

## Application des techniques photographiques spécifiques en vue de l'analyse scientifique des peintures murales

### *Résumé*

Dans les travaux et les recherches scientifiques consacrées à l'étude des peintures une place prépondérante est faite à l'utilisation des rayonnements électromagnétiques : infrarouge, visible, ultraviolet, RX,  $\gamma$ , etc. Ces rayonnements sont couramment utilisés pour l'examen approfondi de peintures de chevalet, de miniatures, de dessins ou autres œuvres peintes sur papier ou parchemin.

Il s'agit donc de méthodologies bien connues et il existe à ce sujet une littérature relativement importante qui donne la possibilité de prévoir certains résultats.

En revanche, pour les peintures murales, il existe fort peu de données bibliographiques mises en œuvre, et elles restent globalement les mêmes. La suite de cette brève présentation sera consacrée à la description de ces méthodes photographiques ainsi qu'à l'interprétation des résultats qui pourraient être obtenus.

### 1. EXAMEN SOUS LUMIÈRE MONOCHROMATIQUE DE VAPEUR DE SODIUM

La lumière visible se compose des radiations dont les longueurs d'ondes se situent entre 380 nm et 760 nm ; c'est le domaine du spectre visible.

La lumière monochromatique de Na est émise par une radiation d'une longueur d'onde déterminée (Doublet  $D_1 = 589$  nm et  $D_2 = 589.6$  nm). Il s'agit de l'excitation électrique de la vapeur de Na qui donne lieu à la production d'une lumière exclusivement jaune. Ces lampes émettent également un doublet invisible situé dans le domaine infrarouge à 818.3 et 819.4 nm. Cette émission peut être employée pour l'éclairage des prises de vues dans l'infrarouge.

Cette lumière monochromatique permet l'examen direct ou l'enregistrement photographique de détails précis. Les photographies sont plus nettes qu'en lumière normale car les réfractions dans l'objectif sont plus sélectives. Ici les différences de réflexion sont très marquées et mises en évidence, ce qui permet de faire apparaître les retouches les plus légères, les repeints situés sous le vernis.

Les bleus et les violets deviennent noirs. Les verts, oranges et rouges donnent une gamme de gris. Les jaunes sont exactement rendus.

Par ailleurs, cette lumière possède le pouvoir de traverser les couches superficielles, (vernis et/ou glacis). Cette propriété permet à l'observateur de ne pas être gêné par les vernis teintés ou obscurcis qui altèrent sa vision et l'empêchent de déchiffrer des détails insoupçonnés.

#### *Technique*

- Utilisation de lampes à vapeur de sodium pour l'éclairage.
- Aucun filtre devant l'objectif de l'appareil photographique n'est exigé.
- Film : panchromatique.

## 2. EXAMEN DANS LE DOMAINE UV RÉFLÉCHI

Cet examen est fait dans le cas où l'œuvre est photographiée dans le proche ultraviolet (c.-à-d. éclairée par des lampes à vapeur de mercure, sous basse tension en se servant d'un appareil photographique muni d'un filtre ne laissant passer que les radiations du proche ultraviolet).

Cette technique est mise en œuvre pour suivre d'une façon précise le dévernissage (elle est donc particulièrement intéressante pour les restaurateurs).

En effet, les moindres traces de vernis subsistant apparaissent en sombre. Ces traces ne sont pas des repeints, mais simplement des taches de vernis accumulées bien que le dévernissage soit presque total.

#### *Technique*

- Utilisation de lampes à vapeur de mercure pour l'éclairage, non filtrées.
- Filtre 18A KODAK ou 7-60/5840 CORNING, devant l'objectif de l'appareil.
- Film : ortho ou panchromatique.

## 3. EXAMEN SOUS LA FLUORESCENCE D'ULTRAVIOLET

Il s'agit d'un rayonnement invisible qui se situe immédiatement avant le domaine du visible à une longueur d'onde plus faible (100 à 400 nm).

