



**HAL**  
open science

# Implication de la concentration volumique pigmentaire dans l'étude de la pulvérisation des couches picturales mates : approche expérimentale et études de cas

Gabriel Bernard

## ► To cite this version:

Gabriel Bernard. Implication de la concentration volumique pigmentaire dans l'étude de la pulvérisation des couches picturales mates : approche expérimentale et études de cas. Art et histoire de l'art. 2017. dumas-01700804

**HAL Id: dumas-01700804**

**<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-01700804>**

Submitted on 5 Feb 2018

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

**IMPLICATION DE LA CONCENTRATION VOLUMIQUE PIGMENTAIRE DANS L'ÉTUDE DE LA  
PULVÉRULENCE DES COUCHES PICTURALES MATES**

**- approche expérimentale et études de cas -**

**par Gabriel BERNARD**

n° d'étudiant : 11331124

sous la direction de Mme Aurélie NICOLAUS



**Année 2016-2017 - 2<sup>e</sup> session  
UE 0395 M210**

Couverture : *ANT 76, Grande anthropophagie bleue, Hommage à Tennessee Williams* (1960), Yves Klein (1928 – 1962)

Pigment pur et résine synthétique sur papier marouflé sur toile - 275 x 407 cm

Numéro d'inventaire : AM 2000-154, Centre Pompidou, MNAM-CCI, Paris

Crédit photographique : GB



Gabriel BERNARD (n° étudiant : 11331124)  
Mémoire de Master 2 sous la direction de Mme Aurélie NICOLAUS  
134 pages Mémoire / 35 pages Annexes

Encadrement du protocole expérimentale et des  
mesures instrumentales :

Mauro RAJTERI, INRIM  
Tiziana CAVALERI, CCR  
Marine PAGE, C2RMF

Encadrement scientifique :

Marine PAGE, C2RMF  
Clotilde BOUST, C2RMF

**IMPLICATION DE LA CONCENTRATION VOLUMIQUE PIGMENTAIRE DANS L'ÉTUDE DE LA  
PULVÉRULENCE DES COUCHES PICTURALES MATES  
- approche expérimentale et études de cas -**

Rapporteurs : Mme Aurélie NICOLAUS et M. William WHITNEY

**Mot-clés** : Pulvérulence, peinture mate, concentration volumique pigmentaire, *International Klein Blue*, micro-topographie, vision haptique.

**Key words** : Powdery, matte paint, pigment volume concentration pigment, *International Klein Blue*, 3D-micro-topography, haptic vision.

Année 2016-2017 - 2<sup>e</sup> session

UE 0395 M210

## Résumé

L'objet de ce mémoire trouve ses racines dans les recherches sur l'*International Klein Blue*, couleur chère à l'artiste Yves Klein (1928 – 1962). Elle se caractérise par une importante quantité de pigment bleu outremer dispersé dans un liant synthétique selon un procédé bien précis. Après une série de reconstitutions à partir des sources écrites et de témoignages oraux, nous avons souhaité élargir notre sujet de recherche à la quantification de la pulvérulence des couches picturales mates, problème récurrent dans certaines œuvres modernes et contemporaines.

L'analyse de la bibliographie nous a permis d'identifier certaines lacunes dans la méthodologie d'expérimentation, qui ont été mises à profit pour concevoir notre propre protocole. Des instruments de mesure sans contact ont servi à observer des éprouvettes réalisées avec des concentrations volumiques pigmentaires variables, mises en œuvre à partir d'un pigment, le bleu outremer et deux liants fréquents dans la production artistique du XX<sup>e</sup> siècle. Les résultats sont en cours de recoupement. Toutefois l'expérimentation nous a beaucoup appris et nos connaissances acquises ont été confrontées à l'étude de deux cas concrets de pulvérulence sur des œuvres d'Art Moderne. La discussion de ce travail réserve une large place au faire du conservateur-restaurateur lorsqu'il est face à une altération de cette nature.

**Mots-clés :** Pulvérulence, peinture mate, concentration volumique pigmentaire, *International Klein Blue*, micro-topographie, vision haptique.

## **Abstract**

This paper concerns the researches about the International Klein Blue, colour created by the artist Yves Klein from the blending of a pigment, the blue ultramarine and the vinylic binder according to a specific process. Our subject treats about the influence of the pigment volume concentration on the degree of powdery of matte paints in the 20<sup>th</sup> century works of art.

After an analysis of the scientific literature, we have identified the lacks of methodology and we have proposed our own experimental protocol. The pigment volume concentration of two systems pigment-binder has been measured with non-contact instruments in order to determine the threshold of powdery in matte coatings.

The results are in process of being analyzed. Our experimentation is rich in the sensitive and methodological understandings. They are confronted Henri Matisse and Nicolas de Staël's paintings.

The last part deals with the practice of a painting conservator from an axiological and from an ontological point of view.

**Key words :** Powdery, matte paint, pigment volume concentration pigment, *International Klein Blue*, 3D-micro-topography, haptic vision.

## Remerciements

Un cycle de sept années dont quatre de formation universitaire se termine avec ce travail et je n'y serais pas parvenu sans l'aide et le soutien de nombreuses personnes.

Je remercie d'abord mes enseignants Mmes Aurélie Nicolaus, Claire Bételu, Aurélia Chevalier et Claude Laroque, MM. William Whitney et Thierry Lalot ainsi que toutes les personnes qui m'ont accueilli dans leurs ateliers lors des stages, au premier rang desquelles Mme Marie-Noëlle Laurent. Je vous suis extrêmement reconnaissant pour votre transmission des savoirs, des pratiques et des réflexions liés à mon futur métier.

Je remercie les personnes qui m'ont permis de développer mes compétences en dessin et en peinture M. Laurent Okroglic, M. Patrice de Pracontal et Sig. Salvatore Zito.

J'ai effectué mon stage de 2<sup>e</sup> année de master au *Centro di Restauro e Conservazione della Venaria Reale* en Italie. J'ai été accueilli avec beaucoup de bienveillance. Je vous remercie infiniment de la confiance dont vous m'avez témoigné et je mesure aujourd'hui la chance que j'ai eu de pouvoir travailler à vos côtés. Mes pensées vont Dott.esse Bernadette Ventura, Paola Buscaglia et Alessandra Bassi ainsi qu'à Alessandro Gatti du laboratoire *tela e tavole* mais également à Roberta Genta, de l'atelier textile et Tiziana Cavalieri du laboratoire scientifique, qui m'a soutenu dans toutes les expérimentations et mesures scientifiques. J'envoie une pensée amicale à Fatmir et aux étudiants ou jeunes diplômés qui m'ont aidé à m'intégrer au sein du CCR, Marta, Francesca, Martina, Vito et Sarà. Je salue la disponibilité des chercheurs de l'INRIM, Mauro Rajteri, Lapo Lolli, Marco Pisani pour le temps qu'ils ont consacré à mon projet.

J'ai pu compter tout au long de mes recherches sur le bleu Klein sur l'appui constant de Mme Clotilde Boust, M. Jérôme Rumolo, Mme Marine Page et M. Christian David du C2RMF. Je remercie également Mmes Cécile des Cloizeaux et Claire Bergeaud, restauratrices, M. Jacques Hourrière, restaurateur et Mmes Sophie Bernard et Estelle Favre-Taylaz du Musée de Grenoble pour leur disponibilité dans le cadre de l'étude des dossiers de restauration.

Ce fut un grande joie de partager quatre années (2013-2017) avec mes camarades de la promotion « Paul Philippot » que je remercie pour leurs discussions enflammées et leur bonne humeur : Adélie, Lisa-Charlotte, Marie-Alix, Hortense, Gabrielle, Lucie, Lola, Léa, Marine, Crystal, Giulia, Jaejeong, Jérémie et Matthias. Pussions-nous continuer à maintenir cette complicité dans le monde professionnel.... Je n'oublie pas bien sûr Mme Florence Laruelle pour tous les petits moments de papotage qui sont autant de souvenirs d'échanges de bons plans d'exposition !

Merci à Jean-Louis et Sylvain pour nos échanges artistiques et nos discussions : vive les e-motifs !!!

Reprendre des études passé trente ans n'est pas chose facile et je remercie finalement mes amis pour leur soutien et mes parents à qui je dédie ce mémoire.



## Table des matières

Résumé.....	2
Abstract.....	3
Remerciements.....	4
Table des matières.....	6
Tables des illustrations.....	9
Table des abréviations.....	12
Avant-propos.....	13
Introduction.....	14
1 <sup>e</sup> partie : ressources bibliographiques du phénomène de pulvérulence.....	21
I) A.1. Définition de la concentration volumique pigmentaire.....	22
I) A.2. Concentration volumique pigmentaire et caractéristiques des éléments constitutifs d'une couche picturale.....	23
I) A.2.1. Liant de polyacétate de vinyle (PVAc).....	24
I) A.2.2. Liant sous forme d'émulsion acrylique.....	27
I) A.2.3. Pigments.....	28
I) A.3. Concentration volumique pigmentaire et formation d'un feuil.....	29
I) A.4. Séchage d'un feuil suite à l'application de la couleur.....	30
I) A.5. Concentration volumique pigmentaire et durabilité du feuil.....	31
I) A.6. Concentration volumique pigmentaire et aspect de surface.....	33
I) B.1. En peinture.....	38
I) B.1.1. Évaluation de la compatibilité des matériaux.....	38
I) B.1.2. Mise en œuvre de nouveaux procédés d'application.....	39
I) B.1.3. Transfert de technologies de nouveaux types d'examens en direction des biens culturels.....	41
I) B.2. En sculpture monumentale.....	43
I) B.3. Les arts graphiques.....	44
2 <sup>e</sup> partie : expérimentations.....	47
II) A.1. Choix des caractéristiques des éprouvettes.....	47
II) A.1.1. Typologie de la pulvérulence : 1 <sup>e</sup> série d'expérimentation.....	47
II) A.1.2. Quantification du degré de pulvérulence suivant un seul paramètre : 2 <sup>e</sup> série d'expérimentation.....	48
II) B.1. Outils.....	50

