 1475-1505).  
Vue d'ensemble en réflectographie infrarouge, © C2RMF - Nicolas Le Guern  
Paris, musée du Louvre, département des Peintures.



Cherchez d'abord votre Orphée  
 PICABIA Francis (1879-1953)  
 Alès, musée Pierre André Benoit  
 Vue d'ensemble en lumière réfléchie  
 © C2RMF - Laurence Clivet



Cherchez d'abord votre Orphée  
 PICABIA Francis (1879-1953)  
 Alès, musée Pierre André Benoit  
 Vue d'ensemble en réflectographie infrarouge  
 © C2RMF - Jean-Louis Bellec

# Imagerie en réflexion d'UV (UVR et UVFC)

Auteur de l'article

Philippe Salinson

Titre et sous-titre (sigle et nom déployé)

UVR → Imagerie par réflexion des Ultraviolets

UVFC → Imagerie par réflexion des Ultraviolets traité en fausses couleurs

Qu'est-ce qu'une image en UVR et UVFC?

L'imagerie sous UV permet d'enregistrer les UV réfléchis par la surface de l'œuvre. Chaque matériau ayant la propriété d'absorber ou de refléter les UV, on obtient ainsi une image en niveau de gris des réflexions en UV, caractéristique de certains matériaux.

Cette image, avec l'image de l'œuvre en lumière visible, permet de générer une image composite en fausses couleurs qui facilite la lecture et le repérage des matériaux, selon un processus reproductible.

**Comment se déroule cette technique ? - 600 caractères maximum**

L'œuvre est éclairée avec une lumière UV qui possède un pic d'émission à 365 nm +/- 10 nm. Un appareil photographique classique enregistre la lumière réfléchie par la surface de l'œuvre, dans la zone des UV (360-390 nm). L'utilisation de filtres devant l'objectif permet d'éviter les radiations infrarouges et visibles pour ne retenir que les UV. L'image numérique obtenue est en niveau de gris.

**Si l' UVR a plusieurs types d'analyse différents, ou si vous souhaitez développer votre première réponse**

**Quel est le principe de la méthode ? - 300 caractères maximum**

méthode :uvfc

Pour faciliter la lecture de la réponse des matériaux, l'image en réflexion sous UV - UVR est transformée en image en fausses couleurs - UVFC. C'est le résultat d'une fusion de l'image UV avec l'image obtenue dans le visible, lors d'un traitement logiciel où la couche bleue de la photographie est remplacée par l'image sous UV et les autres couches sont décalées.

L'image en UVFC est comparée à l'image obtenue dans le visible et à l'IRFC si disponible. On examine alors la variation des couleurs, par exemple un bleu qui devient rose en UVFC. Chaque pigment possédant sa signature couleur en UVFC, cette comparaison permet d'identifier le pigment ou un groupe de pigment possible

en se référant à une base de données. Cette base de données contient la variation des couleurs de la plupart des pigments connus.

### **Lien(s) vers article(s) sur une ou des applications récentes**

Si un article existe sur une application, un renvoi vers cette page est possible

L'obtention des fausses couleurs est expliqué ici :

Clotilde Boust et Elsa Lambert (6 novembre 2018). Images fausses couleurs.

*Scientific imaging for cultural heritage / Images scientifiques pour le patrimoine.*

Consulté le 8 novembre 2024 à l'adresse <https://doi.org/10.58079/n4l5>

Une base de données établie au C2RMF, est visible sur

<https://copa.hypotheses.org/?s=uvfc>

Clotilde Boust, Anne Wohlgemuth "DATABASE : Pigment image database under UV and IR radiations -part 2 raw materials," in *Scientific imaging for cultural heritage / Images scientifiques pour le patrimoine*, ISSN 2609-780X, 13/09/2017,

<https://copa.hypotheses.org/620>.

### **Quand utiliser un examen et/ ou quelles sont ses applications au C2RMF ? -**

500 caractères maximum

Cette technique d'imagerie est utilisée pour repérer des pigments, ceux d'origine et ceux issus de restaurations. Pour augmenter la probabilité d'identification de pigments obtenus par l'UVFC, il est souvent utile de croiser ses résultats avec ceux obtenus avec l'IRFC.

Il est alors possible de repérer les pigments semblables de la couche picturale et d'orienter vers une identification. Cette cartographie des matériaux permet également de choisir les zones où seront effectuées les autres analyses du laboratoire en évitant les zones de repeints.

### **Quels sont les avantages et les inconvénients de la l'UVFC ? - 350 caractères maximum\***

Les principaux avantages :

- Examen non invasif et rapide,
- Visualise la répartition des pigments et des matériaux identiques,
- Détecte les zones restaurées (couleurs identiques à l'œil qui diffèrent en UVFC);
- Permet d'identifier certains pigments combiné avec les résultats obtenus en IRFC

Les principaux inconvénients :

- Les capteurs numériques sont très peu sensibles aux UV, l'image est bruitée.
- La présence d'un vernis de surface fait écran au UV, ce qui altère la réponse.
- Nécessité de travailler en milieu clos sans aucune lumière.
- Réaliser une photographie en visible est nécessaire pour comparaison.
- Les bases de données de comparaison doivent être faites dans les mêmes conditions (filtre IR, appareil, lampe).
- L'identification des pigments ne fonctionne pas avec cette technique lorsqu'ils sont en mélange.

**Quelles sont les caractéristiques techniques des équipements de la L'UVR utilisés au C2RMF ? - 200 caractères maximum**

- Appareil photographique Hasselblad
- Sources lumineuses UV, avec un pic spectral à 365nm
- Filtres devant l'objectif ne laissant passer que les UV (360-390 nm)
- Logiciel de traitement d'image Photoshop pour les fausses couleurs

**Visuel.s ou illustration.s (facultatif) - un maximum de 3 visuels par instrument**



*C2RMF78199 après retrait du vernis: ill. de gauche, pdv dans le visible(SAP3845), illustration de droite en UVFC(Sap3848)*

# Imagerie Multispectrale UV-IR

**Clotilde Boust**

MSI Multispectral imaging

L'imagerie multispectrale enregistre la lumière reflétée par les objets en sélectionnant des bandes de longueurs d'ondes de 20 à 60 nm. Cette analyse permet d'isoler des réponses caractéristiques de matériaux et de tracer une courbe de réflectance.

## **Comment réaliser des images multispectrales 600 caractères maximum**

L'imagerie multispectrale peut se faire avec un appareil photographique et des filtres. Il enregistre la lumière reflétée par les objets à travers un filtre sélectionnant des bandes étroites de longueurs d'ondes de 20 à 60 nm ; à chaque filtre on obtient une image de la gamme de longueurs d'ondes sélectionnée. Il est possible d'enregistrer des ultraviolets aux infrarouges avec un appareil défiltré (360-1000 nm). Les images obtenues permettent ensuite de calculer la réflectance spectrale en chaque pixels.

## **Quel est le principe de l'MSI - 300 caractères maximum**

Les rayons lumineux envoyés par la lampe sur l'œuvre sont réfléchis ou absorbés en fonction de la nature des matériaux et pigments, c'est une caractéristique intrinsèque des matériaux. L'appareil photographique enregistre cette réponse, d'autant plus précisément que la gamme de longueurs d'onde est restreinte.

## **Quand utiliser des au C2RMF ? - 500 caractères maximum**

Cet examen simple à mettre en œuvre est intéressant pour obtenir rapidement des images dans une gamme de nm restreinte ainsi qu' une courbe de réflectance pour repérer les pigments ou les zones identiques sur une œuvre.

### **Lien(s) vers article(s) sur une ou des applications récentes**

Colantonio, C., Clivet, L., Laval, E. et al. Integration of multispectral imaging, XRF mapping and Raman analysis for noninvasive study of illustrated manuscripts: the case study of fifteenth century "Humay meets the Princess Humayun" Persian masterpiece from Louvre Museum. Eur. Phys. J. Plus 136, 958 (2021).

<https://doi.org/10.1140/epjp/s13360-021-01909-8> (disponible ici <https://copa.hypotheses.org/1367>)

### **Quels sont les avantages et les inconvénients ? - 350 caractères maximum\***

Principaux avantages :

- Examen non invasif et rapide.
- Visualise la répartition des pigments identiques sur une toile.
- Détecte les zones restaurées
- Fournit une courbe de reflection spectrale par pixel

Principaux inconvénients :

- Nécessite de travailler en milieu clos sans lumière.
- Les bases de données de comparaison doivent être faites dans les mêmes conditions (filtre IR, appareil, lampe).
- L'identification par fausses couleurs fonctionne pour les pigments purs mais pas pour les mélanges.

**Quelles sont les caractéristiques techniques ou le modèle utilisé de cette technique au C2RMF ? - 200 caractères maximum**

- Appareil photo Hasselblad défiltré + filtres devant l'objectif
- Sources flashes électroniques, fournissant un spectre dans le visible et l'IR.

**Visuel.s ou illustration.s (facultatif) - un maximum de 3 visuels par instrument**

## Hyperspectral

**Auteur de l'article**

Clotilde Boust

**Titre et sous-titre (sigle et nom déployé)**

Camera hyperspectrale, HSI pour Hyperspectral Imaging

**Qu'est-ce qu cette technique ? - 350 caractères maximum\***

Une caméra hyperspectrale est un instrument optique qui mesure la réflexion de la lumière sur un objet, en plusieurs points simultanément, produisant une image où chaque pixel contient la courbe de réflectance spectrale (cf. chapitre spectromètre optique). Il existe des caméras enregistrant dans le visible et l'infrarouge. La nature du matériau modifie la réponse mesurée.

**Comment fonctionne cette technique ? et comment se déroule un examen ou une analyse avec cette technique ? - 600 caractères maximum**

Une caméra hyperspectrale est une analyse non invasive. L'œuvre est placée devant la caméra et les lampes éclairent l'objet le plus uniformément possible, soit en continu comme une photographie, soit avec un système de lumière proche à balayage.

Elle enregistre la quantité de photons renvoyés par diffusion en chaque longueur d'onde, relativement à un matériau blanc de référence. En effet, la lumière est partiellement absorbée et diffusée par le matériau en fonction de sa nature physico-chimique (spectrométrie d'absorption en réflexion diffuse).

La mesure est représentée par un cube de données, c'est à dire une image où chaque pixel contient la courbe d'énergie lumineuse relative en fonction des longueurs d'ondes.

**Si cette technique a plusieurs types d'analyse différents, ou si vous souhaitez développer votre première réponse**

**Quel est le principe de la méthode 1 ? - 300 caractères maximum**

La courbe d'énergie relative en fonction des longueurs d'ondes peut être considérée comme une signature d'un matériau. Pour identifier un matériau, on peut comparer la courbe obtenue à celle de matériaux de référence. En cas de mélange, un algorithme dédié doit être appliqué, plusieurs sont en cours de développement.