Il a la propriété de provoquer les phénomènes de fluorescence qui cesse avec la fin de l'excitation lumineuse. Les sources de rayonnement utilisées tant pour l'examen à l'œil nu que pour la photographie, sont des lampes à vapeur de mercure à surpression dont le spectre d'émission présente un maximum à 365 nm. L'examen des surfaces peintes sous ces radiations permet de discerner immédiatement les anomalies de l'état de surface.

La moindre altération, essais partiels de dévernissage, repeints locaux, repiquages, apparaissent nettement sous la forme de taches plus ou moins sombres. Si par contre la surface de l'œuvre peinte se présente laiteuse, ceci pourrait être l'indication d'une surface en bon état (toutefois confirmation doit être demandée aux rayons infrarouges capables de déceler des repeints plus profonds).

Les repeints anciens peuvent être facilement discernés car très souvent ils sont posés sur le vernis qui fluoresce sous l'excitation lumineuse, alors que toutes ces plages ou petits points de repiquage restent comme des taches sombres.

Les documents photographiques qui enregistrent la fluorescence d'ultraviolet peuvent rendre souvent lisible une écriture, une signature ou une inscription jusqu'ici imperceptible à l'œil nu et dans le pire des cas, ils améliorent considérablement la capacité de lecture.

Le but principal du restaurateur de notre temps étant de supprimer dans la mesure du possible les apports faits au cours des ans et de prolonger la vie de l'œuvre peinte par des traitements adéquats, il est donc évident que l'examen sous la fluorescence d'ultraviolet complété par un document photographique permet de porter un jugement sur l'état de conservation de l'œuvre peinte.

L'examen sous la fluorescence d'ultraviolet doit être complété par l'observation microscopique en fluorescence UV des microprélèvements provenant de la surface peinte à étudier.

#### *Technique*

- Deux ou quatre lampes à vapeur de mercure à surpression.
- Filtre 2E KODAK Wratten (aux environs de 420 nm) qui arrête l'UV ainsi que l'excès de bleu, devant l'objectif de l'appareil photographique.
- Film : ortho ou panchromatique.

#### 4. LA PHOTOGRAPHIE MICROSCOPIQUE EN FLUORESCENCE UV

L'observation et la photographie microscopique en fluorescence UV des microprélèvements inclus dans une résine polyestère, convenablement orientés afin qu'ils présentent en surface polie leur microstructure interne, permettent d'identifier certaines substances d'origine organique qui fluorescent éventuellement dans le domaine du spectre visible après excitation par une source lumineuse d'émission dans l'UV.

Elles permettent également de mieux distinguer la répartition des couches picturales ainsi que la densité des pigments utilisés à l'intérieur de chaque couche.

#### *Technique*

Plusieurs combinaisons de filtres d'excitation et de barrière pourraient être envisagées, par exemple les suivantes :

Filtre d'excitation	Filtre de barrière
III (UG 5) LEITZ (max à 365 nm) transmet assez de rouge	41 LEITZ  transmet tout le spectre visible
I (BG 12) LEITZ (max à 404.7 nm) absorbe complètement le rouge	53 LEITZ  transmet dans le spectre visible à partir de 530 nm

## 5. LES RAYONS INFRAROUGES (IR)

Les rayons infrarouges qui sont proches du spectre visible, mais eux-mêmes invisibles prolongent, à l'œil nu, les possibilités de l'examen, grâce aux techniques photographiques qui permettent l'enregistrement de toute information visuelle jusqu'à 900 nm environ. Grâce à ces radiations il devient possible d'explorer l'invisible en se basant sur le fait que certaines substances sont plus ou moins transparentes aux rayons infrarouges. En traversant facilement les vernis et certaines couches picturales de faible épaisseur les photographies obtenues sous l'infrarouge permettent d'étudier l'état de l'œuvre d'art en profondeur au-delà de la surface et de révéler parfois une étape ou une composition jusqu'ici imperceptible.

En vieillissant, des vernis colorés ou teintés forment une couche opaque qui empêche de percevoir des détails essentiels de l'œuvre. Il en est de même avec les vernis incolores qui jaunissent avec le temps.

