

7èmes ENTRETIENS PHYSIQUE - INDUSTRIE  
Mercredi 22 octobre 2003  
Paris Expo - Porte de Versailles  
Hall 7, Niveau 3, Salle Vega

**LA COULEUR**  
**Origines, Perception et Implications**

**Communications par affiches**

Nicolas RIVIER, Université Louis Pasteur, LDFC, Strasbourg  
Les couleurs des films de savon

Evelyne DARQUE-CERETTI\*\*, Doriane HELARY\*\*, Marc AUCOUTURIER\*  
\*\* Ecole des Mines de Paris/CEMEF, UMR CNRS 7635, BP 207, Sophia-Antipolis, France  
\* Centre de Recherche et de Restauration des Musées de France, UMR CNRS 171, Paris, France  
Couleur et physico-chimie : étude de lustres dorés anciens islamiques et modernes espagnols

Jean-Jacques EZRATI & Mady ELIAS  
Centre de recherche et restauration des musées de France-C2RMF, UMR 171 du CNRS  
Les couleurs du "Livre d'Heures d'Etienne Chevalier" de Jean Fouquet

L. GHANNAM<sup>1,2,\*</sup>, L.BILLON<sup>2</sup>, M. BACOU<sup>1</sup>, H. GARAY<sup>1</sup> et J. FRANCOIS<sup>2</sup>  
<sup>1</sup> Centre de Matériaux de Grande Diffusion, Ecole de Mines d'Alès, Pau, <sup>2</sup> Laboratoire de Physico-Chimie des Polymères, UMR CNRS 5067, Hélioparc Pau-Pyrénées, Pau  
Mise au point et formulation de pigments organo-minéraux innovants en terme d'aspect visuel

Karine PINEL  
Université de Toulouse II, SEPIIA  
Art du filtre dynamique : Textile composite et phénomènes colorés

Lionel SIMONOT, Université de Poitiers et Mady ELIAS  
Laboratoire d'Optique du Solide, UMR 7601 CNRS, Université P. & M. Curie, Paris  
Centre de recherche et restauration des musées de France-C2RMF, UMR 171 du CNRS, Paris  
Modélisation de la diffusion de la lumière dans des glacis et vérification expérimentale

E. Gaudry<sup>1</sup>, A. Kiratisin<sup>1</sup>, Ph. Saintavit<sup>1</sup>, Ch. Brouder<sup>1</sup>, F. Mauri<sup>1</sup>, A. Ramos<sup>1</sup>, A. Rogalev<sup>2</sup>, J. Goulon<sup>2</sup>  
<sup>1</sup> Laboratoire de Minéralogie-Cristallographie, UMR 7590, Université P. & M. Curie, Paris  
<sup>2</sup> European Synchrotron Radiation Facility, Grenoble  
Couleur des rubis ( $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3\text{:Cr}^{3+}$ ) et saphirs ( $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3\text{:Fe}^{3+}$ ): relaxation locale autour des impuretés  $\text{Cr}^{3+}$  et  $\text{Fe}^{3+}$  sondée par absorption de rayons X

Jean-Paul VIGNERON, Virginie LOUSSE, Facultés Universitaires Notre Dame de la Paix, Namur  
Calcul des spectres de réflectance des surfaces diélectriques et métalliques structurées à trois dimensions

## Les couleurs des films de savon

Nicolas RIVIER

*TP de physique, DEUG M1AS 1.re ann.e,  
Universit. Louis Pasteur, Strasbourg*

Les films de savon sont des structures m.tastables. L'eau savonneuse maintenue entre les deux couches de mol.cules de savon est drain.e par la gravit., ce qui donne au film une .paisseur variable: Le film suspendu est plus mince en haut, et son .paisseur  $e$  diminue au cours du temps. Comme cette .paisseur est de l'ordre de la longueur de la lumi.re pour les films les plus minces, la lumi.re blanche r.fl.chie a des franges de couleurs. Ces couleurs peuvent aussi .tre vues, mais moins intens.ment, par transmission. Newton a, le premier, .tudi. le ph.nom.ne.