**Quel est le principe de la méthode 2 ? - 300 caractères maximum**

A partir de la courbe d'énergie relative en fonction des longueurs d'ondes du matériau, de la courbe d'émission de la source, et la modélisation de la réponse visuelle d'un observateur standard, il est possible de chiffrer une couleur perçue grâce à la colorimétrie. Le modèle colorimétrique CIE de 1976 permet ainsi de calculer la clarté  $L^*$ , la valeur rouge-vert  $a^*$  et la valeur jaune-bleu  $b^*$ .

**Quand utiliser cette technique et/ ou quelles sont ses applications au C2RMF ?**

**- 500 caractères maximum**

L'analyse hyperspectrale est utilisée dans la conservation du patrimoine pour plusieurs applications:

- l'obtention d'une photographie visible ou infrarouge.

- la caractérisation de la couleur pour constat d'état ou bien évaluation d'un traitement.
- la caractérisation d'un matériau seul par comparaison de sa réponse avec les bases de données de matériaux (pigments, colorants, liants...).
- La caractérisation des mélanges ou superposition de matériaux, en traitant la courbe avec des algorithmes de démixage. Ces derniers sont nouveaux et fonctionnent dans certains cas seulement.
- La spatialisation sur l'œuvre des réponses identiques (même matériaux).

### **Lien(s) vers article(s) sur une ou des applications récentes**

Dipendra J. Mandal, Marius Pedersen, Sony George, Clotilde Boust, An  
 Experiment-based Comparative Analysis of Pigment Classification Algorithms using  
 Hyperspectral Imaging, May 2023, Journal of Imaging Science and Technology  
 67(3):030403-1-030403-18, DOI: 10.2352/J.ImagingSci.Technol.2023.67.3.030403

### **Quels sont les avantages et les inconvénients de cette technique ? - 350**

caractères maximum\*

Les avantages sont la facilité de mise en oeuvre et le caractère non invasif. Il permet de repérer les zones de l'oeuvre similaires, de repérer directement certains matériaux aux caractéristiques optiques spécifiques. Il permet de chiffrer la couleur perçue avec certitude.

Les inconvénients sont la réponse non univoque de certains matériaux seuls ou en mélange, pour lesquels la spectrométrie optique ne permet pas l'identification.

### **Quelles sont les caractéristiques techniques ou le modèle utilisé de cette technique au C2RMF ? - 200 caractères maximum ex :**

Le centre dispose d'une caméra hyperspectrale VIS-IR sensible de 400 à 1000 nm à 3 nm d'échantillonnage à balayage, acquise en 2011.

Une caméra par interférence 400-1700 nm a été acquise en 2025

# Les imageries de fluorescence

La luminescence est l'émission spontanée de rayonnement électromagnétique par un matériau qui absorbe l'énergie d'une source. La fluorescence est une forme de luminescence où l'émission s'arrête avec la source. La fluorescence peut servir à caractériser un matériau car les radiations ré-émises sont caractéristiques. Elle est très utilisée dans l'analyse des œuvres du patrimoine pour les vernis, colles et certains pigments d'origine ou localisant les restaurations anciennes.

## Image de fluorescence du rouge vers l'infrarouge - LIR

Auteur de l'article

Anne Maigret

Titre et sous-titre (sigle et nom déployé)

Imagerie de fluorescence du visible rouge vers l'infrarouge.

Appelée LIR pour Luminescence In Infrared en anglais.

Qu'est-ce qu'une image en LIR?

Cette technique de photographie appelée LIR enregistre la fluorescence dans l'infrarouge d'un matériau soumis à une lumière rouge. Elle est utilisée principalement pour détecter le pigment bleu égyptien ou le bleu de Han. Cette image est généralement en niveau de gris, les zones fluorescentes étant blanches sur l'image.

**Comment fonctionne cette technique ? Comment se déroule cette technique ?**

- 600 caractères maximum

L'élément chimique de la cuprorivaïte, présent dans les pigments bleu égyptien et bleu de Han, fluoresce dans l'infrarouge à 910 nm lorsqu'il reçoit de la lumière rouge à 610 nm.

Pour enregistrer cette fluorescence, il s'agit d'éclairer l'objet avec une lampe rouge et de capturer l'image dans l'infrarouge avec un appareil photographique défiltré et une pause longue.

## Lien(s) vers article(s) sur une ou des applications récentes

Si un article existe sur une application, un renvoi vers cette page est possible

Anne Maigret (30 décembre 2016). Détection du Pigment bleu égyptien par photographie infra-rouge. *Scientific imaging for cultural heritage / Images scientifiques pour le patrimoine*. Consulté le 8 novembre 2024 à l'adresse <https://doi.org/10.58079/n4ku>  
<https://copa.hypotheses.org/440>

Reconnaissance du bleu égyptien par imagerie sur les objets du patrimoine. Anne Maigret, Lucile Brunel-Duverger, Clotilde Boust *Scientific imaging for cultural heritage / Images scientifiques pour le patrimoine*. Consulté le 8 novembre 2024 à l'adresse <https://doi.org/10.58079/n4ls>  
[https://copa.hypotheses.org/files/2021/03/Bleu\\_maigretetal-v24.pdf](https://copa.hypotheses.org/files/2021/03/Bleu_maigretetal-v24.pdf)

## Quand utiliser un examen et/ ou quelles sont ses applications au C2RMF ? - 500 caractères maximum

L'image de fluorescence du visible vers l'infrarouge est principalement utilisée pour détecter le bleu égyptien, très utilisé sur des œuvres venant de tout le bassin méditerranéen, de 2700 ans avant J-C jusqu'au quatrième siècle après. Des études récentes ont également signalé la présence du bleu égyptien sur des œuvres du moyen âge et de la renaissance.

## Quels sont les avantages et les inconvénients de la LIR ? - 350 caractères maximum\*

Les principaux avantages :

- Examen non invasif et rapide.
- Très grande efficacité de la fluorescence donc de détection du bleu égyptien.
- Détection de micro traces invisibles.
- Le Live view de l'appareil permet de visualiser la réponse pour repérages.

Les principaux inconvénients :

- Travail en milieu clos sans lumière.
- Réalisation d'une photographie en visible nécessaire pour comparaison.

**Quelles sont les caractéristiques techniques des équipements de la LIR utilisés au C2RMF ? - 200 caractères maximum**

- Appareil photographique défiltré sensible aux IR (Hasselblad H4D et H6D, Nikon D610).
- Filtres devant l'objectif ne laissant passer que les IR autour de 900 nm.
- Lampe LED rouge à 610 nm.



**Fig. 4.** Photographie visible (gauche) et photographie de la fluorescence sous lumière visible dans l'infrarouge (LIR) servant à repérer le pigment Bleu égyptien (en blanc). *Cercueil de femme anonyme*, musée du Louvre (Inv. E 18840). Image C2RMF/Anne Maigret.

# Imagerie de fluorescence dans le visible

## Auteur de l'article

Clotilde Boust

## Titre et sous-titre (sigle et nom déployé)

Imagerie de fluorescence dans le visible  
FLUV Fluorescence de l'UV vers le visible  
FLVV Fluorescence du visible vers le visible

## Qu'est-ce qu cette technique ? - 350 caractères maximum\*

L'imagerie de fluorescence dans le visible enregistre par photographie la lumière visible émise par un matériau soumis à des radiations dans les ultraviolets. La fluorescence est l'émission d'un rayonnement électromagnétique par un matériau qui absorbe l'énergie d'une source. Cette fluorescence peut servir à caractériser un matériau car les radiations ré-émises sont caractéristiques.

## Comment fonctionne cette technique ? et comment se déroule un examen ou une analyse avec cette technique ? - 600 caractères maximum

L'imagerie de fluorescence dans le visible consiste à éclairer une œuvre avec une source UV (365 nm) et à enregistrer les émissions spontanées de lumières par fluorescence du matériau dans le visible (380 - 780 nm). Cet enregistrement se fait avec un appareil photographique classique.

## Si cette technique a plusieurs types d'analyse différents, ou si vous souhaitez développer votre première réponse

## Quel est le principe de la méthode 1 ? - 300 caractères maximum

FLVV Fluorescence du visible vers le visible

La fluorescence de certains matériaux dans le visible se produit aussi lorsque la source est elle aussi dans le visible. La source peut être de la lumière bleue ou verte et l'enregistrement se fait dans le vert ou le rouge en sélectionnant les radiations par filtres.

### **Quand utiliser cette technique et/ ou quelles sont ses applications au C2RMF ?**

- 500 caractères maximum

L'imagerie de fluorescence de l'UV vers le visible est très utilisée pour repérer les vernis et les allègements de vernis. En effet, les vernis historiques fluorescent en fonction de leur ancienneté et de leur épaisseur. On peut ainsi repérer où ont eu lieu des interventions anciennes sur les peintures en repérant les modifications de fluorescence du vernis.

L'imagerie de fluorescence de l'UV vers le visible sert également à repérer certains matériaux organiques comme les colles ou les cires, ou certains pigments (laque de garance, blanc de zinc, carthame, gofun...), ce qui permet de repérer des matériaux de restauration.

L'imagerie de fluorescence du visible vers le visible permet de différencier certaines colles entre elles ou certains pigments.

### **Lien(s) vers article(s) sur une ou des applications récentes**

Imagerie scientifique pour la conservation et la restauration du patrimoine, Clotilde Boust. Nicolas Mélard, Elsa Lambert, Laurence Clivet, Anne Maigret, page 6, LES PRÉALABLES À LA RESTAURATION, Actes des Journées d'étude de Nancy, 2016  
<https://c2rmf.fr/actualite/les-prealables-la-restauration>

Site du constructeur de la charte UV : <https://www.uvinnovations.com/target-uv>  
ou bien <https://copa.hypotheses.org/category/spectral-imaging/fluorescence>

### **Quels sont les avantages et les inconvénients de cette technique ? - 350 caractères maximum\***

- Examen non invasif et rapide.
- Repérage des matériaux.

Les principaux inconvénients :

- Travail en milieu clos sans lumière.
- Réalisation d'une photographie en visible nécessaire pour comparaison.