La photographie IR permet de distinguer non seulement les détails situés dans les parties opaques de la surface, mais les inscriptions ou signatures recouvertes par les couches successives de vernis colorés.

Elle donne également accès à l'identification de certaines matières picturales qui présentent un comportement différent quant à l'absorption du rayonnement IR. C'est surtout à l'étude de la technologie et de l'architecture interne des peintures que les rayons IR rendent le plus de services.

En effet, en traversant les couches superficielles et particulièrement les bruns clairs, les jaunes et les rouges, la photographie IR offre une image de l'œuvre inachevée en cours d'élaboration ; il est bien évident que l'intérêt de

l'image obtenue dépend essentiellement du pouvoir de réflexion et d'absorption des pigments utilisés par l'artiste.

### 5a. Explication théorique du pouvoir de pénétration du rayonnement IR

Les couches picturales contiennent des grains de pigments dispersés dans un véhicule. Le seuil d'opacité d'une telle couche dépend de sa propriété d'absorber ou de diffracter la lumière. La pénétration de la lumière à travers une couche picturale dépend donc du pourcentage d'absorption et de diffraction de la lumière par les grains du pigment.

La diffraction du rayonnement dépend des dimensions des grains (plus la diffraction augmente plus les dimensions des grains sont faibles), du rapport du coefficient de réfraction du pigment et du véhicule dans lequel le pigment est dispersé. La diffraction est caractérisée par le coefficient de diffraction  $S$  (scattering). La diffraction multiple du rayonnement qui pénètre dans la couche picturale provoque le phénomène de la diffusion.

L'absorption du rayonnement lumineux est caractérisée par le coefficient d'absorption  $K$ . Le rayonnement qui a une longueur d'onde petite, diffuse plus en comparaison avec celui d'une grande longueur d'onde suivant la loi de Rayleigh.

### Présentation de la loi de Rayleigh

La lumière est un rayonnement électromagnétique ; la source lumineuse provoque un champ électrique et un champ magnétique qui changent avec le paramètre temps.

Supposons qu'un rayonnement lumineux d'une longueur d'onde déterminée (d'une fréquence déterminée  $\omega = 2\pi\nu = 2\pi \frac{c}{\lambda}$ ) tombe sur une molécule et qu'on se trouve dans un état stationnaire. Les électrons,  $e^-$ , de la molécule sont maintenus par le noyau ; leurs forces sont telles que leur mouvement peut être décrit par le mouvement d'un électron relié au noyau à l'aide d'un ressort, caractérisé par la constante  $m\omega_0^2$  ( $m$  : masse de l'électron,  $\omega_0$  : autofréquence de l'électron). Sous l'influence du champ électromagnétique l'équation du mouvement de l'électron est la suivante :

$$m \frac{\partial^2 x}{\partial t^2} = m\omega_0^2 + qE_x(t) \quad (1)$$

où  $q$  : charge de l'électron

$E_x(t)$  : intensité du champ électrique =  $E_0 \cos(\omega t)$ ,  $E_0$  : max. amplitude du champ.

Quand on atteint donc l'état stationnaire le mouvement  $x(t)$  est décrit par le mouvement d'un oscillateur harmonique d'une fréquence  $\omega$ .

$$\frac{\partial^2 x}{\partial t^2} = -\omega^2 x(t) \quad (2)$$

En remplaçant la première partie de l'équation (1) par (2) nous avons :

$$-m\omega^2x(t) = -m\omega_0^2x(t) + qE_x(t)$$

$$x(t) = \frac{qE_x(t)}{m(\omega_0^2 - \omega^2)} = \frac{qE_0\cos(\omega t)}{m(\omega_0^2 - \omega^2)}$$

Ce mouvement tel qu'il est décrit précédemment provoque un champ électromagnétique de la même fréquence que celle du rayonnement lumineux incident.