II) B.2. Préparation du support.....	51
II) B.3. Préparation des couleurs.....	52
II) B.3.1. Préparation du liant vinylique.....	52
II) B.3.2. Choix du liant acrylique.....	53
II) B.3.3. Choix des pigments.....	53
II) B.3.4. Prise d'huile.....	54
II) B.3.5. Empâtage et broyage des couleurs.....	57
II) C.1. Préparation des éprouvettes de la 1 <sup>e</sup> série.....	60
II) C.2. Préparation des éprouvettes de la 2 <sup>e</sup> série.....	63
II) C. 3. Compte-rendu de séance : 26 janvier 2017 – liant acrylique : série 3A1 → 3A9. .66	
II) C.4. Compte-rendu de séance : 27 et 31 janvier 2017 – Liant vinylique : série 3PP1 → 3PP9.....	68
II) D.1. Les mesures de la série 1.....	70
II) D.2. Les mesures de la série 2.....	70
II) D.2.1. Goniophotomètre.....	70
II) D.2.2. Micro-topographie.....	73
II) D.2.3. Microscopie à force atomique.....	76
II) E.1. Résultats des méthodes instrumentales.....	77
II) E.1.1 Résultats des mesures sur la 1 <sup>e</sup> série : typologie.....	77
II) E.1.2. Résultats sur la 2 <sup>e</sup> série : détection du seuil de la concentration volumique pigmentaire critique.....	79
II) E.2. Résultats sensoriels et visuels.....	87
3 <sup>e</sup> partie : interprétation.....	90
III) A.1. Limites de notre protocole.....	91
III) A.2. Limites de l'approche analytique.....	92
III) B.1. Prise en compte d'une approche systémique.....	93
III) B.2. Développement d'une vision haptique comme nouvel outil de diagnostic.....	95
III) C.1. <i>Sicile, vue d'Agrigente</i> de Nicolas de Staël (1914 - 1955).....	99
III) C.2. <i>Intérieur aux aubergines</i> d'Henri Matisse (1869 – 1954).....	104
III) C.3. Comparaison des deux cas.....	109
III) D.1. Axiologie de la pulvérulence.....	111
III) D.2 Ontologie de la pulvérulence et divergences des regards des protagonistes.....	113
Conclusion.....	116
Exercice d'épistémologie.....	119
Bibliographie.....	129
Webographie.....	134
Annexes.....	136

Ce document est sous licence Creative Commons



Attribution-Non Commercial-No Derivatives 4.0 International (CC BY-NC-ND 4.0)

## Tables des illustrations

Illustration 1: Formule chimique du PVAc, d'après cours Chimie des polymères, Pr T. Lalot.....	24
Illustration 2: Schéma représentant la déformation mécanique d'un polymère amorphe en fonction de la température, d'après cours de chimie des polymères du Pr. T. Lalot – Université Paris 1.....	25
Illustration 3: Comportement mécanique d'un polymère amorphe (Déformation en fonction de la température) en présence de plastifiant qui abaisse artificiellement la température de transition vitreuse (flèche rouge).....	26
Illustration 4: Schéma détaillant la composition et l'organisation d'une émulsion acrylique (d'après Pr. T. Lalot).....	27
Illustration 5: Graphe du pourcentage de réflexion en fonction de la CVP pour le système bleu outremer-liants vinyliques (d'après Feller & Kunz, 1981).....	35
Illustration 6: Fac simulé de l'enveloppe Soleau n° 63471, mai 1960 - J.-Y. MOCK.....	49
Illustration 7: Découpe des disques, support des éprouvettes (stratigraphie de papier collé sur toile) - Crédits photo : GB.....	51
Illustration 8: Papier collé sur toile, tendue sur bâti Rigamonti en cours de séchage - Crédits photo : GB.....	51
Illustration 9: Vision au microscope électronique à balayage d'un échantillon préparé à partir de bleu outremer, très peu lié au PVAc. Les tailles des grains de pigment sont d'environ 2 à 3 µm et de forme anguleuse.....	54
Illustration 10: Échantillons de la 1e série. De gauche à droite par colonne : paramètres Embu, Concentration Volumique Pigmentaire, Nettoyage et Vieillessement PVAc non plastifié et plastifié.....	62
Illustration 11: Échantillons de la 2e série. En haut à base de liant acrylique, en bas liant vinylique. On peut voir la différence de saturation du bleu outremer en fonction de la concentration en liant (croissante de droite à gauche) – Crédits Photo : Laboratorio Immagini, Centro di Conservazione e Restauro della Venaria Reale.....	65
Illustration 12: Vue latérale de l'instrument avec ces différents composants : hémisphère, lampe halogène pour la lumière incidente, switch des fibres, spectromètre multicanal - Crédits photo : INRIM.....	71
Illustration 13: Détail de l'hémisphère ouverte pour accueillir l'échantillon au centre (petit point bleu).....	71

Illustration 14: Carte en deux dimensions de la répartition spatiale des sources illuminantes (en rouge) et des 80 récepteurs (en bleu et vert) . Crédits photo : INRIM.....	72
Illustration 15: Une source lumineuse blanche illumine l'objet après avoir traversé un objectif chromatique qui la diffracte. Les faisceaux monochromatiques focalisent à différentes distances focales et interagissent avec la surface en fonction de son relief – Schéma repris d'Ezrati, 2008.....	74
Illustration 16: Le faisceau monochromatique bleu focalise à une hauteur $x$ et est réfléchi lorsqu'il correspond à l'altitude de la surface - Schéma d'Ezrati, 2008.....	74
Illustration 17: Station de mesure de micro-topographie au C2RMF - Crédits photo GB.....	75
Illustration 18: Détail du crayon de mesure avec sa position relative à l'éprouvette.....	75
Illustration 19: Échantillons préparés à base de résine de polyacétate de vinyle additionnée de plastifiant (phtalate de dibutyle) et du pigment bleu outremer. A gauche le témoin. Trois échantillons ayant subi un cycle de vieillissement artificiel.....	77
Illustration 20: Même légende que la figure précédente - Représentation des altérations (soulèvements en toit, craquelures) sur les échantillons vieillis.....	77
Illustration 21: Échantillons préparés à base de polyacétate de vinyle et de bleu outremer : témoin à gauche et à droite échantillon ayant subi un cycle de vieillissement artificiel. La couche picturale est en très bonne état de conservation.....	78
Illustration 22: Relief de l'échantillon 3PP1 préparé à base de liant vinylique et de bleu outremer (CVP = 70%) vu au microscope confocal (zone de 2 mm de côté).....	80
Illustration 23: Relief de l'échantillon 3PP9 préparé à base de liant vinylique et de bleu outremer (CVP = 30%) vu au microscope confocal (zone de 2 mm de côté, pas de 20 $\mu$ m).....	80
Illustration 24: Représentation graphique de la brillance en GU en fonction de la concentration volumique pigmentaire (Liant Vinylique et pigment bleu outremer) – Le tracé rouge représente notre hypothèse de courbe moyenne.....	81
Illustration 25: Graphique représentant la valeur du paramètre de rugosité $S_{sk}$ en fonction de la concentration volumique pigmentaire (Liant vinylique et pigment bleu outremer). Le passage en valeur positif correspond à la CVPC du système. La courbe rouge représente notre hypothèse de moyenne entre les données.....	83
Illustration 26: Micro-topographie d'une zone de 50 $\mu$ m de côté pour un échantillon préparé à base de liant acrylique et de bleu outremer en CVP = 30% ( 3A9).....	84
Illustration 27: Micro-topographie d'une zone de 50 $\mu$ m de côté pour un échantillon préparé à base de liant acrylique et de bleu outremer en CVP = 60% ( 3A2).....	84
Illustration 28: Graphique multifactoriel représentant la répartition des échantillons en fonction des paramètres de rugosité et de brillance. L'échantillon préparé à partir de la juste	

quantité nécessaire en liant (3PP5 – CVPc) est isolé par rapport aux échantillons pulvérulents (cercle rouge) et aux échantillons avec un excès de liant (cercle violet).....	85
Illustration 29: Sicile, Vue d'Agrigente (n° inv : MG4063) – Crédits photographique : Jean-Luc LACROIX.....	98
Illustration 30: Sicile, vue d'Agrigente, plages colorées concernées par la pulvérulence.....	101
Illustration 31: Intérieur aux aubergines (n° inv MG 2161) - Crédits photographique : Jean-Luc LACROIX.....	104

## **Table des abréviations**

CRBC : conservation-restauration des biens culturels

CVP : concentration volumique pigmentaire

CVPc : concentration volumique pigmentaire critique

AFM : microscope à force atomique

## **Avant-propos**

Au cours ma formation au sein du cursus peinture, les dossiers *Palette* m'ont permis d'étudier sur le thème de l'*International Klein Blue*. Cette couleur caractéristique de l'artiste Yves Klein (1928 – 1962) est par essence une peinture peu liée, dans le but de conserver la saturation du pigment en poudre, le bleu outremer. Lors de mon dossier de première année de master, je me suis intéressé aux causes de la pulvérulence et sur ses mécanismes d'altérations.

J'avais participé au chantier – école de l'église de Wattrelos (Nord) où nous avons déposé des toiles marouflées de Georges Trenteseaux (1895 – 1955), chantier encadré par Mmes Aurélie Nicolaus et Claire Bételu. Bien que ses peintures aient un aspect mat, aucune pulvérulence n'avait été remarquée sur une des œuvres intitulées la *Grande Guerre*. En 2015 nous étions intervenus dans la chapelle de la Très-Sainte-Trinité située dans le Grand Séminaire de Lille (Nord). Eugène Nys (1903 – environ 1960) a élaboré un chemin de croix selon le procédé de la fresque. Sa mise en œuvre fut plus ou moins couronnée de succès et certaines plages colorées de la station VIII sur laquelle j'ai travaillé, présentaient une pulvérulence notoire.

Au cours de la rédaction d'un compte rendu de séances de travaux pratiques à l'université sur le thème de la consolidation, je me suis aperçu de certains manquements dans la démarche expérimentale. En effet le protocole expérimental se base sur la comparaison : un état initial subit une évolution que l'on constate selon un résultat final. Comment peut-on évaluer un traitement et son efficacité sans référentiel avant intervention ?

En croisant ces réflexions et les discussions avec Mme Aurélie Nicolaus, responsable de la spécialité peinture à l'Université Paris1, m'est venu le sujet de mon mémoire de fin d'étude.



## Introduction

Au cours des précédentes années de formation universitaire, nos recherches ont été orientées vers la connaissance de la nature des pigments et vers les multiples façons de les mettre en œuvre. Un cas a particulièrement attiré notre curiosité : il s'agit de l'*International Klein Blue* (IKB), créé par l'artiste Yves Klein (1928 – 1962) et couleur obtenue par le mélange d'un pigment bleu outremer foncé et d'un liant synthétique vinylique. Notre champ de recherche s'est d'abord limité à la reconstitution de l'IKB en s'interrogeant non seulement sur sa composition mais aussi sur son procédé de préparation.<sup>1</sup> Puis les recherches ont été axées sur l'étude des évolutions des matériaux des œuvres d'Yves Klein. L'IKB utilisé dans la majeure partie de la production de l'artiste présente de façon constitutive des pulvérulences, qui se traduisent par une perte de cohésion des couches colorées. La pulvérulence se définit simplement comme une perte de cohésion au sein d'une strate par exemple une préparation, une couche picturale ou un vernis.<sup>2</sup> Notre problématique de mémoire s'est focalisée sur l'étude de la pulvérulence des surfaces peintes mates en restant fidèles à la période de l'Art Moderne et de l'Art contemporain. Le pigment bleu outremer et deux liants synthétiques ont été choisis pour notre expérimentation afin d'inscrire cette étude dans la continuité des recherches précédentes.