**Quelles sont les caractéristiques techniques ou le modèle utilisé de cette technique au C2RMF ? - 200 caractères maximum ex :**

- Appareil photographique (Hasselblad H4D et H6D, Nikon D610).
- Filtres devant l'objectif ne laissant passer que le visible (380-780 nm).
- Lampe UV ou LED bleue ou LED verte.
- Traitement sur Photoshop

**Visuel.s ou illustration.s (facultatif) - un maximum de 3 visuels par instrument**



Tanagra, Musée du Louvre, photographie à gauche, Fluorescence de l'UV vers le visible (centre) et du rouge vers l'infrarouge (droite), localisant la laque de garance et le bleu Egyptien, C2RMF Anne Maigret



**Fig. 3.** Photographie visible (haut) et photographie de la fluorescence sous ultraviolets montrant la localisation de différents matériaux organiques (bas). *Panthère surprenant un zibeth*, Antoine-Louis Barye, musée du Louvre (Inv. RF 2724). Image C2RMF/Anne Maigret.

# Les méthodes en radiographie

La radiographie est un système d'imagerie utilisant les rayons X ou gamma. L'œuvre est traversée par les rayons et les matériaux les arrêtent plus ou moins suivant leurs épaisseurs et leurs densités (numéro atomique). La variation appelée emissiographie enregistre les électrons secondaires émis par la couche superficielle de l'objet.

## Système de radiographie

Auteur de l'article

Elsa Lambert

Titre et sous-titre (sigle et nom déployé)

Radiographie par rayons X

Qu'est-ce qu'une radiographie ? - 350 caractères maximum\*

Une radiographie est une image en projection obtenue par la transmission d'un faisceau de rayons X à travers un objet.

Comment se déroule un examen en radiographie par RX ? - 600 caractères maximum

En pratique, l'objet est placé entre la source de rayons X et un détecteur, le faisceau de rayons X traverse l'objet de part en part, il est atténué en fonction des matériaux et des épaisseurs qu'il rencontre.

Le détecteur peut être un film argentique ou un capteur numérique, il enregistre les variations d'absorption des rayons X sous forme de nuances de gris. La lecture des clichés se fait en négatif, ainsi les plages sombres indiquent les parties de l'objet ayant peu absorbé les rayons X (zones de faibles épaisseurs et /ou matières de faible densité) et en clair celles ayant fortement absorbé les rayons X (zones de fortes épaisseurs et/ou matières de fortes densité).

Les clichés argentiques sont numérisés et assemblés par ordinateur pour reconstituer une radiographie d'ensemble de l'œuvre étudiée.

Il est à noter que les éléments présents dans un objet en 3D sont projetés sur un seul plan (le film). Par conséquent, afin de permettre une bonne interprétation des informations recueillies, il est nécessaire d'enregistrer des radiographies sous plusieurs angles d'incidences (face, profil, 3/4, dessus).

## **Quand utiliser un examen en radiographie RX et/ ou quelles sont ses applications au C2RMF ? - 500 caractères maximum**

Les radiographies des objets permettent d'apporter des informations sur la structure interne des œuvres, les types d'assemblage, les fragilités et les différents matériaux. Les radiographies des tableaux permettent d'apporter des informations sur l'état de conservation du support (bois ou toile) et de la couche picturale, les changements de format, les repentirs, le réemploi de toile et les manques de matière.

Ces informations permettent de comprendre les techniques de fabrication, l'état de conservation des matériaux, de localiser les restaurations et constituent des indices précieux pouvant aider à leur authentification.

## **Quels sont les avantages et les inconvénients de la radiographie ? - 350 caractères maximum\***

Les principaux avantages :

- pouvoir visualiser des informations qui ne sont pas accessibles à l'oeil nu,
- rapidité de l'examen et des résultats,
- examen non invasif,
- très grande précision des informations obtenues (20 microns).

Les principaux inconvénients :

- Les rayons X sont dangereux pour l'homme,
- formation et certificat CAMARI nécessaire pour le radiologue,
- nécessité de travailler dans des locaux spécifiques,
- limité à 20 cm d'épaisseur maximum pour les œuvres en pierre,
- pour les objets en volume, problème de superposition des informations,
- coût des films argentiques et de la maintenance des installations.

## **Quelles sont les caractéristiques techniques des équipements de radiographie utilisés au C2RMF ? - 200 caractères maximum**

4 installations de radiographies fixes au c2rmf plus un mobile.

- 1 tube RX de 100 kV pour la radiographie des tableaux sur le site de Paris
- 1 tube RX de 100 kV pour la radiographie sur le site de Versailles
- 1 tube RX de 160 kV pour la radiographie des objets constitués de matériaux de faible densité (Paris)
- 1 tube RX de 420 kV pour la radiographie des objets constitués de matériaux de forte densité (Paris)
- 1 équipement mobile RX de 200 kV pour les radiographies sur site.

## **Si cette technique a plusieurs types d'analyse différents**

### **Quel est le principe de la méthode 2 ? - 300 caractères maximum**

#### **Méthode 2 : Radiographie par rayons Gamma**

Des radiographies par rayons gamma (gammagraphies) peuvent également être réalisées. La mise en place et le déroulé de l'examen est le même que précédemment, à la différence que cette technique utilise une source radioactive (d'Iridium 192) en remplacement de la source de rayons X. La gammagraphie est principalement utilisée pour l'examen des œuvres de très forte densité (pierre et métal) lorsque les équipements de radiographie X ne disposent pas de l'énergie suffisante pour les traverser. Cette technique nécessite une formation et une habilitation spécifique des opérateurs ainsi que de l'institution pour la détention de telles sources radioactives; par conséquent elle n'est pas proposée par le C2RMF. Elle peut être réalisée par l'Institut de Soudure en qualité de prestataire extérieur.

#### **Méthode 3 : Emissiographie par rayon X**

### **Qu'est-ce qu'une émissiographie ? - 350 caractères maximum\***

C'est une technique d'imagerie qui consiste à enregistrer les électrons secondaires émis par la couche superficielle d'un objet lors de son excitation par un rayonnement X très énergétique.

### **Comment se déroule un examen en émissiographie ? - 600 caractères maximum**

Cette émission d'électrons est enregistrée sur un film monocouche placé au contact de la surface à étudier.

La tension nécessaire pour obtenir une émission électronique secondaire utile est de l'ordre de 300 à 450kV.

Plus la couche superficielle est constituée de matériau à numéro atomique élevé, meilleur est le rendement de conversion des photons X en électrons et donc plus noire sera l'image.

Un filtrage du rayonnement X à sa sortie du tube est nécessaire pour éliminer les rayons X peu énergétiques parasitant l'image finale. La lecture des clichés est inversée par rapport à la radio conventionnelle.

### **Quand utiliser un examen en émissiographie RX et/ ou quelles sont ses applications au C2RMF ? - 500 caractères maximum**

À la différence de la radiographie qui est une image obtenue par transmission, cette technique n'étudie que la surface d'un objet sans influence du support. Les

informations recueillies portent sur la nature des matériaux présents en surface de l'objet.

En peinture, elle peut être utilisée lorsque le support de l'œuvre présente une trop forte opacité aux rayons X, masquant de ce fait la couche picturale (plaque de cuivre par exemple).

Pour les objets, elle peut être utilisée pour différencier des incrustations métalliques de diverses compositions.

### **Lien(s) vers article(s) sur une ou des applications récentes**

Si un article existe sur une application, un renvoi vers cette page est possible

- Article Plaque à l'Aurige disponible dans EROS - n°32170 - C2RMF61116
  
- **Constats d'état de surface, D.Robcis, E.Plé, C. Thomas, Journées d'étude de Nancy, Aout 2020, C2RMF**  
[https://www.researchgate.net/publication/343738774\\_Constats\\_d'etat\\_de\\_surface\\_Journees\\_d'etude\\_de\\_Nancy](https://www.researchgate.net/publication/343738774_Constats_d'etat_de_surface_Journees_d'etude_de_Nancy)

### **Quels sont les avantages et les inconvénients de la radiographie ? - 350 caractères maximum\***

Les principaux avantages :

- informations complémentaires à la radiographie,
- informations sur les matériaux indépendamment de leur épaisseur (contrairement à la radiographie).

Les principaux inconvénients :

- le film doit être en contact avec la surface de l'oeuvre, par conséquent l'oeuvre doit être plane et ne doit pas être fragile,
- zones floues quand le film ne touche pas la surface étudiée,
- le film monocouche sur lequel est enregistré l'image n'est plus fabriqué (stock limité).

### **Quelles sont les caractéristiques techniques des équipements de radiographie utilisés au C2RMF ? - 200 caractères maximum**

- Cet examen se fait avec l'installation de radiographie de 420 kV (Paris)

### **Visuel.s ou illustration.s (facultatif) - un maximum de 3 visuels par instrument**

## Tomographie par rayons X

### Auteur de l'article

Elsa Lambert

### Titre et sous-titre (sigle et nom déployé)

Tomographie par rayons X

### Qu'est-ce qu'une tomographie ? - 350 caractères maximum\*

La tomographie par rayons X est une technique d'imagerie permettant la reconstruction 3D volumique d'un objet à partir d'une série de radiographies X. Pour simplifier, la tomographie est une radio en 3D de la structure interne d'un objet.

### Comment se déroule un examen en tomographie par RX ? - 600 caractères maximum

Cet examen se déroule en deux phases distinctes : l'enregistrement des mesures radiographiques, le scan à proprement dit et la reconstruction du volume 3D.

Durant le scan, l'objet est positionné sur un plateau rotatif entre la source de rayons X et le détecteur plan; une projection (radiographie) est enregistrée à chaque demi-degré alors que l'objet tourne. Ces 720 images enregistrent les variations d'absorption des rayons X en fonction des matériaux constitutifs de l'objet et de ses épaisseurs. Ces données sont ensuite reconstruites par des algorithmes (méthode rétroprojection filtrée) pour obtenir le volume 3D de l'objet.

### Quand utiliser un examen en Tomographie RX et/ ou quelles sont ses applications au C2RMF ? - 500 caractères maximum

La tomographie est principalement utilisée pour l'étude des objets en volume.

A la différence d'un scan 3D surfacique qui enregistre l'enveloppe externe d'un objet, la tomographie aux rayons X reconstruit une image volumique basée sur le coefficient d'absorption des matériaux. Elle permet ainsi d'étudier l'intérieur d'un objet grâce à sa visualisation en coupe d'où elle tire l'origine étymologique de son nom « tomê » qui signifie coupe en grecque.

Ainsi, les éléments structurels internes sont visualisés en 3D, facilitant leur localisation et leur dissociation.

### Lien(s) vers article(s) sur une ou des applications récentes

Si un article existe sur une application, un renvoi vers cette page est possible

**Quels sont les avantages et les inconvénients de l'examen en Tomographie RX ? - 350 caractères maximum\***

Les principaux avantages :

- visualiser en 3D des éléments structurels,
- possibilité de faire des mesures dimensionnelles, des analyses de matières,
- segmentation en fonction de la densité des matériaux,
- grande précision des informations obtenues (100 microns).