La valeur moyenne de la puissance P du rayonnement émis est :

$$P = \frac{2}{3} \cdot \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0c^3} \omega^4 \langle x^2 \rangle = \frac{2}{3} \cdot \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0c^3} \cdot \omega^4 \left[ \frac{-e}{m(\omega_0^2 - \omega^2)} \right]^2 \cdot \langle E^2x(t) \rangle$$

c : vitesse de la lumière

$\epsilon_0$  : constante diélectrique

$\langle \rangle$  : valeur moyenne

$\omega_0 \rangle \rangle \omega$

Nous observons donc que  $P \sim \frac{1}{\lambda^4} \sim \omega^4$

#### Technique

- Utilisation de lampes à filament de tungstène 3200° K
- Filtre 87 C ou 87 KODAK WRATTEN devant l'objectif de l'appareil photographique
- Film : Infrarouge KODAK 2481 (ESTAR Base)  
Infrarouge KODAK 4143 (ESTAR thick Base)

## 6. EXAMEN SOUS LA LUMINESCENCE INFRAROUGE

Les informations des documents photographiques enregistrées par réflexion du rayonnement infrarouge peuvent souvent être complétées par celles apportées lorsqu'on photographie la luminescence de la surface de l'œuvre peinte à étudier dans le domaine de l'invisible (760 nm-900 nm) après avoir illuminé cette même surface par un rayonnement monochromatique excitateur, d'une longueur d'onde égale à ~500 nanomètres, qui se situe à l'intérieur du spectre visible.

À l'aide de cette méthode, il devient possible d'identifier certains pigments de la même couleur qui présentent le même comportement physicochimique (coef. d'absorption, coef. de diffraction, épaisseur, étant les mêmes) à la photographie infrarouge réfléchie en se différenciant par leur pourcentage de luminescence.

Certaines matières picturales peuvent aussi être identifiées d'une manière directe et absolue du fait qu'elles sont caractérisées par un pourcentage

de luminescence élevé, comme p.ex. les pigments à base de Cd, ou certaines laques-pigments d'origine organique. Plusieurs détails difficilement discernables peuvent enfin se rendre lisibles aussi bien que certaines compositions intermédiaires d'une œuvre peinte, améliorant ainsi considérablement les capacités de recherche de l'historien d'art ou du restaurateur.

*Technique*

- Utilisation d'un rayonnement excitateur monochromatique produit par des lampes à filament de tungstène 3200° K filtrées avec un filtre CORNING 3966 (élimine tout rayonnement IR) et un filtre CORNING 9780.
- Filtre 87 C ou 87 KODAK WRATTEN devant l'objectif de l'appareil photographique.
- Film : Infrarouge KODAK 2481 (ESTAR Base)  
Infrarouge KODAK 4143 (ESTAR Thich Base)

## 7. LA RÉFLECTOGRAPHIE INFRAROUGE

Le rayonnement visible (400-760 nm) correspond aux limites de sensibilité de l'œil. De nouvelles approches permettent d'exploiter un plus large domaine du rayonnement électromagnétique par détection des infrarouges réfléchis par la matière picturale.

La pénétration et la réflexion du rayonnement à une certaine profondeur de la couche picturale dépendent des limites supérieures et inférieures des longueurs d'onde utilisées pour l'étude des peintures. Les techniques d'examen dans l'infrarouge nécessitent l'usage d'un filtre qui absorbe les longueurs d'onde inférieures à 760 nm, ce qui permet également de soustraire l'image visible de celle réfléchie par la matière sous-jacente.

La photographie et la réflectographie IR sont deux approches distinctes des peintures. Les émulsions chimiques étant insensibles aux rayonnements de longueur d'onde supérieure au micron (1  $\mu\text{m}$ ), la photographie n'est utilisée que pour la détection des domaines proches du visible (760 nm-1  $\mu\text{m}$ ) ; la réflectographie utilise un détecteur solide dont la limite de sensibilité se situe entre 2 et 2.5  $\mu\text{m}$  selon les constructeurs.

### *7a. Absorption et seuil d'opacité*

Lorsqu'un faisceau lumineux tombe sur la surface d'une peinture, une partie est renvoyée par l'interface air-liant selon les lois de la réflexion spéculaire. Le rayonnement qui pénètre subit par les pigments une diffusion multiple et une absorption plus ou moins grande.