Les couleurs sont produites par interf.rence des ondes r.fl.chies par les deux interfaces du film de savon: La lumi.re est r.fl.chie par l'eau . la premi.re interface en subissant un d.phasage de  $\pi$ , ou transmise dans l'eau et r.fl.chie par l'air . la seconde interface, sans d.phasage mais avec un chemin suppl.mentaire de  $2e$  dans l'eau. Une .paisseur du film donn.e filtre donc les longueurs d'onde  $(s + 1/2)\lambda = 2ne$ , donnant une interf.rence constructive et produit, en .mission, des couleurs caract.ristiques ( $s = 0, 1, \dots$ , et  $n = 4/3$  est l'indice de r.fraction de l'eau de savon). Le film est noir, pour une faible .paisseur, juste avant sa rupture. Puis, en augmentant l'.paisseur, blanc, jaune-brun, deux arc-en-ciel, puis une alternance magenta-cyan (-jaune), enfin un blanc d'ordre sup.rieur (blanc iris.).

Pour de la lumi.re monochromatique, on obtient des franges claires et sombres en fonction de l'.paisseur du film. Les franges sombres (d'intensit.  $I < 3 I_{\max}/4$ , approximativement) sont deux fois plus larges que les franges color.es (d'intensit.  $I < 3 I_{\max}/4$ ). En combinant les longueurs d'onde de la lumi.re blanche visible en ordonn.e sur un diagramme en fonction de l'.paisseur du film, on obtient des bandes brillantes de plus en plus obliques. Au fur et . mesure que le film devient plus .pais, on aura donc successivement, z.ro, une, deux, puis trois bandes brillantes, correspondant, respectivement au film noir, aux couleurs de l'arc-en-ciel (du violet au rouge), aux couleurs en soustraction magenta - cyan (-jaune), puis au blanc d'ordre sup.rieur. Il est int.ressant d'exhiber ces couleurs sur un .cran d'ordinateur, surtout s'il est possible d'.teindre deux des trois chromophores. On constate que la largeur spectrale des chromophores (surtout le rouge) utilis.s par diff.rent fabricants varie .norm.ment, et que la qualit. de la couleur n'augmente pas n.cessairement avec cette largeur.

## Couleur et physico-chimie : étude de lustres dorés anciens islamiques et modernes espagnols

Evelyne Darque-Ceretti\*\*, Doriane Hélyary\*\*, Marc Aucouturier\*

\*\* Ecole des Mines de Paris/CEMEF, UMR CNRS 7635, BP 207, Sophia-Antipolis, France.

\* Centre de Recherche et de Restauration des Musées de France, UMR CNRS 171, Paris, France.

Cette étude a pour but la caractérisation de la morphologie, de la composition chimique et de la couleur de différents décors de lustres dorés déposés sur des céramiques glaçurées originaires de Fustat (Egypte) et datés du IXème-XIème siècle, et la comparaison avec des reconstitutions élaborées par un artisan espagnol. Les méthodes de caractérisation employées sont : la microscopie optique, les microscopies électroniques à balayage (MEB et MEB-HR) et en transmission (MET), la spectrométrie de rétrodiffusion Rutherford (RBS), et la spectro-photo-colorimétrie.

Les résultats font apparaître les conclusions suivantes :

- Les lustres sont constitués de nanoparticules et d'agrégats d'Ag et de Cu dispersés dans une matrice vitreuse - Il peut exister un recouvrement des particules par un verre silicaté
- Le rapport Ag/Cu ne suffit pas à définir la couleur. La taille et la distribution des particules jouent un rôle important sur les propriétés spectrales.

Ce travail fait partie de la thèse de Doriane Hélyary, soutenue à l'Ecole des Mines de Paris, le 27 mai 2003.