Les principaux inconvénients :

- Les rayons X sont dangereux pour l'homme,
- formation et certificat CAMARI nécessaire pour le radiologue,
- nécessité de travailler dans des locaux spécifiques,
- temps d'acquisition et de traitement pouvant être long (selon la dimension de l'objet étudié et la résolution souhaitée),
- volume de données important (selon la dimension de l'objet étudié et la résolution souhaitée),
- nécessité de consulter les 3D sur des postes informatiques performants,
- formation sur les logiciels de traitement des données,
- archivage des données.

**Quelles sont les caractéristiques techniques de l'installation de Tomographie RX au C2RMF ? - 200 caractères maximum ex :**

Nouvelle installation disponible en 2025 :

- Tube RX 420kV
- 1 détecteur plan (40x40cm; 130 microns)
- 1 détecteur linéaire (1m; 200 microns de résolution)
- table rotative de 1m50 de diamètre pouvant supporter jusqu'à 1T de charge
- Dimension d'inspection : 2m50 de hauteur x 2m50 de largeur

# 3D de surface

L'enregistrement de la forme 3D d'un objet est utilisé depuis une quinzaine d'années dans le domaine de l'analyse du patrimoine. Différentes techniques existent pour fabriquer un modèle 3D, avec chacune leurs avantages et inconvénients. Le choix d'une technique est souvent orienté par la problématique de l'œuvre, de laquelle découle la précision nécessaire à l'étude.

## Photogrammétrie

Auteur de l'article

Charlotte Hochart

Titre et sous-titre (sigle et nom déployé)

Captation 3D surfacique par photogrammétrie

Qu'est-ce qu'une captation par photogrammétrie? - 350 caractères maximum\*

La captation 3D par photogrammétrie est une technique qui permet de créer des modèles numériques tridimensionnels de scènes ou d'objets à partir de photographies.

En prenant une série d'images sous différents angles, un logiciel dédié reconstruit l'objet ou l'environnement en 3D en calculant les positions et les formes à partir des points communs dans les photographies.

**Comment se déroule un examen 3D par photogrammétrie? - 600 caractères maximum**

L'examen par photogrammétrie se déroule en deux étapes. Tout d'abord, on effectue une série de photographies sous différents angles d'un objet placé sur un fond uniforme. Si l'objet est de grande taille, il est essentiel de pouvoir tourner autour de lui pour photographier chaque partie avec précision. Pour des objets plus petits, une table rotative peut être utilisée.

Une fois ces photographies obtenues, elles sont traitées par un logiciel spécialisé qui détecte les points communs entre les différentes images. Le logiciel analyse ensuite ces points pour calculer les distances et les positions relatives, permettant ainsi de reconstruire un modèle 3D fidèle.

### **Quand utiliser un examen en 3D photogrammétrie et/ ou quelles sont ses applications au C2RMF ? - 500 caractères maximum**

La photogrammétrie est utilisée pour capturer non seulement la forme externe d'un objet mais aussi sa couleur. Les modèles affichent une précision allant de 100 à 50 µm.

Cette technique est particulièrement adaptée lorsque le temps d'interaction avec l'objet est limité, car la prise de vue est rapide. En revanche, le post-traitement des images demande davantage de temps et d'efforts pour obtenir un rendu optimal.

### **Quels sont les avantages et les inconvénients de la captation 3D par photogrammétrie? - 350 caractères maximum\***

Les principaux avantages :

- Prises de vues rapides.
- Examen sans contact.
- Captation de la forme et d'une texture colorée fidèle.
- Précision allant jusqu'à 50 µm.

Les principaux inconvénients :

- La qualité du modèle dépend de l'uniformité de l'éclairage, de la qualité et de la quantité des images.
- Les objets brillants peuvent poser problème.
- Post traitement assez long.

### **Quelles sont les caractéristiques techniques des équipements de photogrammétrie utilisés au C2RMF ? - 200 caractères maximum**

L'appareil photographique utilisé est un Nikon et le logiciel de reconstruction est Metashape.

### **Visuel.s ou illustration.s (facultatif) - un maximum de 3 visuels par instrument**

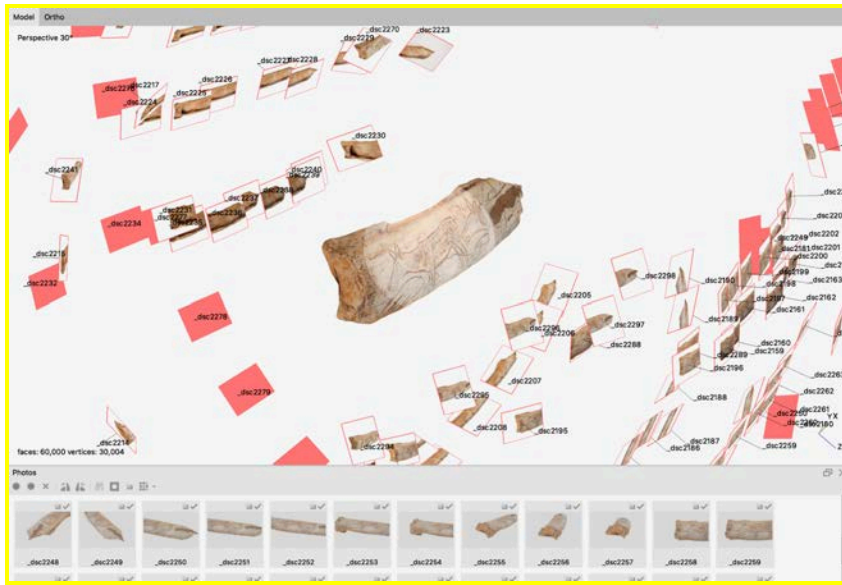


Fig.Les Biches de Chaffaud - Musée de Cluny - Vue logiciel - @C2RMF/A.Komenda



Fig.Les Biches de Chaffaud - Musée de Cluny - Vue de trois quart - @C2RMF/A.Komenda

## Lasergrammétrie

Auteur de l'article  
Charlotte Hochart

Titre et sous-titre (sigle et nom déployé)  
Captation 3D surfacique par lasergrammétrie

Qu'est-ce qu'une lasergrammétrie? - 350 caractères maximum\*

La lasergrammétrie est un processus de numérisation qui utilise des faisceaux laser pour mesurer la forme d'un objet. Le scanner émet des impulsions lumineuses, qui se réfléchissent sur les surfaces. Le capteur enregistre la lumière réfléchie et convertit l'information en distance par triangulation de la lumière, générant ainsi un nuage de points, offrant une représentation numérique précise en 3D.

### Comment se déroule un examen par lasergrammétrie ? - 600 caractères maximum

La lasergrammétrie débute par le positionnement du scanner autour de l'objet à analyser. Si celui-ci est suffisamment petit, il peut être placé sur une table rotative ; sinon, c'est le scanner qui tourne autour de lui. Chaque scan couvre une zone d'environ dix centimètres de côté.

Le scanner projette un faisceau lumineux laser. La lumière réfléchie est captée par un capteur CMOS, qui convertit les informations en données de distance par triangulation.

Les données recueillies sont enregistrées et fusionnées. Le traitement final en postproduction consiste à aligner les scans, corriger les aberrations et produire un modèle 3D avec une précision allant jusqu'à 50  $\mu\text{m}$ , ce qui permet d'effectuer des mesures et des comparaisons.

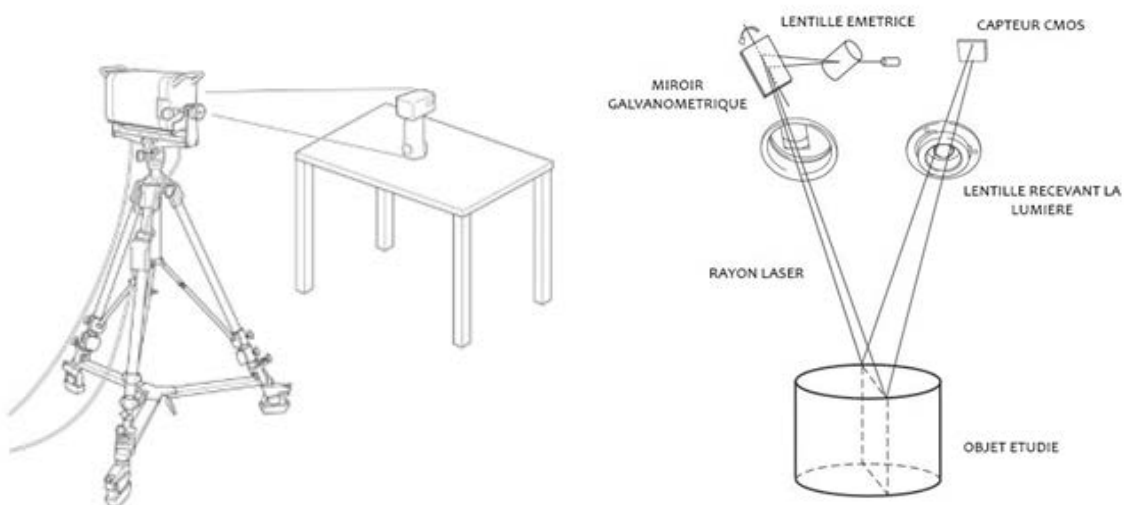


Fig. Image d'illustration de la technique - Manuel d'utilisation

### Quand utiliser un examen en lasergrammétrie et/ ou quelles sont ses applications au C2RMF ? - 500 caractères maximum

Ce type d'examen est utilisé pour documenter, préserver et restaurer des objets et il permet :

- d'effectuer un constat d'état précis de la forme de l'objet,
- d'étudier les traces d'outils et la mise en œuvre de l'objet,

- de comparer des séries d'objets ou de traces entre elles, notamment pour les tirages d'après moules en plâtre ou métal,
- d'effectuer des restaurations virtuelles,
- de recréer des pièces manquantes ou endommagées, en impression 3D.
- de créer des supports adaptés de pièces fragiles en impressions 3D,
- d'effectuer des mesures et des études précises à distance avec une précision de 50 micromètres.

### Quels sont les avantages et les inconvénients de la lasergrammétrie ? - 350 caractères maximum\*

Avantages :

- Captation détaillée et fidèle des objets (précision de 50  $\mu\text{m}$ )
- Sans contact
- Mise en évidence de détails invisibles à l'œil nu
- Reproductibilité

Inconvénients :

- Nécessite des moyens informatiques adaptés pour le stockage et le visionnage
- Certaines zones internes à un objet restent inaccessibles au scanner
- L'acquisition et le traitement peuvent être très longs selon la complexité de la surface
- Les surfaces brillantes peuvent poser problème.