L'apparition des liants synthétiques est récente et un détour par leur histoire technologique d'après certaines dates clés semble être pertinent pour justifier les choix de notre étude. Parmi les changements de paradigme associés à l'Art Moderne, il est à noter l'usage d'une grande diversité de nouveaux matériaux comme des liants naturels, artificiels ou synthétiques.<sup>3</sup> Les artistes ont initié, en plus d'une quête esthétique, une recherche technologique en lien avec leurs projets créatifs : « pour l'artiste du XX<sup>e</sup>

---

1 Bernard, G., « Du pigment bleu outremer à la mise au point de l'IKB : un homme, une couleur », *CRBC (revue ARAAFU)* n° 34, 2016.

2 Bergeon, S. & Curie, P., *Peinture et dessin : vocabulaire typologique et technique* (2 VOL), Inventaire général des monuments et des richesses artistiques de la France, Éditions Du Patrimoine, Paris, 2009, p. 798.

siècle, le médium porte son propre message. [...] Le médium de l'artiste est le monde : les arbres et la glace, la ville et ses accessoires, les montagnes et le ciel. »<sup>4</sup> Non seulement les artistes utilisent de nouveaux matériaux mais aussi des objets de la vie quotidienne, comme le fait Picasso dans *Nature morte à la chaise cannée* en 1912 ou comme le déclarent les jeunes peintres italiens dans leur *Manifesto tecnico della pittura futurista* en 1910.<sup>5</sup> C'est aussi une quête des effets et des textures dont l'une des expressions artistiques se traduit par la matité des surfaces peintes. On peut citer les expériences antérieures sur le procédé de la fresque par Victor Mottez (1809 – 1897) ou les traités sur le même sujet de Paul Baudouin (1844 – 1931).<sup>6</sup> La volonté de peindre mat se manifeste à la même époque dans les grands décors de Pierre Puvis de Chavannes (1824 – 1898), comme celui de la *Vie de Sainte Geneviève* au Panthéon (Paris) peint en 1898. Plus tard certains artistes de l'Art Moderne utilisent les matériaux colorés pour rendre certains effets de texture et de surface. La matité peut être obtenue soit par le choix des liants, comme les gouaches utilisées par Henri Matisse (1869 – 1954), soit par le procédé de mise en œuvre de la couleur, définie ici comme un mélange de pigment et de liant au moment du *faire* de l'artiste.

L'évolution de la chimie au sein de grandes industries européennes et américaines a permis la mise sur le marché de nouveaux produits dont certains vont être adaptés aux Beaux-Arts.<sup>7</sup> Dans la continuité de nos recherches sur l'IKB et pour nous donner un point de comparaison dans le contexte de la production artistique du XX<sup>e</sup>

---

3 Chiantore, O. & Scalarone, D., « The macro- and microassessment of physical and aging properties in modern paints » in LEARNER, T. J. S., SMITHSEN, P., KRUEGER, J. W. & SCHILLING, M. R. (editors) *Modern Paints Uncovered: Proceedings from the Modern Paints Uncovered Symposium, May 16–19, 2006, Tate Modern, London*. Getty Publications, Los Angeles (E-U), 2006, p. 96.

4 Ball, P., *Histoire vivante des couleurs*. Hazan, Paris, 2005 (2001). p. 303 et 304.

5 Boccioni, U., Carrà, C., Russolo, L., Balla, G., Severini, G., *Manifesto tecnico della pittura futurista* signé le 11 avril 1910 : « La scienza d'oggi, negando il suo passato, risponde ai bisogni materiali nostro tempo; ugualmente, l'arte negando il suo passato, deve rispondere ai bisogni intellettuali del nostro tempo ».

6 Traduction en français en 1858 du *Libro dell'Arte* de Cennino Cennini par Victor Mottez – Baudouin, P., *La Fresque : sa technique, ses applications*, Librairie centrale des beaux-arts, Paris, 1914.

7 Michel, J-M., *Contribution à l'histoire industrielle des polymères en France*, publication en ligne sur le site de la Société Chimique de France

siècle, deux liants semblent particulièrement intéressants à explorer : il s'agit des résines vinylique et acrylique.

Le XIX<sup>e</sup> siècle a connu un essor de la chimie de synthèse puis une industrialisation progressive de la fabrication de nouveaux produits. En Europe, l'Allemagne fut pionnière dans ce domaine avec des entreprises qui sont toujours en activité, par exemple Bayer créée en 1863.<sup>8</sup> Otto Röhm (1876 – 1939) découvre les propriétés de polymérisation et met au point le polyacrylate de méthyle dans les années 1900.<sup>9</sup> Quelques années plus tard, le chimiste Fritz Klatt (1880 – 1934) travaille sur la polymérisation de l'acétate de vinyle. Du point de vue de la recherche fondamentale en chimie, en 1922, Hermann Staudinger (1881 – 1965) propose le modèle des macromolécules pour expliquer les comportements du caoutchouc qu'il étudie.<sup>10</sup> Dans le monde de l'industrie, ces découvertes étayées par une nouvelle conception théorique vont déboucher sur la création de départements Recherche & Développement sur la thématique des « matières plastiques ». Les nouveaux matériaux sont apparus au sein de l'industrie chimique et leurs mises au point ont été motivées par les perspectives commerciales au sein des filières aéronautique, automobile ou textile. Par exemple en France, l'usine de Roussillon (Isère) de la Société Chimique des Usines du Rhône produit de la rayonne acétate pour l'industrie du textile et d'acétate de cellulose pour les films photographiques.<sup>11</sup> Les demandes des clients sont le moteur de l'amélioration de la qualité des produits. Le gain de productivité et de rentabilité stimule les ingénieurs du département Recherche & Développement pour améliorer les procédés de fabrication de ces produits. Dans ce système industriel, ce sont les débouchés commerciaux qui assurent la rentabilité d'investissements importants nécessaires à une production de masse. Or le domaine des Beaux-Arts est insuffisamment prospère, aucune molécule ne fut développée spécialement pour la pratique artistique. Que ce soit pour les acryliques ou les vinyliques, leur invention fut motivée par des applications très éloignées de la

---

8 Michel, J-M., *Op cit – Historique industriel des polymères de synthèse.*

9 Michel, J-M., *Op cit – Historique industriel des polymères de synthèse.*

10 Michel, J-M., *Op cit – Les polymères avant Staudinger.*

11 Laferrère, M., « Histoire d'un site industriel : l'usine Rhône-Poulenc de Roussillon » in *Revue de géographie de Lyon*, n° 59 (4), 1984, p. 248.

production artistique : les premières résines vinyliques ont servi par exemple comme imperméabilisant pour les chapeaux en feutre. L'adaptation de ces nouvelles molécules au domaine des Beaux-Arts nécessite une étape intermédiaire : le transfert technologique qui est assuré par des scientifiques chimistes, passionnés et proches du monde artistique, dont nous allons voir certains exemples connus.

De 1946 à 1949, Léonard Bocour, marchand de couleurs à New York emploie son neveu Sam Golden (1915- 1997) qui, sous l'impulsion du peintre Morris Louis (1912 – 1962), réalise des expérimentations en vue de créer une peinture acrylique destinée à la production artistique. Il crée les couleurs Magna®, premières couleurs acryliques en solution que l'on peut mélanger à l'huile ou diluer à l'essence de térébenthine, et qui seront utilisées à partir du début des années 1960 par certains artistes du mouvement *Colour Field*.<sup>12</sup>

En 1955, la société d'Henry Levinson *Permanent Pigments* basée à Cincinnati (États-Unis) s'est spécialisée dans le broyage de pigments pour la fabrication des couleurs à l'huile.<sup>13</sup> Levinson met au point un nouveau médium pour les artistes peintres en utilisant les capacités de copolymérisation des acryliques pour préparer une formule diluable à l'eau à base de copolymère d'acrylate d'éthyle et de méthacrylate de méthyle. Ce liant sèche très vite : il présente une bonne stabilité et nouveauté, il adhère à pratiquement n'importe quel support. Levinson baptise son nouveau produit *Liquitex*, la contraction des mots liquide et texture.<sup>14</sup> Andy Warhol (1928 – 1987), Helen Frankenthaler (1928- 2011) ou encore David Hockney (né en 1937) font partie des artistes adoptant ces produits semi-ouvrés à haute viscosité.<sup>15</sup>

Dès 1954, Yves Klein (1928 – 1962) cherche un liant qui conserve les caractéristiques optiques d'un pigment qu'il affectionne particulièrement, le bleu outremer. Grâce à la collaboration d'Édouard Adam, marchand de couleurs à

---

12 Ball, P., *Op cit.*, p. 310 - Site Internet, Histoire de l'entreprise *Golden Paints*, consulté le 29 mars 2017.

13 Site internet, histoire de la société Liquitex, consulté le 29 mars 2017.

14 Site internet, histoire de la société Liquitex, consulté le 29 mars 2017.

15 Ball, P., *Op cit.*, p. 309.

Montparnasse (Paris), Klein teste différentes molécules pour répondre à ses exigences esthétiques. Après de nombreux essais infructueux, Adam finit par trouver une résine synthétique fabriquée par Rhône-Poulenc, le Rhodopas® M60A.<sup>16</sup> Le nom désigne une solution d'une viscosité Moyenne diluée à 60 % dans l'Alcool. La société fabrique en 1960 à Saint Fons (Rhône) près de 492 tonnes de polyacétate de vinyle.<sup>17</sup> Elle représente environ un tiers des ventes de la production de cette usine.<sup>18</sup>

En 1954, les travaux de Marc Havel au sein de l'entreprise Bourgeois se concrétisent par la commercialisation des premières peintures vinyliques en émulsion en phase aqueuse, nommées couleurs Flashe®. Elles sont un produit polyvalent que les artistes utilisent pour la décoration murale intérieure, les décors de théâtre ou encore les décors publicitaires.<sup>19</sup>

Lors du temps de la création de l'œuvre, le peintre peut avoir une idée, un projet en devenir alors il sollicite l'aide de son marchand de couleurs ou de son fournisseur pour trouver une solution. En réponse, l'artisan-chimiste met au point des produits semi-ouvrés qui lui conviennent et qui présentent certaines caractéristiques comme la possibilité de superposer des couches dans le frais ou de reprendre la composition après séchage. S'engage alors un dialogue entre l'artiste et le scientifique-artisan, échanges fructueux qui aboutissent à des collaborations artistico-technologiques.