---

### Les couleurs du "Livre d'Heures d'Etienne Chevalier" de Jean Fouquet

Jean-Jacques Ezrati & Mady Elias

Centre de recherche et restauration des musées de France-C2RMF  
UMR 171 du CNRS

Ce poster présente les mesures et les analyses qui en découlent, réalisées sur le terrain, à l'aide de la méthode et du gonio-spectro-photocolorimètre mis au point au C2RMF.

Le Livre d'Heures d'Etienne Chevalier, manuscrit du XV<sup>e</sup> siècle, se présente aujourd'hui sous la forme de 47 feuillets individuels. Le Musée Condé à Chantilly en possède 40 présentés 4 par 4 sous cadres. Cet ensemble constitue la pièce maîtresse d'une exposition consacrée à Jean Fouquet (1415-1480), ce printemps, parallèlement au musée Condé et à la Bibliothèque National de France. Pour cette occasion 4 de ces miniatures ont fait l'objet d'une restauration suivi d'une étude sur les couleurs utilisées par l'artiste. Cette dernière tâche a été confiée au groupe " Physique de la couleur " du C2RMF. L'étude spectrophotocolorimétrique, réalisée de façon **non destructive et sans contact** direct avec les œuvres, a permis d'identifier, in situ, la nature des différents "chromophores". A partir des mesures il nous a été possible de chiffrer et de représenter la palette de l'artiste, ce qui peut être un apport important pour la connaissance de l'œuvre, en particulier, et de l'histoire de l'art, en général.

# Mise au point et formulation de pigments organo-minéraux innovants en terme d'aspect visuel

**L. GHANNAM<sup>1,2,\*</sup>, L.BILLON<sup>2</sup>, M. BACOU<sup>1</sup>, H. GARAY<sup>1</sup>, et J. FRANCOIS<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Centre de Matériaux de Grande Diffusion, Ecole de Mines d'Alès- Pau

<sup>2</sup> Laboratoire de Physico-Chimie des Polymères, UMR CNRS 5067

Hélioparc Pau-Pyrénées, 2 avenue Pierre Angot

64053 PAU CEDEX 9

\* [leila.ghannam@ema.fr](mailto:leila.ghannam@ema.fr)

De nombreux produits sont actuellement disponibles afin de créer des effets spéciaux. Il s'agit de la combinaison entre la nature de particules constituant ces produits, leur forme et leur taille. De nombreux secteurs industriels ayant attiré aux cosmétiques, aux fibres textile ou aux peintures, sont à la recherche de pigments ayant des effets visuels et tactiles toujours plus innovants, ceci afin de satisfaire la demande de consommateurs exigeants.

C'est dans ce contexte très concurrentiel que s'inscrit cette étude qui a pour objectif la synthèse de matériaux hybrides organiques-inorganiques ayant des effets particuliers non seulement d'un point de vue visuel (couleur, nuances, etc.) mais aussi tactile (toucher). Ces matériaux particuliers jouent sur l'association des propriétés morpho-granulométriques et physico-chimique de trois composés minéral/ polymère/ colorant.

La recherche des effets optiques consiste dans une première partie en l'adsorption d'une chaîne polymère incorporant un colorant au sein d'une structure minérale en feuillets (phyllosilicate). Pour y parvenir, un amorceur de polymérisation a été au préalable adsorbé sur les feuillets du minéral. A partir de la surface de ces derniers, une polymérisation radicalaire contrôlée d'un composé acrylique a été mise en œuvre. La caractérisation des divers produits obtenus au cours de ces premières expériences a été effectuée selon différentes techniques (analyse thermogravimétrique, spectroscopie de photoélectrons X, spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier, résonance magnétique nucléaire, diffraction des rayons X) : le produit obtenu avant incorporation du colorant est ainsi conforme à nos espérances, et présente toujours une structure lamellaire, indispensable pour l'obtention des effets optiques recherchés. La poursuite de ce travail concernera le « greffage » d'un colorant sur les chaînes polymères précédemment fixées sur les feuillets du phyllosilicate, responsable de la teinte du produit. L'aspect visuel du pigment ainsi obtenu (composite minéral/polymère/colorant) sera enfin caractérisé par des techniques spectrocromométriques et spectrogoniométriques.