### Quelles sont les caractéristiques techniques des équipements de lasergrammétrie utilisés au C2RMF ? - 200 caractères maximum

Le Konica Minolta Range 7 utilise un laser semi-conducteur  $\lambda = 660 \text{ nm}$  (classe 2) et un capteur CMOS de 1,31 Mpx (1280x1024). Sa résolution est de 4  $\mu\text{m}$  en Z et de 50  $\mu\text{m}$  en X-Y, avec des objectifs permettant des fenêtres de scan de 81x102 mm à 256x320 mm et un pas de mesure de 0,008 à 0,25 mm.

### Visuel.s ou illustration.s (facultatif) - un maximum de 3 visuels par instrument

# Scanner à projection de franges

Auteur de l'article

Charlotte Hochart

Titre et sous-titre (sigle et nom déployé)

Captation 3D surfacique par scanner à projection de franges (aussi appelé scanner à lumière structurée)

Qu'est-ce qu'une captation 3D par projection de franges? - 350 caractères maximum\*

La captation 3D par projection de franges est une méthode de numérisation qui utilise des motifs de lumière projetés sur un objet. Ces motifs créent des franges qui se déforment en fonction de la surface de l'objet. Un capteur vidéo analyse ces déformations pour calculer les distances et reconstruire la forme en 3D.

Comment se déroule un examen 3D par projection de franges ? - 600 caractères maximum

Un projecteur central émet une série de lignes captées par 2 caméras placées de part et d'autre du projecteur. Ces deux caméras monochromes de 5 mégapixels permettent des acquisitions de données rapides avec des niveaux de bruit très faibles.

Le scanner combine trois angles de triangulation à chaque numérisation pour une couverture optimale d'un objet (10 °, 20 °, 30 °), ce qui permet d'atteindre des cavités étroites réduisant ainsi la quantité de zones obstruées.

Les objets de 50 kg maximum peuvent être mis sur une table rotative ; sinon, le scanner est déplacé autour de l'objet.

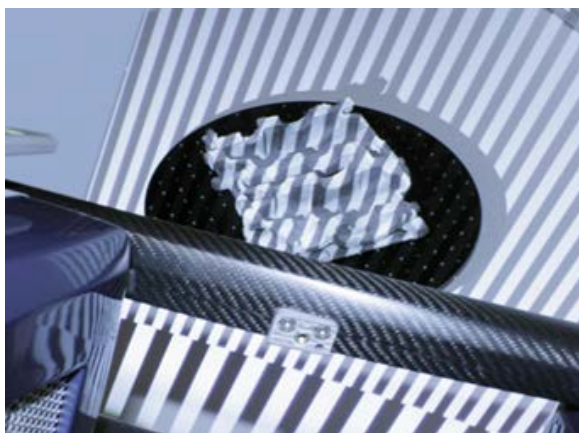


Fig. Image d'illustration de la technique - Manuel d'utilisation

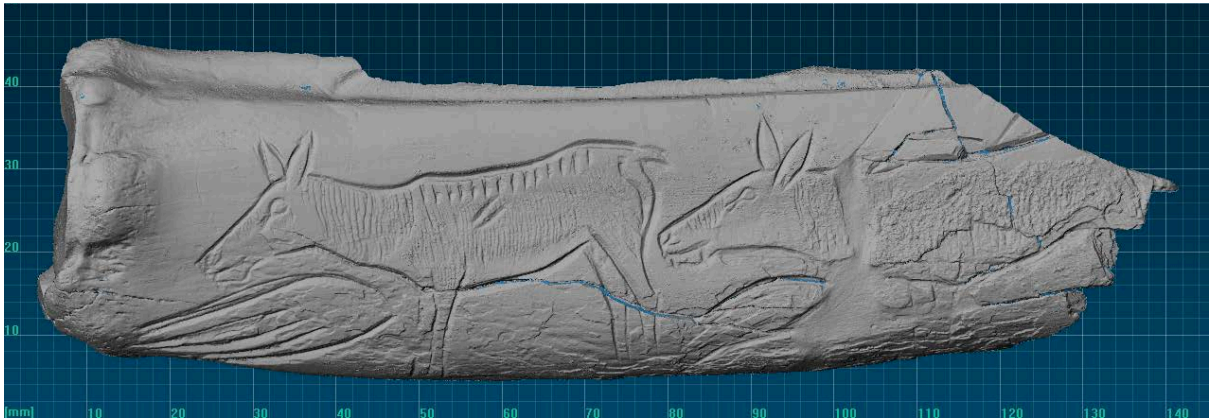


Fig. Les Biches de Chaffaud - Musée de Cluny - Vue de face - @C2RMF/C.Hochart

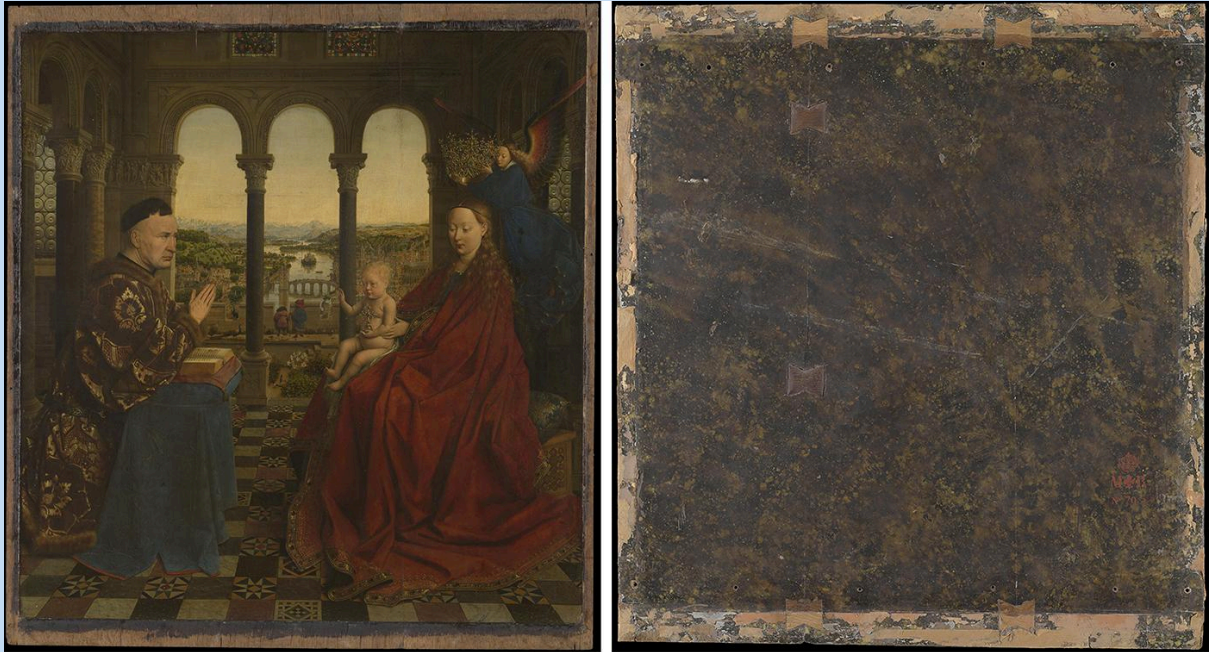
**Si cette technique a plusieurs types d'analyse différents, ou si vous souhaitez développer votre première réponse**

**Quel est le principe de la méthode 1 ? - 300 caractères maximum**

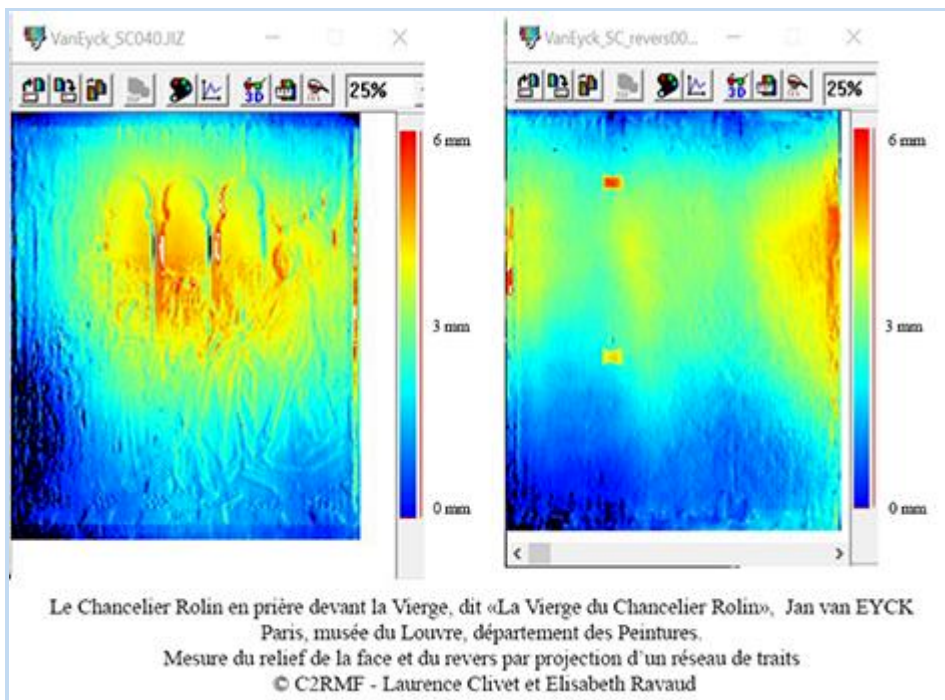
#### **Méthode : Mesure du relief d'un tableau sur bois**

Un système développé par l'Université de Poitiers PRISM et dédié à l'étude des panneaux de bois enregistre le relief par projection d'un réseau de traits d'intensité lumineuse sinusoïdale régulière alternativement blanches ou noires. En fonction du relief rencontré, ces franges vont subir une déformation, l'image obtenue est enregistrée par une caméra puis analysée par ordinateur à l'aide du logiciel Light 3D. Cette méthode permet aussi de mesurer les déformations du bois, très sensible aux variations hygrométriques, entre deux périodes.

**Visuel.s ou illustration.s (facultatif) - un maximum de 3 visuels par instrument**



Le Chancelier Rolin en prière devant la Vierge, dit «La Vierge du Chancelier Rolin», Jan van EYCK  
 Paris, musée du Louvre, département des Peintures.  
 Vue d'ensemble de la face et du revers en lumière réfléchi © C2RMF - Jean-Louis Bellec



### **Quand utiliser un examen en 3D par projection de franges et/ ou quelles sont ses applications au C2RMF ? - 500 caractères maximum**

Ce type d'examen est utilisé pour documenter, préserver et restaurer des objets et il permet :

- d'effectuer un constat d'état précis de la forme de l'objet,
- d'effectuer un suivi des déformations dans le temps (panneau en bois),
- d'étudier les traces d'outils et la mise en œuvre de l'objet,
- de comparer des séries d'objets ou de traces entre elles, notamment pour les tirages d'après moules en plâtre ou métal,
- d'effectuer des restaurations virtuelles,
- de recréer des pièces manquantes ou endommagées, en impression 3D.
- de créer des supports adaptés de pièces fragiles en impressions 3D,
- d'effectuer des mesures et des études précises à distance. Les études métriques peuvent être réalisées avec un niveau de détail allant jusqu'à 10 µm.