Lors du temps de la réception de l'œuvre, ce foisonnement technologique et artistique est synonyme de défi pour le conservateur-restaurateur en termes d'identification des matériaux industriels utilisés par l'artiste, vinyliques, alkydes, acryliques ou polyuréthanes et également en termes de diversité des procédés créatifs.<sup>20</sup> De ce fait, certaines œuvres modernes ou contemporaines présentent des altérations de leurs couches picturales dont l'une des plus fréquentes est leur faible cohésion.<sup>21</sup> Elle peut être soit constitutive car inhérente au *faire* de l'artiste, soit consécutive à la

16 Adam, E., *Itinéraire d'un marchand de couleurs à Montparnasse*. Chêne, Paris, 2011, p. 82.

17 Michel, J-M., *Contribution à l'histoire industrielle des polymères en France*, publication en ligne sur le site de la Société Chimique de France, *le polyacétate de vinyle et ses dérivés*.

18 Michel, J-M., *Op cit.*, Annexe 7 : Rhodopas en plaques et solutions - Schémas des procédés de fabrication.

19 Site internet, histoire de Lefranc-Bourgeois, consulté le 30 mars 2017.

20 Chiantore, O. & Scalzone, D., *Op cit.*, p. 96.

dégradation du système liant-pigment. La définition du terme pulvérulence par le Centre de Conservation du Québec résume le phénomène à l'« état d'un matériau qui se réduit facilement en poudre. »<sup>22</sup> Cette définition très large se concentre sur la qualification d'un état quel que soit le matériau concerné, métal ou pierre et quel que soit le procédé concerné, fresque ou pastels.

Nous nous basons sur la définition suivante pour la suite de notre étude :

« La pulvérulence est un manque total de cohésion entre le liant et les pigments de la peinture. Elle entraîne la perte de fines particules de matière sous forme de poudre. La pulvérulence résulte de l'appauvrissement extrême en liant dû à sa migration dans les couches inférieures, à son altération chimique ou à la lixiviation de la couche picturale lors de nettoyage. »<sup>23</sup>.

Cette définition est faite pour le domaine de la peinture et ne tient compte que de la couche picturale, mais a l'avantage d'explicitier les causes intrinsèques et extrinsèques de la pulvérulence et de refléter un certain consensus dans la littérature spécialisée.<sup>24</sup>

La présentation de l'histoire de l'élaboration des nouveaux liants synthétiques au cours du XX<sup>e</sup> siècle a montré l'importance de leur connaissance dans la pratique de la conservation-restauration des œuvres modernes et contemporaines. Elle a également révélé une prépondérance de peintures mates à être pulvérulentes. Pourtant la bibliographie spécialisée à la conservation-restauration des biens culturels évoque plus souvent les traitements de consolidation que l'étude du phénomène de pulvérulence. Il

---

21 Témoignage oral de Mme Véronique Sorano-Stedman, responsable du département de restauration du Centre National d'Art Moderne, Pompidou, Paris.

22 Centre de ressources – Glossaire visuel des Altérations – Centre de Conservation du Québec, consulté le 21 mars 2017.

23 Bergeaud, C., Hulot, J-F et Roche, A., *La dégradation des peintures sur toile*, École Nationale du Patrimoine, Paris, 1997, p. 46.

24 Bergeon, S. & Curie, P., *Peinture et dessin : vocabulaire typologique et technique* (2 VOL), Inventaire général des monuments et des richesses artistiques de la France, Éditions Du Patrimoine, Paris, 2009, p. 798. Les auteurs s'inspirent largement de la définition proposée par Gilberte Emile-Mâle dans *Restauration des peintures de chevalet* (p. 56).

Paolini, C. & Faldi, M., *Glossario delle tecniche artistiche e del restauro*, Palazzo Spinelli, Firenze (Italie), 2005, p. 274 définition : « polverulenza del colore: si dice del colore in cui il legante ha perso il potere colloidale, e che quindi tende a diventare materiale incoerente, con particelle più o meno minute ».

nous est apparu également que leurs protocoles expérimentaux n'intègrent pas de mesures quantitatives du degré de décohésion des couches picturales qualifiées de pulvérulentes.

D'après ce constat, il nous a semblé pertinent de concevoir notre propre protocole afin de répondre aux manques que nous avons identifiés. Nous souhaitons contextualiser la pulvérulence des couches picturales mates par l'étude de la concentration volumique pigmentaire selon les points de vue complémentaires des sciences fondamentales et de la conservation-restauration des biens culturels. D'une part, nous avons eu recours à un panel de méthodes d'examens non destructifs à l'échelle microscopique pour tenter de qualifier le seuil de CVP critique qui, théoriquement marque l'apparition des premières pertes de cohésion. D'autre part, nous avons complété cette approche analytique par une étude méthodologique et systémique afin de mettre en perspective le phénomène de pulvérulence relativement à la pratique et aux interventions du conservateur-restaurateur.

Pour répondre à cette question, nous proposons dans une première partie de faire un tour d'horizon de la bibliographie dans différents domaines de la CRBC avant d'en extraire les critiques méthodologiques. L'approche expérimentale nous semble être la seule à même de répondre aux manques identifiés au sein du corpus d'articles et de travaux analysés : la seconde partie tente de quantifier la concentration volumique pigmentaire du système liant / pigment choisi par des méthodes d'examen sans contact dans un souci de respect de l'intégrité du bien culturel. La troisième partie est une discussion de la pertinence d'une étude expérimentale en la confrontant à une approche sensible en lien avec la pratique du métier.

## **1<sup>e</sup> partie : ressources bibliographiques du phénomène de pulvéulence**

Afin de concevoir notre protocole expérimental, il est nécessaire de consulter d'une part les publications qui expliquent théoriquement les mécanismes physiques liés à la pulvéulence et d'autre part d'analyser les articles des revues spécialisées au domaine du patrimoine. Notre but est de mieux comprendre la pulvéulence d'une couche picturale, qui peut être constitutive ou consécutive aux interventions antérieures. Nous avons sélectionné un corpus de publications qui s'intéressent au domaine du patrimoine (peinture, arts graphiques et monuments historiques) afin d'analyser leurs protocoles expérimentaux et d'en tirer des enseignements quant aux méthodes d'examens d'une quantification de la pulvéulence.

### **D) A. Mécanismes physiques liés à une concentration pigmentaire élevée**

Il semble important de commencer par l'étude des mécanismes liés à la pulvéulence par le biais de la compréhension des causes et des manifestations sur l'œuvre peinte. Toutefois l'étendue de la recherche est telle qu'elle demanderait plusieurs thèses théoriques pour appréhender toute la complexité du phénomène. Dans la continuité des travaux sur l'IKB, notre problématique se concentre donc sur un aspect de la pulvéulence des peintures mates et il a été choisi d'étudier uniquement la concentration volumique pigmentaire comme origine de la pulvéulence, plus propice selon nous à l'expérimentation.



### I) A.1. Définition de la concentration volumique pigmentaire

« La concentration volumique pigmentaire (CVP) est le rapport du volume réel des pulvérulents sur le volume réel total, exprimé en pourcentage. »<sup>25</sup> Pour un liant et un pigment donnés, la CVP définit la qualité de l'enrobage aussi bien que le seuil à partir duquel tout grain solide de pigment est englobé par le liant à l'état liquide. Ce seuil appelé concentration volumique pigmentaire critique (CVPC) est défini empiriquement en termes de volume occupé, lorsque tout l'air entourant les particules de pigments est remplacé par le liant (**Schéma n°1**).

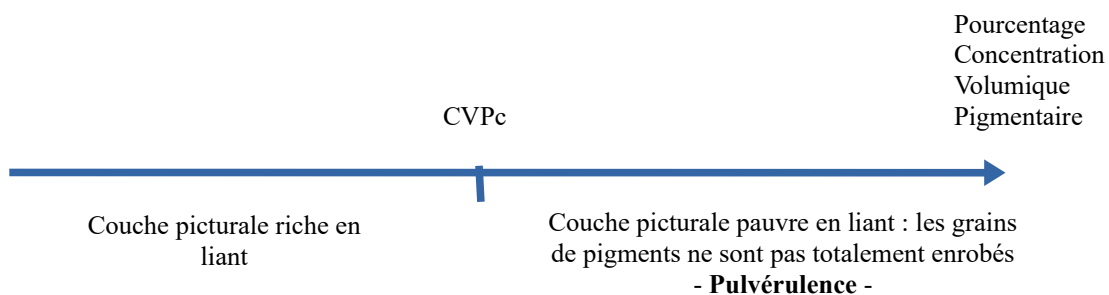


Schéma n°1 : représentation graphique de la CVPC et des caractéristiques d'enrobage.

Théoriquement, l'hypothèse est la suivante : une couleur appliquée dans une proportion liant / pigment supérieure à la CVPC présentera une pulvéulence, c'est-à-dire un défaut de sa cohésion. La CVPC est caractéristique d'un système liant / pigment et est comprise entre 30 et 65 % de CVP.<sup>26</sup> Un pigment facilement « enrobable » n'aura besoin que de peu de liant pour devenir couleur ; sa CVPC sera élevée plus proche de 65 %. C'est le cas du blanc de titane avec l'huile de lin par exemple. A l'inverse, un pigment a besoin d'une quantité importante de liant, sa CVPC est faible. Nous pouvons citer pour exemple les ocres et les terres de Sienne dans la gomme arabique.<sup>27</sup>

25 Delcroix, G. & Havel, M., *Phénomènes physiques et peinture artistique*, EREC, Puteaux, 1988, p. 241.

26 Feller, R. & Kunz, N., "The effect of pigment volume concentration on the lightness or darkness of porous paints" in *Preprints of papers presented at the ninth annual meeting: Philadelphia, Pennsylvania, 27-31 May 1981. American Institute for Conservation of Historic and Artistic Works*, Washington (E.-U.), 1981, p. 67 : « The CPVC is the point when all the air between pigment particles has been replaced with binder. In practice, CPVC must be experimentally determined for each pigment and binder system; CPVC generally falls in between 30% and 65% PVC. »

27 Expériences personnelles – juin 2014.

De façon complémentaire, la CVPc est aussi la proportion minimale de liant pour enrober complètement les grains de pigment, leur porosité et leurs espaces interstitiels afin de former un système compacté et de lier une couleur.