## Couleur des rubis ( $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3\text{:Cr}^{3+}$ ) et saphirs ( $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3\text{:Fe}^{3+}$ ): relaxation locale autour des impuretés $\text{Cr}^{3+}$ et $\text{Fe}^{3+}$ sondée par absorption de rayons X

E. Gaudry<sup>1</sup>, A. Kiratisin<sup>1</sup>, Ph. Saintavit<sup>1</sup>, Ch. Brouder<sup>1</sup>,  
F. Mauri<sup>1</sup>, A. Ramos<sup>1</sup>, A. Rogalev<sup>2</sup>, J. Goulon<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Laboratoire de Minéralogie-Cristallographie, UMR 7590,  
Université Pierre et Marie Curie, case 115, 4 place Jussieu, F-75252 Paris Cedex 05, FRANCE  
<sup>2</sup> European Synchrotron Radiation Facility, BP 220, F-38043 Grenoble Cedex, FRANCE

Le corindon pur, de formule  $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$  est un minéral incolore. Dès que des ions paramagnétiques sont présents en impureté dans cette matrice, ce minéral devient coloré. Le corindon dopé avec du chrome est rouge, il est appelé rubis ( $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3\text{:Cr}^{3+}$ ). Le corindon dopé avec du fer est jaune, il est rose s'il est dopé avec du titane. Le saphir bleu contient à la fois du fer et du titane. La couleur est généralement interprétée dans le cadre de la théorie du champ cristallin. Elle doit donc s'expliquer par un champ cristallin spécifique autour de ces ions colorants, correspondant dans chaque cas à une structure locale précise. Ainsi, le champ cristallin du rubis rouge ( $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3\text{:Cr}^{3+}$ ) est supérieur à celui de l'émeraude verte ( $\text{Be}_3\text{Al}_2\text{Si}_6\text{O}_{18}\text{:Cr}^{3+}$ ), il serait lié à une liaison Cr-O plus faible dans le rubis que dans l'émeraude [1]. De même, une liaison Cr-O plus longue dans l'eskolaïte ( $\text{Cr}_2\text{O}_3$ ) que dans le rubis pourrait expliquer la différence de couleur entre ces deux composés [2]. Pour vérifier ces arguments, la détermination de la structure locale autour des impuretés dans le corindon est essentielle.

La détermination précise des distances M-O et M-Al est difficile à obtenir de l'analyse EXAFS (Extended X-ray Absorption Fine Structure), à cause du trop grand nombre de paramètres à ajuster. C'est pourquoi on a utilisé le signal dichroïque au seuil K du fer et du chrome dans  $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3\text{:Cr}^{3+}$  et  $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3\text{:Fe}^{3+}$  pour déterminer la structure locale autour de l'impureté. Ces données expérimentales sont comparées à des résultats de calculs *ab initio* de minimisation d'énergie.

Cette étude révèle que l'introduction d'un ion en impureté dans la structure  $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$  conduit à des relaxations très locales. Les atomes d'oxygène dans la sphère de coordination relaxent vers un arrangement similaire à celui autour de M dans  $\text{M}_2\text{O}_3$  (M = Fe, Cr). Une partie de ces résultats est publiée dans *Phys. Rev. B*, **67**, 094108 (2003).

[1] K Nassau *The Physics and Chemistry of Color*  
Wiley Interscience, 1983

[2] R.G. Burns *Mineralogical Applications of Cristal Field Theory*  
Cambridge topics in Mineral Physics and Chemistry  
Cambridge University Press, 2nd edition, 1993