### **Quels sont les avantages et les inconvénients de la captation 3D par projection de franges? - 350 caractères maximum\***

Avantages :

- Captation détaillée des objets (précision de 10 à 50 µm selon les objectifs)
- Sans contact
- Détails invisibles à l'œil nu mis en évidence
- Reproductibilité
- Captation automatique de textures noir et blanc
- Capte des surfaces brillantes (or, etc.)

Inconvénients :

- Nécessite un matériel informatique adapté pour le stockage et le visionnage
- Certaines zones restent inaccessibles au scan.

### **Quelles sont les caractéristiques techniques des équipements de captation 3D par projection de franges utilisés au C2RMF ? - 200 caractères maximum**

Le Smartscan AICON utilise la triangulation optique par stéréométrie avec des LED bleues. Il projette 128 lignes à 0°. Ses trois objectifs offrent une résolution en X-Y de 20 à 137 µm et une précision de 50 à 10 µm.

**Visuel.s ou illustration.s** (facultatif) - un maximum de 3 visuels par instrument

## Microtopographie

Auteur de l'article

Charlotte Hochart

Titre et sous-titre (sigle et nom déployé)

Captation 3D surfacique par analyse microtopographique

Qu'est-ce qu'une capture par microtopographie? - 350 caractères maximum\*

La microtopographie enregistre la surface d'un objet en 3D à l'échelle micrométrique.

Une source de lumière blanche défocalisée est projetée sur une surface. Chaque longueur d'onde est focalisée à différentes hauteurs connues par étalonnage. Un spectromètre récupère la lumière réfléchiée par la surface et en déduit la hauteur du point mesuré suivant la longueur d'onde. L'objet, placé sur une plateforme motorisée X/Y, permet d'obtenir une cartographie 3D de la surface en (X, Y, Z).

**Comment se déroule un examen 3D par microtopographie ?** - 600 caractères maximum

L'objet est placé face au crayon de mesure et une zone d'intérêt est choisie (taille maximum 5cm x 5cm). La mesure consiste en un balayage de la surface par un faisceau de lumière blanche selon deux axes (x et y). Lors du balayage, la hauteur (Z) entre la sonde et la surface est enregistrée en même temps que la position XY. Cette dernière est enregistrée selon une cadence définie par le pas de mesure qui peut être fixé entre 400nm et 500µm selon la précision recherchée. Selon la sonde optique choisie la précision en z est de 200 à 2000 nm.

Cet examen peut être très long en fonction de la précision de la mesure (1h30 pour scanner 1 mm<sup>2</sup> à la meilleure résolution).

Une fois le modèle 3D obtenu, un logiciel de traitement permet de faire des mesures de rugosimétrie.

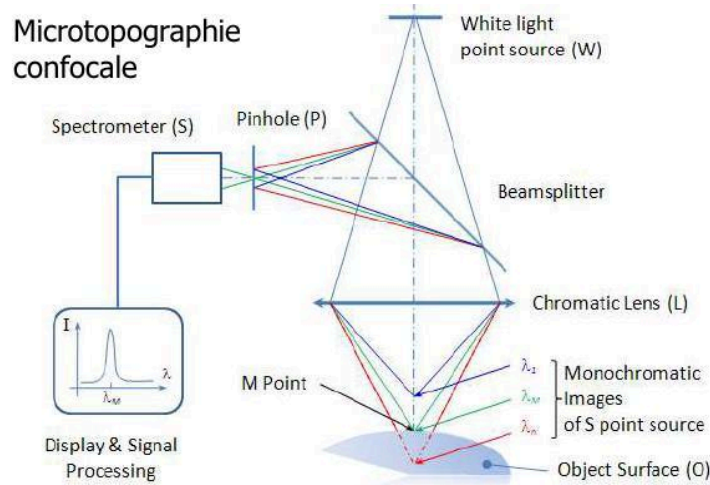


Fig.Méthode de captation - Issu du manuel d'utilisation

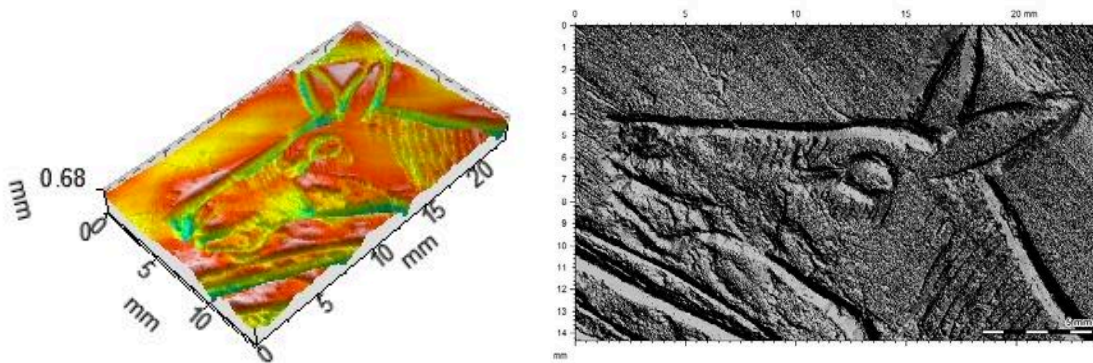


Fig.Les Biches de Chaffaud - Musée de Cluny - Vue 3D et rendu pseudo photo d'une des tête de biches - @C2RMF/C.Hochart

### Quand utiliser un examen en 3D microtopographie et/ ou quelles sont ses applications au C2RMF ? - 500 caractères maximum

La microtopographie permet d'analyser des objets présentant des détails très fins ou des textures complexes. Elle est particulièrement utile pour évaluer un état de conservation et étudier des surfaces endommagées. Elle facilite les comparaisons entre objets et l'étude des techniques de fabrication.

Les analyses de rugosimétrie permettent de décrire précisément avec des chiffres la surface étudiée. L'extraction des profils des traces d'outils sur pierre par exemple permet de remonter jusqu'à la forme de l'outil et donc parfois l'époque de production.

## Quels sont les avantages et les inconvénients de la captation 3D par microtopographie ? - 350 caractères maximum\*

Avantages :

- Précision très élevée pour analyser des surfaces fines et complexes
- Sans contact
- Station transportable.
- Capable de scanner des surfaces de rugosités variées en adaptant le capteur.
- Réglage de l'intensité lumineuse et de la fréquence d'échantillonnage pour cartographier des surfaces réfléchissantes et sombres.

Inconvénients :

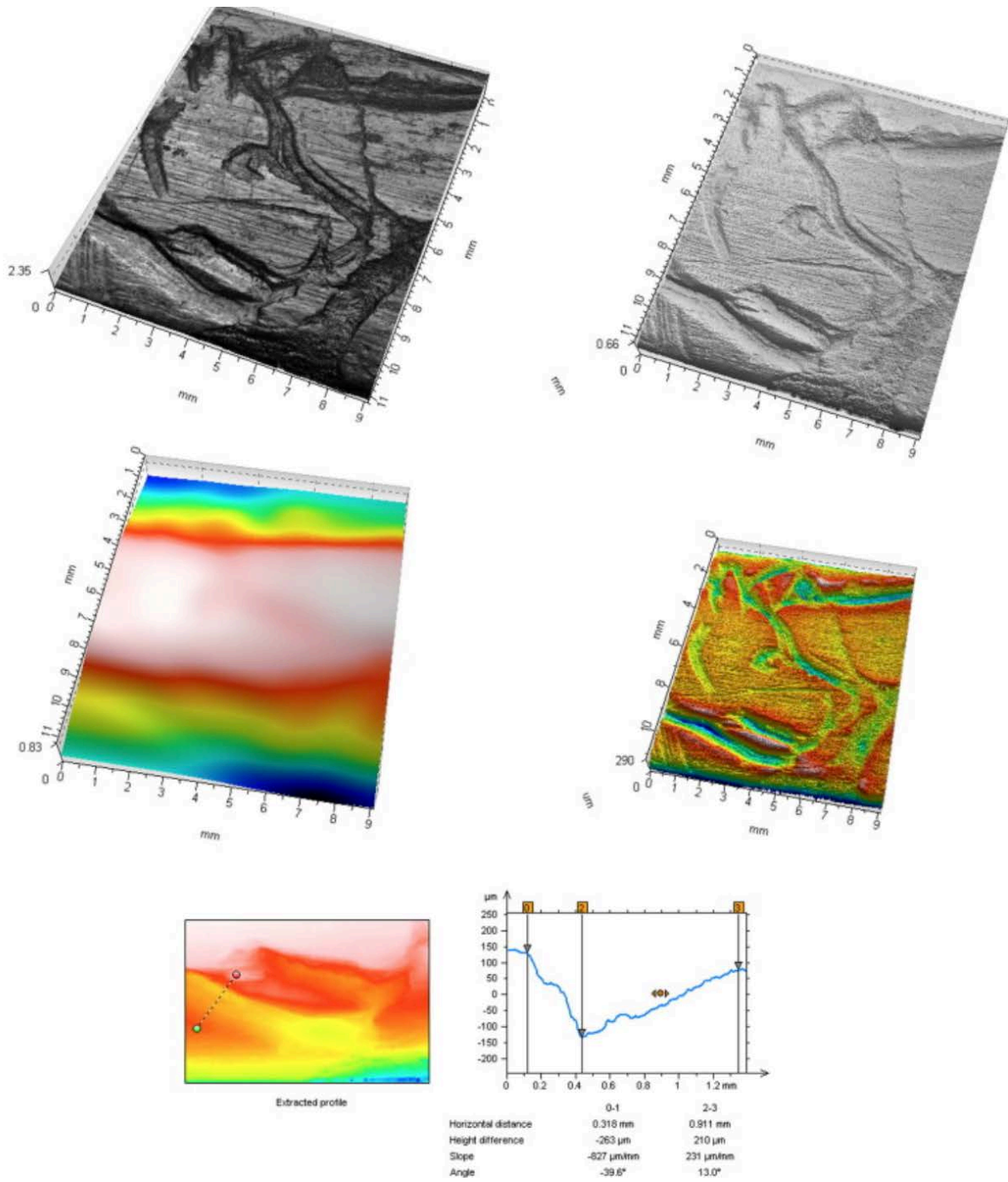
- Limité à des surfaces de 25 cm<sup>2</sup> maximum.
- La surface doit être proche du plan.
- Temps de mesure long (1h30 pour scanner 1 mm<sup>2</sup> à la meilleure résolution).