Absorption et diffusion du rayonnement dépendent des paramètres physiques tels que : la nature du pigment, sa concentration volumique et l'épaisseur de la couche. Le vernis et le glaci ont un faible pouvoir d'absorption dans le visible et l'IR. La lumière incidente peut traverser une

couche picturale peu épaisse, se réfléchir ensuite sur une couche sous-jacente (préparation) et ressortir dans l'air. Dans ce cas on considère que la peinture ne « couvre » pas le fond sur lequel elle est appliquée. Le seuil d'opacité correspond à l'épaisseur maximale de matière permettant la lecture d'un dessin ou d'une composition sous-jacente. Au-dessus du seuil les rayons détectés ne sont plus réfléchis par la préparation.

La variation des seuils d'opacité des pigments avec leur concentration volumique et la longueur d'onde peut être mesurée expérimentalement par spectrométrie à l'aide d'une source monochromatique. Une zone ou une partie absorbante apparaît par contraste sur une surface claire car elle constitue une plage de « non réflexion » mise en évidence par le détecteur. C'est pourquoi, une composition sous-jacente claire n'est pas perceptible dans l'infrarouge car sa lisibilité dépend de l'écart entre son coefficient de réflexion et celui de la préparation.

Au fur et à mesure que la détection dans l'IR augmente, les seuils d'opacité des pigments accroissent jusqu'à des épaisseurs supérieures à celles rencontrées dans les couches picturales de certaines écoles de peinture. Les rayonnements de l'ordre de  $2\ \mu\text{m}$  traversent les couches de malachite d'une centaine de microns et, réfléchis par la préparation, peuvent mettre en évidence, par contraste, une composition sous-jacente. La malachite, comme l'azurite, possède un fort pouvoir d'absorption. Son faible seuil d'opacité s'oppose à la réflexion de la préparation ou à la mise en évidence d'une composition sous-jacente dans l'IR proche du visible décelable par photographie. Par contre, son seuil d'opacité présente, pour un rayonnement de  $2\ \mu\text{m}$  une valeur bien supérieure aux épaisseurs habituellement rencontrées dans les peintures.

#### *7b. Interprétation théorique (quelques notions fondamentales)*

Supposons qu'un rayonnement lumineux d'une longueur d'onde déterminée tombe sur une couche picturale d'une épaisseur  $X$  qui se situe au-dessus d'une préparation (background). Une partie du rayonnement incident se reflète sur la surface extérieure alors que le reste pénètre dans la couche picturale et est absorbé ou diffusé à l'intérieur de cette couche, jusqu'à ce qu'il atteigne la surface intermédiaire (l'interface) couche picturale - préparation où il se reflète de nouveau et suit la direction inverse vers l'extérieur. Une partie du rayonnement réfléchi se reflète encore à la surface extérieure provoquant ainsi le phénomène de la réflexion interne alors que le reste sort, devenant ainsi détectable.

Dans le cas présent nous pouvons faire appel à un modèle théorique simplifié qui tient compte de deux flux lumineux ; un premier qui se propage de haut en bas à l'intérieur de la couche picturale et un second qui se partage de bas en haut. Nous ne tenons en considération aucun flux qui se propage parallèlement à l'interface.

Le flux de direction de haut en bas s'affaiblit à cause du pourcentage dû à l'absorption  $Kjdx$  et à cause du pourcentage dû à la diffraction  $Sidx$ . De la même façon le flux de direction inverse s'affaiblit proportionnellement aux pourcentages correspondants  $Kjdx$  et  $Sjdx$ .

Nous devons ici ajouter l'augmentation de l'intensité de chaque flux qui est due au pourcentage de diffraction appartenant au flux inverse.

Nous avons donc :

$$\begin{aligned} dj &= - (S+K)jdx + Sidx \\ -di &= (S+K)idx + Sjdx \end{aligned}$$

Par l'intégration de ces équations différentielles nous obtenons les expressions qui décrivent la réflexion (réflectance) et la transmission (transmittance) à travers les couches picturales.