Empiriquement, la CVPc est déterminée à partir de 10 grammes de pigment et la quantité nécessaire de liant est mesurée pour obtenir une pâte compacte qui ne laisse pas de dépôts ni de résidus de pigment sec sur les parois. Se basant sur le modèle des sphères dures, une formule permet un calcul théorique de la CVPc en tenant compte des paramètres de densité du liant et du pigment ainsi que de l'absorption en huile :

*Formule n°1*

$$CPVC = \frac{1}{1 + (OA)(\rho)/93.5}$$

avec OA qui exprime la quantité en gramme d'huile de lin absorbée pour 100 grammes de pigments ;  $\rho$  la densité du pigment étudié et 93,5 est la densité de l'huile de lin multipliée par 100.<sup>28</sup>

#### **D) A.2. Concentration volumique pigmentaire et caractéristiques des éléments constitutifs d'une couche picturale**

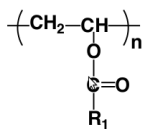
La peinture est « un mélange de poudres de couleurs à un liant, liquide qui permet leur maniement, leur mise en place puis leur fixation quand il passe à l'état solide. Ce liant comporte toujours un élément non volatile capable de former un film. »<sup>29</sup> Il existe deux possibilités de la liquéfier : en émulsion ou en dispersion colloïdale. Compte tenu de notre problématique centrée sur les œuvres modernes et contemporaines, deux liants sont détaillés par la suite, qui font l'objet de notre

<sup>28</sup> Modèle détaillé par Birerwagen (1972) cité dans Bierwagen, G. et al., « Recent studies of particles packing in organic coatings » in *Progress in Organic Coatings*, n° 35, 1999, p. 8.

<sup>29</sup> Delcroix, G. & Havel, M., *Op cit.*, p. 163.

expérimentation. Le liant acrylique en émulsion aqueuse a été choisi en référence aux nombreuses œuvres contemporaines réalisées à partir de ce médium.<sup>30</sup> Le liant vinylique a été choisi en solution colloïdale comme le médium caractéristique de l'IKB, s'inscrivant ainsi dans la continuité de nos recherches. Les caractéristiques chimiques et physiques du liant et des pigments influencent les valeurs de CVP et plus largement la qualité structurelle de la peinture.

### I) A.2.1. Liant de polyacétate de vinyle (PVAc)



*Illustration 1: Formule chimique du PVAc, d'après cours Chimie des polymères, Pr T. Lalot*

Le PVAc est un polymère amorphe à chaîne linéaire issu de la polymérisation du monomère d'acétate de vinyle et dont le motif de base est détaillé dans l'**illustration 1**. Sa température de transition vitreuse ( $T_g$ ) est de 29°C, c'est-à-dire qu'à température ambiante son comportement mécanique correspond à la zone de transition vitreuse.<sup>31</sup> D'après la lecture du graphique (**ill. 2**), la déformation E étant représentée selon une échelle logarithmique : cela signifie qu'avec une faible variable de température autour de la  $T_g$ , le polymère se déforme de façon drastiquement différente. Une augmentation de la température le rapproche du plateau caoutchoutique, appelé aussi visco-élastique : le polymère se ramollit (zone 1 sur le graphe **ill. 2**). A l'inverse, un refroidissement peut rendre la résine dure, rigide et cassante, comportement représenté sur le graphe par la zone vitreuse (zone 1 sur le graphe **ill. 2**).

---

30 Ball, P., *Op cit.*, chapitre sur les artistes du mouvement *Colour Field*.

31 Brydson, J. A. (eds.), *Plastic materials*, Butterworth Heinemann, (7th ed), Oxford (Royaume Uni), 1999, p. 82, 83 & 88 - Fiche technique fournisseur Kremer, **Annexe n°1**.

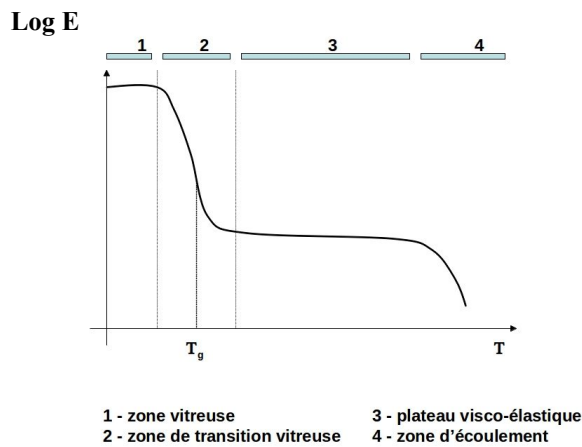


Illustration 2: Schéma représentant la déformation mécanique d'un polymère amorphe en fonction de la température, d'après cours de chimie des polymères du Pr. T. Lalot – Université Paris 1

Compte tenu de ces propriétés, les industriels ont été amenés à ajouter des plastifiants pour limiter le désagrément d'une résine dure et cassante.<sup>32</sup> Les plastifiants sont des molécules de haut poids moléculaire qui s'immiscent dans le réseau tridimensionnel des macromolécules pour faciliter les mouvements segmentaires.<sup>33</sup> Grâce à la possibilité de mouvement d'une partie de leurs chaînes, le comportement macroscopique du polymère est plus souple. Le plastifiant abaisse artificiellement la  $T_g$  et le comportement mécanique se rapproche du plateau caoutchoutique (flèche rouge vers la zone 3 du graphe **ill. 3**).

---

32 Michel, J-M., *Op cit – Historique industriel des polymères de synthèse – le polacétate de vinyle et ses dérivés* et Brydson, J. A. (eds.), *Op cit.*, p. 82, 83 & 88.

33 Brydson, J. A. (eds.), *Op cit.*, p. 82, 83 & 88.

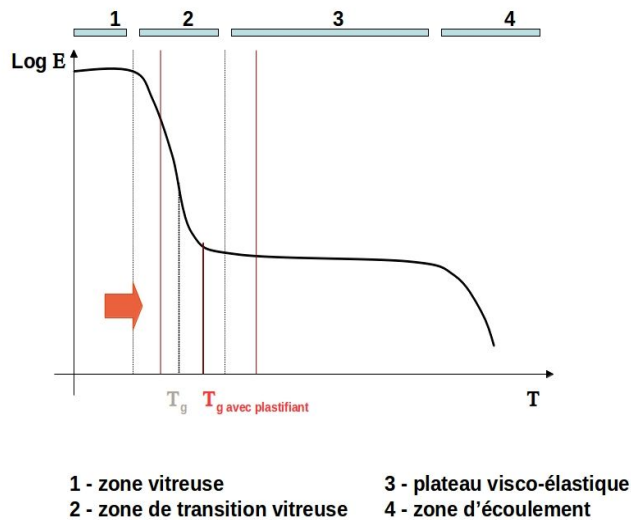


Illustration 3: Comportement mécanique d'un polymère amorphe (Déformation en fonction de la température) en présence de plastifiant qui abaisse artificiellement la température de transition vitreuse (flèche rouge)

Au milieu du XX<sup>e</sup> siècle, les fabricants ont utilisé des plastifiants externes durant les premiers essais puis se sont tournés vers les plastifiants internes. Ceux-ci font partie intégrante du réseau et se lient de façon covalente avec le polymère. L'acide versatique fut utilisé dans cette perspective.<sup>34</sup> Parmi les plastifiants internes, on peut citer le phtalate de di-butyle (n° CAS 84-74-2) qui fait partie de la famille des esters de diacides aromatiques<sup>35</sup>. Le phtalate a des valeurs de solubilité proches du PVAc, ils sont donc compatibles.

Dans la recette de l'IKB, le liant PVAc est préparé en solution dans un mélange de solvants, additionné de quelques gouttes de plastifiant, soit un phtalate soit un

34 Delcroix, G. & Havel, M., *Op cit.*, p. 76.

35 Petit, J., Roir, J., & Valot, H., *L'encyclopédie de la peinture - Formuler, fabriquer, appliquer*, (Vol III), EREC, Puteaux, 2001, p. 197.

tricrésyl phosphate.<sup>36</sup> Plus généralement les plastifiants ont été largement utilisés dans l'élaboration des couleurs, commercialisées à partir des années 1950.<sup>37</sup>

### I) A.2.2. Liant sous forme d'émulsion acrylique

À la différence d'une solution colloïdale, on peut trouver des polymères mis en émulsion comme c'est le cas de certaines couleurs à base d'un liant acrylique. Les résines acryliques sont à base de polymère thermoplastique ou de copolymère selon le

motif de base de l'acide acrylique ou méthacrylique.<sup>38</sup>

Leur Tg est très variable en fonction de la construction des chaînes de macromolécules et de la nature des chaînes latérales : par exemple le poly iso-butyl methacrylate a une Tg égale à 48°C (il est connu sous le nom de marque Paraloid B67).<sup>39</sup> Ces polymères insolubles dans

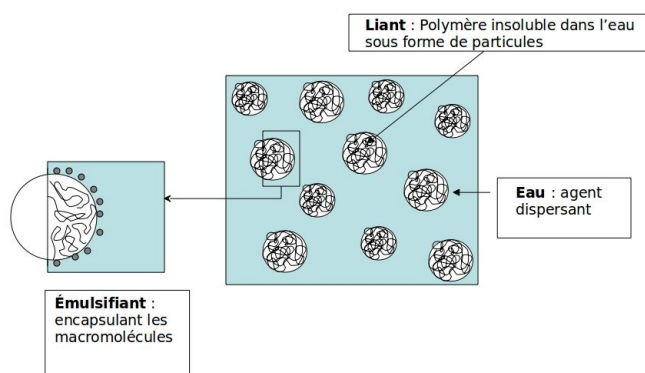


Illustration 4: Schéma détaillant la composition et l'organisation d'une émulsion acrylique (d'après Pr. T. Lalot)

l'eau constituent une phase dispersée dans celle-ci et sont maintenus en équilibre grâce à l'ajout d'émulsifiants amphiphiles (ill. 4).<sup>40</sup>

Les chaînes de macromolécules s'organisent en bulles, entourées d'émulsifiants qui jouent le rôle d'interface avec l'eau, agent dispersant.

36 Témoignage d'Édouard Adam, le 13 décembre 2013.

37 Delcroix, G. & Havel, M., *Op cit.*, p. 76.

38 Horie, V., *Materials for conservation. Organic consolidants, adhesives and coatings*, Butterworth-Heinemann, Amsterdam (Pays-Bas), 2010 : chapitre *Acrylic resins*.

39 Conservation & Art Materials Encyclopedia Online, page Acrylic resin consultée le 27 avril 2017.

40 Roche, A., *Op cit.*, p. 64.

Les couleurs Liquitex® sont fabriquées selon ce principe. Pour le conservateur-restaurateur, la connaissance des procédés de fabrication des médiums est essentielle, entre autres au moment de proposer des protocoles d'interventions comme un dégrasage ou un nettoyage.<sup>41</sup>

### **I) A.2.3. Pigments**

Après avoir détaillé les caractéristiques de deux liants fréquents dans la production artistique du XX<sup>e</sup> siècle, nous abordons leur interaction avec les pigments. La masse volumique, la dimension et la forme, la granulométrie et la surface spécifique des grains de pigment sont des propriétés particulièrement intéressantes à considérer dans l'étude de la CVP et plus largement de la pulvérulence. En effet elles définissent à l'échelle microscopique, la qualité des interactions avec le liant et donc indirectement la durabilité du film peint.