## Quelles sont les caractéristiques techniques des équipements de microtopographie utilisés au C2RMF ? - 200 caractères maximum

La station Altisurf 50 d'Altimet mesure des surfaces de 25 cm<sup>2</sup> avec une résolution de 1 µm en x/y. Les capteurs offrent une résolution de 5 à 10 nm en z selon les sondes, avec deux options de 8000 mm et 600 mm.

article

*Journal of Archaeological Science: Reports, Volume 10, December 2016, Pages 903–909, Comparison of imaging techniques used in the microanalysis of Paleolithic mobiliary art, Nicolas Mélard, , Clotilde Boust, Gabrielle Cogné, Anne Maigret, <https://copa.hypotheses.org/426>*



**Visuel.s ou illustration.s (facultatif) - un maximum de 3 visuels par instrument**

# Imagerie de l'apparence

L'apparence d'un objet provient de notre perception visuelle, issue des attributs que sont la couleur, le brillant, la texture, la translucidité, le scintillant ou la fluorescence. La caractérisation du fonctionnement de la vision est un sujet non encore complètement élucidé. La couleur est l'attribut le mieux connu, avec le brillant, pour lesquels nous avons des modèles. Pour l'étude du patrimoine, la mesure de ces attributs est une aide précieuse pour les constats d'états et le suivi des changements. C'est en effet la vision qui est le principal sens de notre appréciation des oeuvres.

## Spectromètre optique

### Auteur de l'article

Clotilde Boust

### Titre et sous-titre (sigle et nom déployé)

Spectromètre optique

### Qu'est-ce qu cette technique ? - 350 caractères maximum\*

Un spectromètre optique mesure les propriétés de la lumière visible et ses régions proches : les ultraviolets et les infrarouges. Il mesure l'énergie reçue par le capteur à chaque longueur d'onde, par transmission ou par réflexion sur un objet. La courbe ainsi obtenue dépend des propriétés du matériau mesuré. La spectrométrie optique est une analyse non invasive et sans dommages.

### Comment fonctionne cette technique ? et comment se déroule un examen ou une analyse avec cette technique ? - 600 caractères maximum

Dans le cas d'un matériau opaque, une source lumineuse est positionnée à 45° et le spectromètre est à la verticale (0°). Le spectromètre est d'abord calibré sur une référence (spectralon). Placé sur le matériau à mesurer, il enregistre en quelques millisecondes la quantité de photons renvoyés par diffusion, la lumière étant partiellement absorbée et diffusée par le matériau en fonction de sa nature

physico-chimique. La zone de mesure va de 0,5 mm<sup>2</sup> à 1 cm<sup>2</sup> suivant les instruments. La mesure est représentée par une courbe d'énergie lumineuse relative en fonction des longueurs d'ondes en nm (ou en fonction des 1/cm pour les chimistes), appelée courbe de réflectance.

**Si cette technique a plusieurs types d'analyse différents, ou si vous souhaitez développer votre première réponse**

**Quel est le principe de la méthode 1 ? - 300 caractères maximum**

Reconnaissance de matériaux par comparaison:

Pour identifier un matériau, on compare la courbe de réflectance, signature physico-chimique du matériau, à celle de matériaux de référence. En cas de mélange, un algorithme dédié doit être appliqué, ils sont partiellement développés pour les mélanges à 2 matériaux colorés et non encore disponibles pour les mélanges à 3 matériaux.

**Quel est le principe de la méthode 2 ? - 300 caractères maximum**

Spectrocolorimétrie:

A partir de la courbe de réflectance du matériau, de la courbe d'émission de la source et de la modélisation de la vision d'un observateur standard, une formule mathématique de colorimétrie permet de chiffrer une couleur perçue par un humain. Le modèle CIE de 1976 permet ainsi de mesurer la clarté  $L^*$ , la valeur rouge-vert  $a^*$  et la valeur jaune-bleu  $b^*$ .

**Quand utiliser cette technique et/ ou quelles sont ses applications au C2RMF ?**  
**- 500 caractères maximum**

La spectrométrie optique est utilisée dans la conservation du patrimoine pour plusieurs applications:

- La caractérisation de la couleur pour un constat d'état, une comparaison ou bien évaluation d'un traitement.
- La caractérisation d'un matériau par comparaison de sa réponse (dans l'UV, le visible et/ou l'IR) avec les bases de données de matériaux connus (pigments, colorants, liants...).

- La caractérisation des mélanges ou superposition de matériaux, en traitant la courbe avec des algorithmes de démixage. Ces derniers sont nouveaux et fonctionnent dans certains cas seulement.

### **Lien(s) vers article(s) sur une ou des applications récentes**

Si un article existe sur une application, un renvoi vers cette page est possible

- Identification of the early color photographs of Ducos du Hauron in the Natural History Museum of Lille, C. Boust et al., ICOM-CC Valencia, 2023

<https://www.icom-cc-publications-online.org/5680/Identification-of-the-early-color-photographs-of-Ducos-du-Hauron-in-the-Natural-History-Museum-of-Lille>

### **Quels sont les avantages et les inconvénients de cette technique ? - 350**

caractères maximum\*

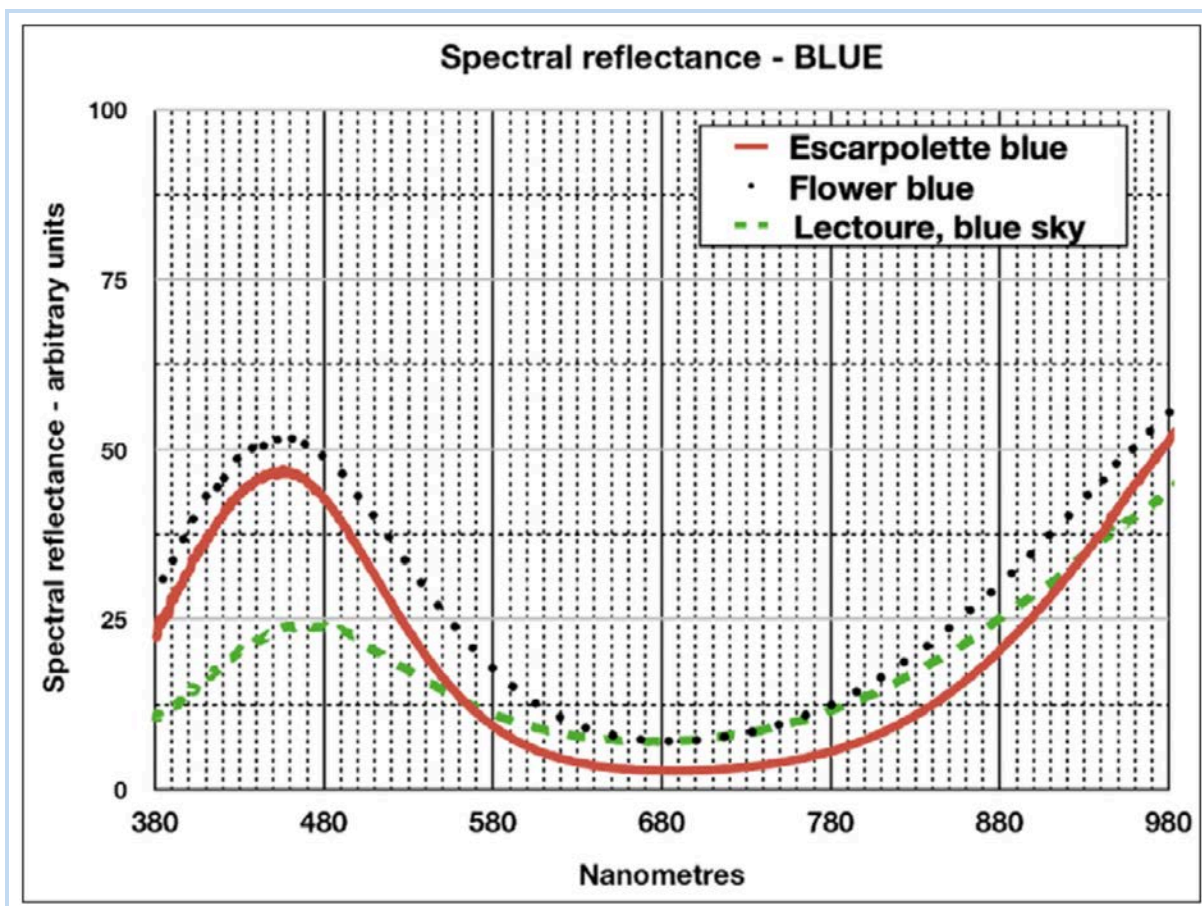
Les avantages sont la facilité de mise en œuvre, la transportabilité et le caractère non invasif et sans contact. Il permet de repérer directement certains matériaux aux caractéristiques optiques spécifiques. Il permet de chiffrer la couleur perçue avec certitude.

Les inconvénients sont la réponse non univoque de certains matériaux seuls ou en mélange, pour lesquels la spectrométrie optique ne permet pas l'identification.

### **Quelles sont les caractéristiques techniques ou le modèle utilisé de cette technique au C2RMF ? - 200 caractères maximum ex :**

Le C2RMF possède plusieurs spectromètres optiques, dont la résolution spectrale (1 à 5 nm), la taille de la zone de mesure (0,3 mm à 1 cm), la géométrie de mesure (45/0° ou sphère intégrante) et la gamme de longueurs d'ondes (visible / IR) mesurées différent. Ils sont accompagnés de lampes à différentes gammes spectrales.

### **Visuel.s ou illustration.s (facultatif) - un maximum de 3 visuels par instrument**



Courbes spectrales des bleus de trois héliographies de Louis Ducos du Hauron, Escarpolette, Fleurs bleues et Lectoure du Musée d'histoire naturelle de Lille. La similitude des courbes permet de rapprocher les œuvres dans la chronologie de production et d'orienter vers le pigment bleu de Prusse. Crédits Clotilde Boust C2RMF 2023

## Brillancemètre

### Auteur de l'article

Clotilde Boust

### Titre et sous-titre (sigle et nom déployé)

## Mesure du brillant

### **Qu'est-ce qu'une technique ? - 350 caractères maximum\***

Le brillant est une sensation visuelle qui dépend de la géométrie de la lumière réfléchie par un objet. Sa caractérisation passe par deux étapes, la mesure de la lumière réfléchie à plusieurs angles puis le calcul des paramètres de perception. Les instruments mesurent la géométrie de la lumière et certains calculent les paramètres de perception.