Le coefficient de réflexion respective  $R_{pb}$  d'une couche picturale d'une épaisseur  $X$  qui se situe au dessus d'une préparation caractérisée par un coefficient de réflexion  $R_b$  est donné par l'équation :

$$R_{pb} = \frac{1 - R_b(a - b \coth bSX)}{a - R_b + b \coth bSX}$$

où

$$\begin{aligned} a &= \frac{S + K}{S} = \frac{1}{2} \cdot \left( \frac{1}{R_\infty} + R_\infty \right) \\ b &= (a^2 - 1)^{1/2} = \frac{1}{2} \cdot \left( \frac{1}{R_\infty} - R_\infty \right) \end{aligned}$$

$R_\infty$  : coefficient de réflexion d'une couche d'épaisseur infiniment grande

$\coth$  : cos hyperbolique.

Un modèle théorique simplifié qui décrit le cas qui correspond au profil d'une œuvre peinte contient une couche picturale homogène d'une épaisseur  $X$  située au dessus de deux autres couches picturales (dont l'une peut être la préparation) qui présente deux réflectances différentes  $R_B < R_W$ . Si la réflectance respective est  $R_{pB}$  et  $R_{pW}$  nous pouvons définir le rapport - dit rapport de contraste - :

$$K = \frac{R_{pB}}{R_{pW}} \quad \text{comme :}$$

$$K = \frac{R_{pB}}{R_{pW}} = \frac{1 - R_B (a - b \coth bSX_D)}{1 - R_W (a - b \coth bSX_D)} \cdot \frac{a - R_W + b \coth bSX_D}{a - R_B + b \coth bSX_D}$$

La solution de cette équation si  $K$ ,  $R_B$ ,  $R_W$ ,  $R$  et  $S$  sont connus fournit le seuil d'opacité  $X_D$ .

Un dessin sous-jacent de réflectance  $R_B$  peut donc être mis en évidence s'il a été peint sur une couche de réflectance  $R_W$ , lui même étant situé sous

une couche picturale d'une épaisseur  $X$  caractérisée par des valeurs connues de  $R$  et  $S$  à l'aide d'un système de détection capable de séparer les deux réflectances différentes dont le rapport est  $K = R_{pB}/R_{pW}$  quand  $X \ll X_D$ .

### 7c. Appareillage

La sensibilité des émulsions photographiques ne dépassant pas le micron, des recherches ont été entreprises avec des détecteurs PbS solides afin de visualiser les images réfléchies dans l'infrarouge.

L'équipement de la réflectographie IR comprend la caméra IR et son unité de contrôle ainsi qu'un moniteur N et B de haute résolution où l'image IR s'affiche pour l'observation (examen) finale. Le détecteur de la caméra IR est composé de sulfure de plomb (PbS) sensible aux rayonnements du proche IR, jusqu'à 2  $\mu\text{m}$  environ, une région du spectre où les couches picturales les plus opaques (azurite, malachite) deviennent transparentes, étant donné leur faible épaisseur. À l'intérieur de la caméra une image génère un flux d'électrons — à partir d'un détecteur — de densité proportionnelle à son intensité photonique ; le signal s'affiche sur l'écran fluorescent du moniteur suivant une graduation lumineuse liée à la réflexion des pigments.

L'emploi d'un magnétoscope permet d'enregistrer les documents à des fins de recherche.

La qualité de l'image peut être améliorée par le réglage de l'ouverture du diaphragme de l'objectif et par la tension du signal électrique. Le contraste et la luminosité de l'image sont ajustés à partir du moniteur.

## 8. TRAITEMENT DE L'IMAGE PAR ORDINATEUR

Le but du couplage caméra IR-ordinateur envisagé, vise à l'exploitation au maximum des possibilités offertes par l'utilisation de la réflectographie IR.

Par conséquent on constate que le mariage de l'équipement déjà utilisé pour la réflectographie IR avec un ordinateur peut aider davantage à la compréhension des informations déjà acquises. Il est toutefois nécessaire de convertir l'image analogique en signal numérique afin qu'on puisse intervenir efficacement sur les divers éléments-composants de l'image présentée à l'écran du moniteur.