La masse volumique définie comme le quotient de la masse d'un corps sur son volume, intervient dans la problématique de la stabilité des couleurs ainsi que dans les caractéristiques du système liant liquide / particules solides.<sup>42</sup> Ce paramètre entre dans la formule du calcul théorique de la CVPc. La variation de cette valeur en fonction des fournisseurs, fabricants de pigments modifie de façon notable le seuil de CVPc, puisque  $\rho$  est au dénominateur dans la formule.<sup>43</sup>

Les dimensions des grains de pigment doivent être comparées aux grandeurs des longueurs d'onde de la lumière visible, comprise entre 0,4 et 0,7  $\mu\text{m}$ . En effet un pigment broyé mécaniquement peut atteindre un diamètre inférieur aux grandeurs citées. Il n'absorbe pas les longueurs d'onde de la lumière et perd alors sa teinte.

La forme des grains de pigment intervient dans la texture du feuillet.

En fonction de ces deux paramètres, les particules de pigment peuvent adhérer les unes aux autres, soit en agglomérat, où les contacts se font au niveau des arêtes et

---

41 Témoignage oral d'Alessandra Bassi, restauratrice installée à Turin (Italie), spécialiste de la conservation-restauration des œuvres contemporaines.

42 Delcroix, G. & Havel, M., *Op cit.*, p. 117.

43 Voir *formule n°1*, p. 23.

des sommets des grains, soit en agrégat où les contacts se font par les faces. On comprend facilement dans ce dernier cas que l'énergie mécanique qu'il faut déployer pour les séparer est largement plus importante que dans la première situation.<sup>44</sup> Les agrégats et les agglomérats peuvent bien sûr coexister au sein d'une poudre de pigment brut.

Enfin la surface spécifique d'un corps se définit comme la surface déployée par un centimètre cube du corps considéré. Plus la finesse est grande, plus la division du corps est importante et plus la surface spécifique est élevée. Pour certains pigments, elle peut atteindre plusieurs milliers de mètres carrés pour un gramme.<sup>45</sup>

En continuant à détailler les mécanismes à l'échelle microscopique, les interactions entre le liant et le pigment vont conditionner la formation, le séchage et la durabilité du film peint. La compréhension de ces trois étapes est cruciale pour nous, qui cherchons à aborder l'influence de la concentration volumique pigmentaire sur le phénomène de pulvérulence. En effet la mise en œuvre par l'artiste d'une couleur peu liée, donc avec une CVP élevée, a de fortes chances de devenir pulvérulente.

### **D) A.3. Concentration volumique pigmentaire et formation d'un feuil**

Une couleur mise en œuvre par l'artiste sur un support de son choix devient une peinture. Sa formation va dépendre des caractéristiques physiques et chimiques du liant et du pigment mais aussi des interactions dues à la concentration volumique pigmentaire et à la présence d'additifs.<sup>46</sup>

L'affinité physique entre les pigments solides et le liant liquide nécessaire à la formation d'un film varie selon la mouillabilité de la phase solide par le liquide et selon la surface spécifique déterminée par la morphologie des grains. Par exemple, de très fines particules hydrophobes de lycopode, spores de fougères, doivent être incorporées

---

44 Delcroix, G. & Havel, M., *Op cit.*, p. 118.

45 Delcroix, G. & Havel, M., *Op cit.*, p. 122.

46 Roche, A., *Comportement mécanique des peintures sur toile : dégradation et prévention*, CNRS éditions, Paris, 2003, p. 83.



par petites quantités à la colle de peau de lapin diluée à l'eau. Puis elles sont soigneusement mélangées afin d'obtenir un film homogène, sans grumeaux. A l'inverse une poudre de craie, très hydrophile se mélange rapidement et facilement avec la même colle donnant un *gesso* lisse et parfaitement homogène.

En plus de l'affinité physique, le liant et les pigments doivent être compatibles chimiquement les uns avec les autres. L'oubli de cette règle dans le cas de pigments et de siccatifs dispersés dans l'huile de lin conduit à des craquelures prématurées puis à une rupture du feuil durant le *faire* de l'artiste. Par exemple ceci est observé dans les couleurs sur-siccativées de certaines œuvres de Pierre-Paul Prudhon (1758 – 1823).<sup>47</sup>

Au-delà des caractéristiques physiques et chimiques, les quantités relatives de liant et pigment déterminent mécaniquement la possibilité de formation d'un film continu. Une faible concentration volumique pigmentaire implique un manque de liant qui se traduit par un défaut d'enrobage des particules solides.

Enfin la présence d'émulsifiants, de plastifiants, de résidus de monomère ou d'initiateurs de polymérisation dans les résines synthétiques industrielles, influence la possibilité de former un feuil homogène.<sup>48</sup>

#### **D) A.4. Séchage d'un feuil suite à l'application de la couleur**

Au moment du *faire* de l'artiste, après l'application de la couleur sur le support, la peinture se constitue après séchage. Les liants acrylique et vinylique fréquents en Art Moderne et Contemporain, ont un procédé de séchage physique, très différents du liant oléagineux. Un séchage incomplet ou imparfait pourrait être à l'origine d'une fragilité du feuil.

---

47 Lhomme, S., Dossier universitaire Palette, p.11 cite Jean-François-Léonor Mérimée, *De la peinture à l'huile*, Paris, Huzard, 1830, rapportant des propos de Delacroix « on voit aussi dans l'emploi de cette méthode, la raison des altérations que le temps a pu amener dans ses tableaux ; ces travaux successifs et l'emploi de siccatifs destinés à les faciliter ont contribué à altérer quelques parties de ses peintures. » p. 34.

48 Roche, A., *Op cit.*, p. 83.

L'exemple d'une dispersion colloïdale de PVAc diluée dans l'alcool éthylique et dans l'acétate d'éthyle est pris comme modèle d'étude. Le séchage se déroule en deux temps.

D'abord, l'évaporation des solvants est très rapide du fait des valeurs de vitesse d'évaporation élevées de l'éthanol et de l'acétate d'éthyle ( $V_e(\text{éthanol}) = 7$  et  $V_e(\text{acétate d'éthyle}) = 2,9$  par rapport à l'oxyde de diéthyle), puis décroît au fur et à mesure que la viscosité augmente.<sup>49</sup> A partir d'un certain seuil, les solvants diffusent au travers du film superficiel en cours de formation. La vitesse de cette diffusion dépend de phénomènes de rétention entre le soluté et le solvant. Le plastifiant facilite les mouvements segmentaires des chaînes, il autorise une organisation spatiale plus lente au sein du polymère amorphe laissant un temps d'ouverture plus long pour travailler la couleur. Une expérience de mesure de l'évaporation des solvants sur une goutte de liant plastifié et un autre non plastifié pourrait être réalisée avec une balance pour vérifier cette hypothèse. Finalement une fois les solvants totalement volatilisés, les macromolécules se lient les unes aux autres par des interactions faibles donnant naissance à un film solide.<sup>50</sup>

Pour un liant à base d'émulsion acrylique, les étapes sont les mêmes. Seule diffère la phase finale du séchage qui correspond à la coalescence.<sup>51</sup> Une fois les bulles de polymères rapprochées suite à l'évaporation de l'eau, les chaînes de macromolécules vont s'enchevêtrer ; opération qui peut prendre plusieurs semaines voire des mois.

#### **D) A.5. Concentration volumique pigmentaire et durabilité du feuil**

Les forces internes de cohésion sont l'expression de l'énergie de cohésion  $E_{\text{coh}}$  qui résulte de la bonne adéquation des paramètres cités par l'auteur : « La cohésion d'un film de peinture est liée aux forces chimiques ou physico-chimiques qui se créent à l'interface entre les pigments et le liant. La qualité de ces liaisons dépend de leur

---

49 Chiffres base CarAtex, consulté le 22 mars 2017.

50 Roche, A., *Op cit.*, p. 64.

51 Cours chimie des polymères – Pr. T. Lalot et Roche, A., *Op cit.*, p. 65.

compatibilité, alors que leur quantité est fonction de la surface que développent les molécules. »<sup>52</sup>

Dans le cas d'un liant vinylique dispersant un pigment, seules les interactions faibles intermoléculaires assurent la cohésion du feuillet. A la différence d'une couche liée à l'huile, il n'y a pas de liaisons covalentes entre les triglycérides pour rendre insoluble le film. C'est l'ensemble des interactions faibles, mais en très grand nombre ainsi que l'enchevêtrement des chaînes après la phase de coalescence, qui constituent la force totale de cohésion des matériaux constitutifs d'une couche picturale.<sup>53</sup>

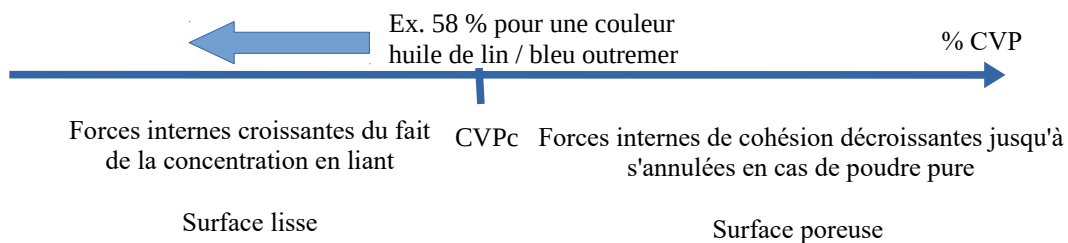


Schéma n°2 : représentation graphique de la CVPc et des caractéristiques des forces de cohésion. La flèche bleue représente l'augmentation des forces internes de cohésion en réponse à l'apport en liant au sein de la couleur.