### **Comment fonctionne cette technique ? et comment se déroule un examen ou une analyse avec cette technique ? - 600 caractères maximum**

Le principe de la mesure du brillant est d'éclairer l'objet sous différents angles et de mesurer la lumière réfléchie par le matériau autour du pic spéculaire, c'est-à-dire dans la direction du reflet de la lampe. En effet, plus un objet est brillant, plus le reflet de la lampe sur le matériau est intense et net, au contraire d'un objet mat où il est faible et diffus. On obtient une courbe d'intensité de lumière réfléchie en fonction de l'angle de la lampe.

A partir de cette courbe, il est possible de calculer les valeurs de perception humaine du brillant.

### **Si cette technique a plusieurs types d'analyse différents, ou si vous souhaitez développer votre première réponse**

#### **Quel est le principe de la méthode 1 ? - 300 caractères maximum**

##### **Méthode 1 : brillancemètre industriel**

Un brillancemètre est un petit instrument contenant des lampes et un capteur, il mesure par contact la lumière réfléchie par l'objet à 3 angles prédéfinis 20°, 60° et 85°. L'angle de référence est de 20° pour les échantillons brillants et de 85° pour les mates. L'échelle de mesure est en unités de brillance (GU).

## Méthode 2 : brillancemètre par imagerie

Le brillancemètre par imagerie fonctionne sans contact avec 26 lampes et une caméra comme capteur. Le logiciel extrait la courbe de quantité de lumière en fonction de l'angle d'illumination sur un pixel choisi de l'image et calcule les paramètres de perception visuelle du brillant.

## Quand utiliser cette technique et/ ou quelles sont ses applications au C2RMF ?

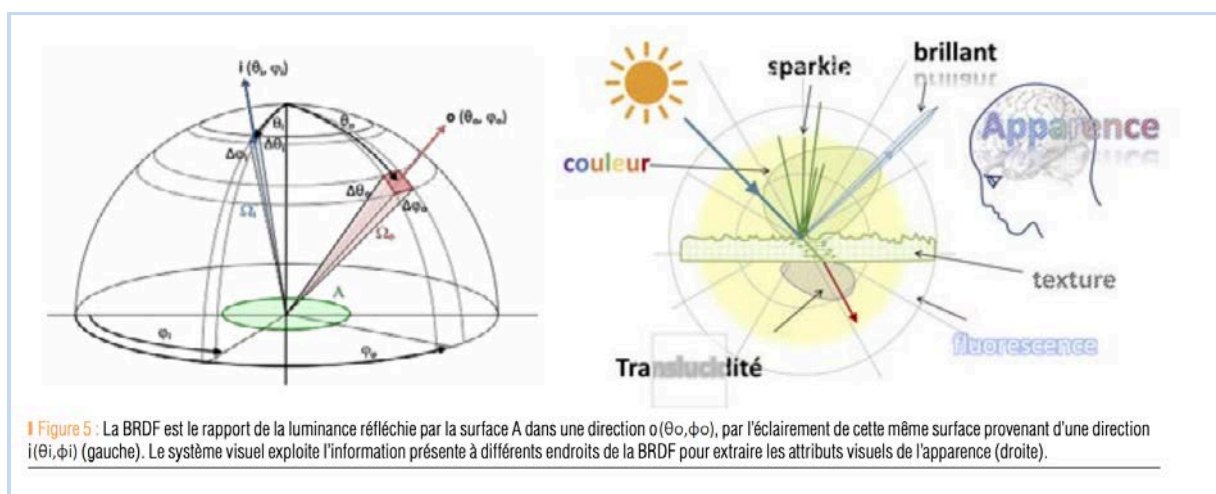
- 500 caractères maximum

Un brillancemètre industriel à 3 angles permet uniquement de comparer des surface entre elles à ces angles. Il ne dit rien sur la sensation visuelle.

Le brillancemètre par imagerie quantifie la sensation visuelle. Il peut être utilisé pour évaluer des traitements de restauration par exemple, en vérifiant que la sensation de brillant n'est pas affectée par le traitement. La caractérisation d'une technique d'allègement de vernis sur or a ainsi été effectué récemment.

## Lien(s) vers article(s) sur une ou des applications récentes

- La mesure de l'apparence, March 2020, Revue de l'Electricité et de l'Electronique, Gael Obein ([https://www.researchgate.net/publication/340174624\\_La\\_mesure\\_de\\_l'apparence](https://www.researchgate.net/publication/340174624_La_mesure_de_l'apparence))



- Appearance-based evaluation of varnish removal methods in gilded surfaces, Springer Nature, Heritage Science, February 2023 11(1):31, Yoko Arteaga, Diane Marchioni, Stéphanie Courtier, Clotilde Boust, Jon Yngve Hardeberg ([https://www.researchgate.net/publication/368476365\\_Appearance-based\\_evaluation\\_of\\_varnish\\_removal\\_methods\\_in\\_gilded\\_surfaces](https://www.researchgate.net/publication/368476365_Appearance-based_evaluation_of_varnish_removal_methods_in_gilded_surfaces))

**Quels sont les avantages et les inconvénients de cette technique ? - 350 caractères maximum\***

Les avantages du brillancemètre à 3 angles est la rapidité de la mesure et la portabilité. Le désavantage est qu'il nécessite un contact plan et le manque de conclusions sur la perception.

Les avantages du brillancemètre par imagerie est la caractérisation de la perception et son innocuité (sans contact par lumière blanche peu puissante).

**Quelles sont les caractéristiques techniques ou le modèle utilisé de cette technique au C2RMF ? - 200 caractères maximum ex :**

Le C2RMF a plusieurs brillancemètres 3 angles Minolta ou BYK et a développé une machine de brillant par imagerie avec la société Ipselios.

**Visuel.s ou illustration.s (facultatif) - un maximum de 3 visuels par instrument**

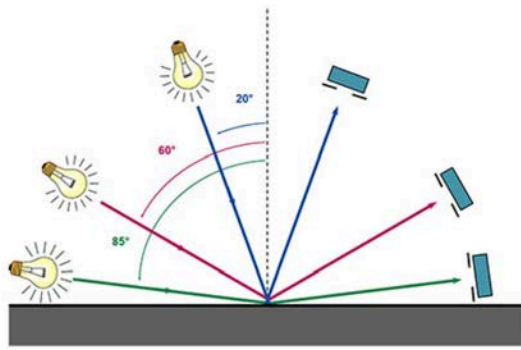


Image 10 Conditions géométriques normalisées

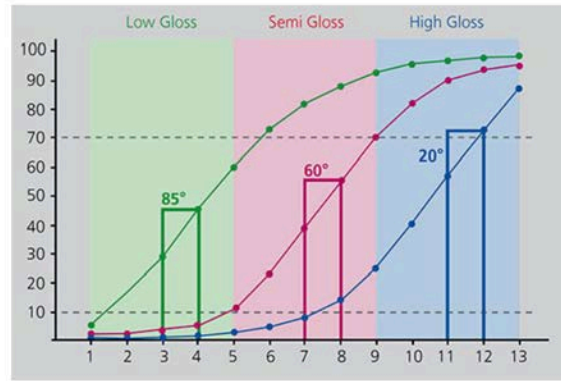


Image 11 Valeurs de brillance spéculaire en fonction de l'angle de mesure

Géométries de mesures d'un brillancemètre à 20, 60 et 85° (source : <https://www.byk-instruments.com/fr/t/knowledge/Gloss-Measurement>)

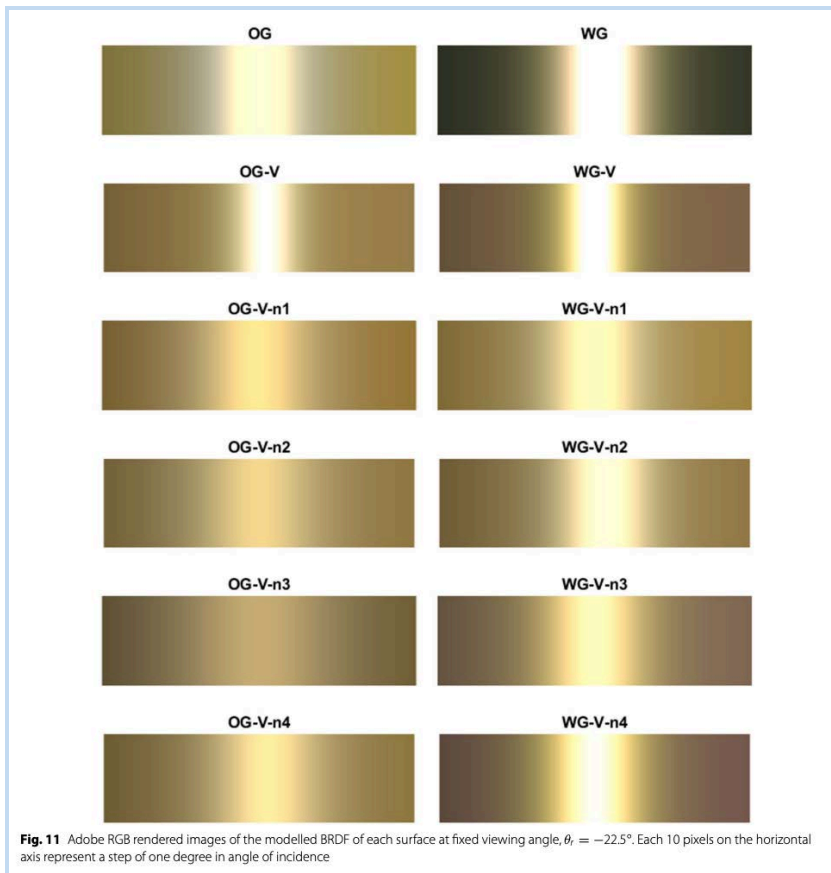


Fig. 11 Adobe RGB rendered images of the modelled BRDF of each surface at fixed viewing angle,  $\theta_v = -22.5^\circ$ . Each 10 pixels on the horizontal axis represent a step of one degree in angle of incidence

Modélisation du brillant de feuilles d'or, Yoko Arteaga in Appearance-based evaluation of varnish removal methods in gilded surfaces, Springer Nature, Heritage Science, February 202311(1):31, Yoko Arteaga, Diane Marchioni, Stéphanie Courtier, Clotilde Boust, Jon Yngve Hardeberg

[https://www.researchgate.net/publication/368476365\\_Appearance-based\\_evaluation\\_of\\_varnish\\_removal\\_methods\\_in\\_gilded\\_surfaces](https://www.researchgate.net/publication/368476365_Appearance-based_evaluation_of_varnish_removal_methods_in_gilded_surfaces)