### *Équipement nécessaire*

- Caméra IR avec des filtres IR adéquats et son unité de contrôle
- Convertisseur A/N
- Interface du type IEEE 488 GPIB
- Microprocesseur
- Moniteur capable de recevoir 8 couleurs (au moins).

À l'intérieur de la caméra IR l'image optique génère à partir d'un détecteur un flux d'électrons de densité proportionnelle à son intensité photonique. Le signal correspondant s'affiche sur un écran fluorescent d'un moniteur de haute résolution suivant une graduation lumineuse liée à la réflexion des pigments.

Un convertisseur A/N transforme ensuite le degré de gris de chaque point de l'image en un nombre compris entre 0 et 225. L'image ainsi numérisée est traitée par l'ordinateur et affichée sur l'écran d'un moniteur comportant 256 lignes horizontales et 512 colonnes verticales (131.072 points).

Nous affectons par programme une couleur à chaque domaine d'intensité lumineuse (niveaux de gris) de l'image analogique selon le tableau suivant :

0 - 31	couleur	noire
32 - 63	#	rouge
64 - 95	#	verte
96 - 127	#	jaune
128 - 159	#	bleue
160 - 191	#	magenta
192 - 223	#	cyan
224 - 255	#	blanche

Ces couleurs ne correspondent évidemment pas aux couleurs naturelles (réelles) mais à des différentes plages de niveaux de gris. Cet ensemble de points sert à reconstituer l'image ainsi traitée qui manque incontestablement de détails.

Une opération qui est souvent entreprise consiste à enregistrer l'image visible (en mettant devant l'objectif de la caméra un filtre qui absorbe complètement l'IR) et ensuite l'image IR suivant la manière classique d'opération. L'image IR est considérée comme étant la somme de deux images distinctes ; une première qui est souvent confondue avec l'image visible et une seconde contenant des informations qui échappent à l'œil nu. Cette dernière, il est absolument nécessaire de la mettre en évidence.

La séparation de ces deux images est faite par ordinateur. Les meilleurs résultats sont obtenus dans le cas où la luminosité (les niveaux de gris) de l'image visible se trouve proche de celle de l'image IR ; ceci devient possible après calibrage adéquat de la luminosité et du contraste sur l'unité de contrôle de la caméra.

Une autre opération qui pourrait être entreprise consisterait d'abord à rendre les images visibles et IR, images à trois dimensions et afficher ensuite leur « différence » à l'aide de l'ordinateur. La troisième dimension pourrait correspondre aux fluctuations de l'intensité du signal, de l'indice de réfraction etc.

Une troisième possibilité opérationnelle permettrait d'exploiter tous les renseignements qui sont déjà enregistrés et compris dans l'image IR, en choisissant d'une manière adéquate des plages plus ou moins restreintes de niveaux de gris correspondant à un dessin sous-jacent p. ex., dont la luminosité semble rester uniforme partout.

En éliminant les autres niveaux de gris, le dessin se met donc en évidence.

#### BIBLIOGRAPHIE

1. HOURS-MIÉDAN, M., 1957, *À la découverte de la peinture*, Arts et Métiers Graphiques, Paris.
2. HOURS, M., 1964, *Les secrets des chefs-d'œuvre*, Robert Laffont, Paris.
3. HOURS, M., 1976, *Analyse scientifique et conservation des peintures*, Office du Livre, Fribourg.
4. VAN ASPEREN DE BOER, J.R.J., 1970, *Infrared Reflectography*, Thesis, Amsterdam.
5. LAHANNIER, C. et DE COUËSSIN, C., *La réflectographie infrarouge appliquée à l'étude des peintures. Journées d'études 17-18/10/1983. Comptes rendus*, Athènes.
6. VALCANOVER, F., NEPI SCIRÈ, G., ZORKI, R., SPEZZANI, P., BONNARIGO, A., PUGLISI, A. et BONATTO, P.L., 1984, *Riflettoscopia all'infrarosso computerizzata*, Ministero per i beni culturali e ambientali, Venezia.