Un feuillet dont la CVP est supérieure à la CVPc est poreux. Des grains de pigment restent amalgamés sans enrobage de liant, les forces internes n'assurent pas de cohésion homogène et son intégrité est menacée (**Schéma n°2**). Les moindres frottements, comme des empreintes de doigt ou un contact avec une surface, abrasent le film peint et laissent une trace sur la couche picturale. Du fait de la porosité de la surface, les polluants, les poussières ou la crasse s'immiscent dans les espaces interstitiels altérant davantage l'intégrité physique du film peint. C'est ce qui est visible par exemple sur une des œuvres d'Yves Klein exposée au Centre Pompidou à Paris.<sup>54</sup>

52 Roche, A., *Op cit.*, p. 83.

53 Roche, A., *Op cit.*, p. 113.

54 Observations personnelles *in situ* de ANT 76, *Grande Anthropophagie bleu* (n° inv. : AM 2000-154).

#### **I) A.6. Concentration volumique pigmentaire et aspect de surface**

« L'interaction lumière - matière est une interaction forte. On dit que la matière transmet ou réfléchit la lumière mais en réalité il s'agit de la création d'une nouvelle source lumineuse, à partir d'un corps « inactif ». La réfraction, l'absorption, la transmission vont caractériser l'apparence optique du corps, c'est-à-dire sa brillance, sa couleur et sa transparence. »<sup>55</sup>

La réflexion d'un flux lumineux incident est responsable des phénomènes optiques de matité et de brillance d'une surface. La réflexion spéculaire se fait préférentiellement dans la direction symétrique à celle de la lumière incidente. La réflexion est dite diffuse quand elle a lieu dans toutes les directions de l'espace. L'aspect d'une surface est d'autant plus brillant que la composante spéculaire de la réflexion est importante relativement à celle réfléchie de manière diffuse. Cette condition est d'autant mieux remplie que la surface est lisse et plane.<sup>56</sup> Par opposition, la matité se définit par une diffusion multidirectionnelle de la lumière incidente du fait de la rugosité de la surface, à l'échelle des longueurs d'onde de la lumière visible : « quand la surface est mate, l'œil qui observe la surface ne perçoit aucune variation de luminance dans son champ visuel par rapport au reste de la surface quand il se déplace. »<sup>57</sup>

La qualification d'une surface lisse ou rugueuse doit être abordée, non pas à l'œil nu, mais à l'échelle sub-micrométrique. Nous pouvons émettre l'hypothèse qu'un vernis perçu comme brillant, étant lisse à l'échelle des longueurs d'onde de la lumière visible (0,4 à 0,7  $\mu\text{m}$ ), peut apparaître mat sous éclairage ultraviolet, dont les longueurs d'onde sont comprises entre 0,1 et 0,4  $\mu\text{m}$ . Des ondes plus énergétiques et de courtes longueurs d'onde révèlent les rugosités plus fines du vernis et diffusent la lumière U.V., ce qui lui donne l'aspect mat.

A l'échelle microscopique et de façon théorique, une couche picturale préparée dans des proportions de liant et pigment inférieures à la CVPc est lisse, puisque les particules solides sont complètement enrobées par le liant. L'aspect de surface est

---

55 Delcroix, G. & Havel, M., *Op cit.*, p. 297.

56 Delcroix, G. & Havel, M., *Op cit.*, p. 299.

57 Delcroix, G. & Havel, M., *Op cit.*, p. 301.

brillant car les réflexions spéculaire et semi-spéculaire sont largement majoritaires (Schéma n°3). A l'inverse, lorsque l'on observe une strate pauvre en liant (CVP > CVPc), les grains ne sont pas liés complètement ; la surface semble mate avec une réflexion majoritairement diffuse de la lumière incidente (Schéma n°3). Ces hypothèses de corrélation entre la CVP et l'aspect de surface font l'objet d'une partie des expériences que nous menons afin de les confirmer ou les infirmer par la mesure. Nous prévoyons de mélanger les deux liants acrylique et vinylique en proportion variable avec un pigment puis de mesurer la brillance pour valider ces hypothèses. Nous aurions ainsi indirectement une quantification du degré de pulvérulence d'une couche picturale.

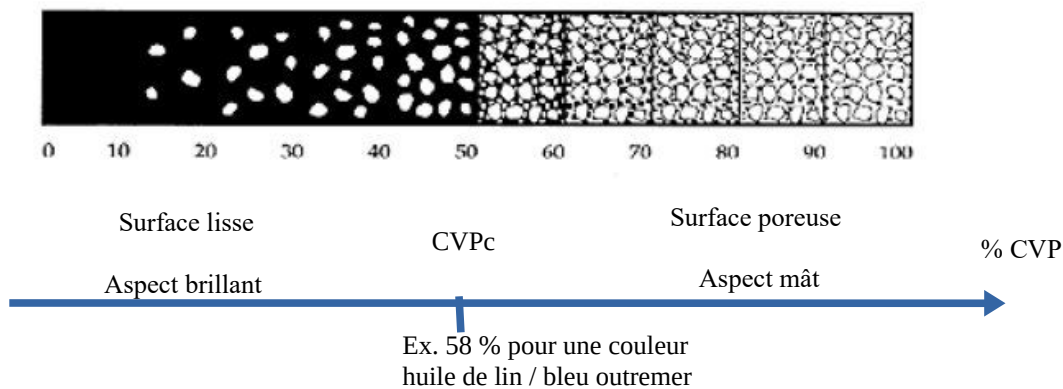


Schéma n°3 : représentation du lien qui existe entre la CVP d'une couche colorée, sa porosité et son aspect de surface, d'après Walter Asberg.<sup>58</sup>

En 1981, Feller et Kunz ont mené une étude intéressante à ce sujet, ouvrant des pistes prometteuses pour notre recherche. En effet ils ont choisi un bleu outremer dispersé dans divers liants dont certains vinyliques, comme dans notre cas et ils cherchent à quantifier l'aspect de surface en fonction de la CVP.<sup>59</sup> Grâce à un spectrophotomètre, ils mesurent le pourcentage de réflexion spéculaire qu'ils soustraient

<sup>58</sup> Asberg, W., « Critical look at CVPC performance and applications properties » in *Journal of coatings technology*, n° 806 (64), 1992, p 46 – 58 cité par Hansen, E. *et al.*, 1994.

<sup>59</sup> Feller, R. L. & Kunz, N., “The effect of pigment volume concentration on the lightness or darkness of porous paints » in *Preprints of papers presented at the ninth annual meeting: Philadelphia, Pennsylvania, 27-31 May 1981*. American Institute for Conservation of Historic and Artistic Works, Washington (E.-U.), 1981, p. 67.

à la réflexion totale (SCI) pour obtenir la seule composante de réflexion diffuse (SCE). Il sélectionne la longueur d'onde de 440 nm, qui correspond au pic de réflexion pour le bleu outremer. Cette information va nous servir plus tard dans nos propres mesures.

Ils en concluent que lorsqu'on dépasse la CVPc, la porosité augmente et l'effet de brillant diminue de façon importante (ill. 5).<sup>60</sup>

% de réflexion

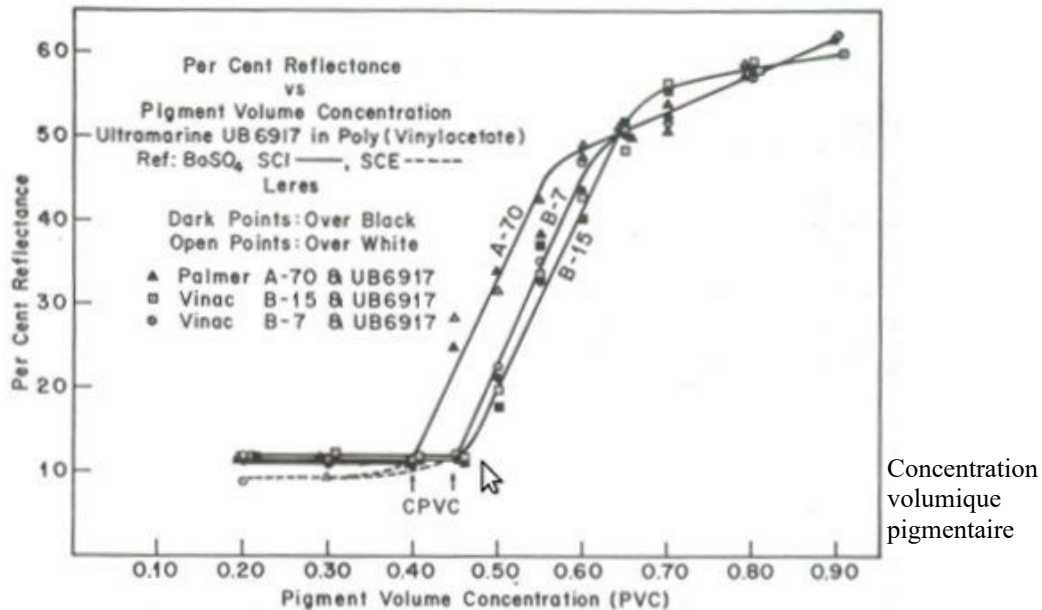


Illustration 5: Graphe du pourcentage de réflexion en fonction de la CVP pour le système bleu outremer-liants vinyliques (d'après Feller & Kunz, 1981)

La clarté d'une strate peu cohésive est alors plus élevée du fait de l'addition des réflexions diffuses de la surface et de celles des particules contenues dans le film.<sup>61</sup> La concentration en liant étant faible, l'augmentation de la diffusion ne peut être due qu'à l'accroissement de la réflexion au niveau des innombrables interfaces pigment-air. C'est exactement ce que nous observons sur nos propres éprouvettes (ill. 11). Comme nous le constatons sur ce graphe, les courbes de réflexion SCI et SCE s'infléchissent à partir de la valeur de 0,40 pour le liant vinylique Palmer A-70 (ill. 5). Cette valeur est justement celle de la CVPc du système bleu outremer – liant vinylique Palmer.

60 Feller, R. L. & Kunz, N., *Op cit.*, p. 67.

61 Feller, R. L. & Kunz, N., *Op cit.*, p. 68.

Cette information pourrait nous être utile dans la conception de notre protocole, du fait de la similitude des matériaux utilisés. De plus la détection instrumentale de la CVPc pourrait permettre de déterminer le seuil à partir duquel une couche picturale devient pulvéulente. Enfin la méthode de mesure sans contact serait adaptée au respect de l'intégrité physique d'un bien culturel.

Avant de proposer un protocole cherchant à comprendre les interactions entre la pulvéulence, la concentration volumique pigmentaire et les effets de surface par le biais de mesures quantitatives, une exploration plus complète de la bibliographie traitant de la conservation-restauration des biens culturels et de la recherche sur les matériaux semble nécessaire.

## **I) B. Bibliographie critique de l'étude et de la mesure du degré de pulvéulence**

L'analyse des articles publiés dans des revues spécialisées de la conservation-restauration des biens culturels mais aussi dans des revues de sciences fondamentales ou de sciences de l'ingénieur nous a permis de positionner notre sujet de recherche et d'en tirer des enseignements quant à la conception de leurs protocoles expérimentaux.

Si l'on estime que le nombre de publications reflète la popularité d'un sujet, une recherche par mot-clé sur la base de données des résumés d'articles traitant de la conservation et restauration des biens culturels, donne un premier aperçu du faible intérêt des études internationales pour la pulvéulence. *Powdery* apparaît comme mot-clé de 202 publications et *matte paint*, apparaît 163 fois. Ces chiffres sont à comparer avec les quelques 7 255 articles qui contiennent le mot-clé *cleaning*.<sup>62</sup>

Pour décrypter les publications liées à la question de la pulvéulence, une grille de lecture a été conçue sur le modèle de Reedy & Reedy.<sup>63</sup> Nous avons recensé l'origine et les qualifications des expérimentateurs, les problématiques qui les intéressent ainsi

---

62 Base AATA : *Abstracts of international conservation literature*, , consulté le 26 mars 2017.

63 Reedy, T. J. & Reedy, C. L., *Principles of Experimental Design for Art Conservation Research*, GCI Scientific Program Report, J. Paul Getty Trust, Malibu (E.U), 1992, p. 90.

que la nature des examens qu'ils mettent en œuvre pour évaluer le degré de la pulvéulence des strates étudiées.

Le tableau ci-dessous regroupe les intitulés de rubriques qui ont servi à hiérarchiser les informations des articles concernés.

<b>Statut de l'expérimentateur</b>	Scientifiques / chercheurs / restaurateurs / étudiants
<b>Domaine exercé</b>	Peinture / sculpture / arts graphiques
<b>Nature de la problématique</b>	Esthétique / structurelle / technologique
<b>Contexte</b>	Définition de la pulvéulence / description du phénomène / compréhension des mécanismes physiques
<b>Unités de mesure</b>	A quelle échelle travaillent-ils ? Quels instruments utilisent-ils ? Qu'observent-ils ?
<b>Analyses &amp; Tests</b>	Destructif ? Non invasif ? Éprouvettes ?
<b>Reproductibilité</b>	
<b>Résultats</b>	Comparaison avant / après  Quantification

La sélection de notre corpus d'articles s'est concentrée dans un premier temps au domaine de la peinture. Notre travail s'est appuyé sur la synthèse bibliographique d'Eric Hansen, scientifique de la conservation au *Getty Conservation Institute* intitulée *Matte paint : its history and technology, analysis, properties and conservation treatments with special emphasis on ethnographic objects* publiée en 1995.<sup>64</sup> Puis nous avons élargi les lectures à d'autres domaines du patrimoine comme les arts graphiques, la sculpture sur pierre et les objets ethnographiques.

---

<sup>64</sup> Hansen, E., Walston, S., Heams Bishop, M., (eds), *Matte Paint : Its history and technology, analysis, properties, and treatment, with special emphasis on ethnographic objects*, the Getty Conservation Institute, Los Angeles (E-U), 1994.



L'objectif de notre démarche est d'abord de détailler les méthodologies qui s'intéressent à la pulvéulence et ensuite de trouver une méthode d'examen non destructive et quantitative du degré de pulvéulence d'une couche picturale mate.

## **I) B.1. En peinture**

Grâce à la grille de lecture, nous avons pu classer la trentaine d'articles en trois catégories : (1) évaluation de la compatibilité des matériaux, (2) mise en œuvre de nouveaux procédés d'application des matériaux de consolidation et enfin (3) transfert de technologies de nouveaux types d'examens en direction des biens culturels.

Au sein de ces catégories, nous avons analysé la façon dont les auteurs conçoivent leurs protocoles, la façon dont ils perçoivent la pulvéulence et enfin la façon dont ils mettent en place des mesures quantitatives du degré de pulvéulence dans le cadre de l'objet de leurs recherches.

### **I) B.1.1. Évaluation de la compatibilité des matériaux**

Parmi les articles de cette catégorie, la pulvéulence n'est pas étudiée en tant que telle. Elle est un prétexte à une étude appliquée des matériaux de consolidation et ne fait l'objet d'aucune mesure quantitative. Les chercheurs, pour la plupart en sciences des matériaux, se focalisent seulement sur la composition chimique et sur les mécanismes de vieillissement, oubliant la complexité de la stratigraphie d'un bien culturel et de son environnement. De nombreux articles sont consacrés depuis le début des années 2000 à l'Aquazol®, un des noms de marque du poly(2-ethyl-2-oxazoline). Les études concernant cette molécule effectuent des analyses élémentaires et vérifient son innocuité et sa stabilité face aux matériaux originaux de l'œuvre.<sup>65</sup>

---

65 Wolbers, R. et al, "Poly(2-Ethyl-2-Oxazoline): A new conservation consolidant" in DORGE, V. & CAREY HOWLETT, F., *Painted Wood: History and Conservation. Proceedings of a symposium organized by the Wooden Artifacts Group of the American Institute for Conservation of Historic and Artistic Works and the Foundation of the AIC, held at the Colonial Williamsburg Foundation Williamsburg, Virginia 11–14 November 1994*. The Getty Conservation Institute, Los Angeles (E-U), 1998, p. 514-527.

Colombo, A. *et al.*, "Highly transparent poly(2-ethyl-2-oxazoline)-TiO<sub>2</sub> nanocomposite coating for the conservation of matte painted artworks" in *RSC Advances*, n°5, 2015, p. 84879-84888.

La même démarche est par exemple rencontrée vis-à-vis du JunFunori, adhésif extrait d'une algue japonaise. Certains auteurs louent ses qualités de matité et de stabilité à la lumière, tout en regrettant son manque de pouvoir collant.<sup>66</sup>

Ces matériaux industriels n'étant pas spécifiquement conçus pour l'application aux biens culturels, les chercheurs essaient de justifier leur emploi en conservation-restauration en démontrant leur innocuité sur les matériaux constitutifs du bien culturel.

A notre avis il manque, dans ces études, une réelle prise en compte de la pulvéulence, en tant que phénomène. Elle n'est pas étudiée en tant que telle, mais sous l'angle de la consolidation. De plus la rigueur expérimentale semble faire défaut des protocoles, puisqu'ils valident l'efficacité d'une consolidation sans avoir une mesure de référence du degré de pulvéulence initial. Nous avons été vigilants à respecter une certaine cohérence au moment de la conception de notre protocole, tout en étant conscients de certaines limites abordées plus loin.

### **I) B.1.2. Mise en œuvre de nouveaux procédés d'application**

En parallèle de la recherche de molécules capables d'être utiles à la consolidation des couches colorées pulvérulentes, la mise au point de procédés d'application est une autre voie de recherche poursuivie par plusieurs auteurs.

Par exemple Stephen Michalski, chercheur au *Canadian Conservation Institute* étudie la possibilité de nébuliser le consolidant. Eric Hansen quant à lui propose l'usage de poche hermétique avec vapeur saturante de consolidant.<sup>67</sup> Comme précédemment

---

Ebert, B. et al., "Aquazol as a consolidant for matte paint on Vietnamese paintings" in *Journal of the Institute of Conservation*, n°35 ( 1), 2012, p. 62-76.

66 Michel, F. « Funori and JunFunori: two related consolidants with surprising properties » in *Proceedings of Symposium 2011 – Adhesives and Consolidants for Conservation, CCI Symposium, Ottawa (Canada) 17 – 21 octobre 2011*.

67 Michalki, S. & Dignard, C., « Ultrasonic misting. Part 1, experiments on appearance change and improvement in bonding » in *Journal of the American Institute for Conservation*, n°36 (2), 1997, p. 109-126.

Hansen, E. et al., « Consolidation of porous paint in a vapor-saturated atmosphere: a technique for minimizing changes in the appearance of powdering matte paint » in *Journal of the American Institute for Conservation*, n° 32 ( 1), 1993, p. 1-14.

nous remarquons qu'ils se focalisent exclusivement sur les conséquences de la consolidation sans prendre en compte les mécanismes réels de la pulvérulence, ni l'efficacité de leur traitement.

Nous pouvons formuler deux remarques supplémentaires. D'une part le manque de réalisme de leurs éprouvettes, peu représentatives de véritables biens culturels. En effet dans le premier cas ci-dessus, elles sont préparées avec des pigments broyés à l'eau dépourvus de liant puis les mélanges sont appliqués sur une lamelle de verre.<sup>68</sup> Seule, Bettina Ebert, conservatrice-restauratrice norvégienne évoque l'étude d'un cas concret sur les peintures d'un artiste vietnamien, Nguyen Trong Kiem.<sup>69</sup> D'autre part, dans ces études, il est intéressant de noter un recours systématique aux examens colorimétriques à partir des années 1990, seuls à même de confirmer le faible impact de l'ajout de consolidant sur la perception esthétique du bien culturel. Quelle serait l'explication de cette focalisation sur la question des modifications optiques ?

L'image a une connotation esthétique bien plus forte que la matérialité : l'image véhiculée par une œuvre d'art est essentielle par rapport aux autres instances historique et matérielle. Les recherches se concentrent sur ce qui se voit. L'apparence de l'objet culturel est primordiale en termes de respect de son intégrité physique mais aussi de la conservation de sa signification. De plus, on pourrait émettre l'hypothèse que la mesure colorimétrique est une méthode simple à mettre en place, normalisée par la Commission Internationale de l'Éclairage. Les résultats apportent des réponses claires à l'expérimentateur, en termes de comparaison des paramètres de l'espace colorimétrique  $L^*a^*b^*$ , avant et après traitement de consolidation.

En outre il nous semble qu'il y ait une inadéquation des unités de mesure. La pulvérulence se définit à l'échelle microscopique par une perte de cohésion du film peint. Or les expérimentateurs prennent seulement en compte l'échelle macroscopique via les mesures colorimétriques de  $\Delta E^*$ .

---

68 Michalki, S. & Dignard, C., *Op cit.*, p. 112.

69 Ebert, B. *et al.*, *Op cit.*, p. 62.

### **I) B.1.3. Transfert de technologies de nouveaux types d'examens en direction des biens culturels**

La dernière catégorie identifiée est celle du transfert technologique opéré par des physiciens ou chercheurs des matériaux, dont les travaux ne sont pas en relation avec les biens culturels. Nous avons exploré cette bibliographie en vue de trouver une méthode d'examen de la pulvérulence, non destructive et non invasive qui respecte la nature ontologique de l'œuvre d'art.

En effet nous nous sommes rendus compte que la plupart des études dans le domaine de la conservation-restauration s'appuient sur des résultats extraits d'éprouvettes dont nous avons déjà signalé la faible représentativité relativement à une œuvre peinte. Sur ces éprouvettes, les chercheurs font des tests de résistance mécanique afin de vérifier la performance du traitement de consolidation. Par exemple Michalski consacre un paragraphe à la mesure de l'amélioration de la cohésion de la couche picturale après application du consolidant (*strength improvement*). Ils utilisent deux tests : l'un par contact, *contact transference* qui consiste à passer l'éprouvette dans un laminoir, la face étant recouvert d'un papier blanc ; l'autre par abrasion, *brushing abrasion* qui consiste à brosser la surface avec une machine à peindre, brosse à poils durs. La qualité de consolidation est évaluée selon une échelle à trois niveaux : RAS/ + / ++.<sup>70</sup> Nous qui cherchons à évaluer le degré de pulvérulence directement sur l'œuvre, il semble que ces méthodes soient incompatibles avec la nature même d'une peinture.

Ingénieurs des sciences des matériaux, scientifiques de la conservation et physiciens développent des instruments dans des domaines industriels, s'interrogent d'un point de vue technologique et envisagent l'application des résultats de leurs recherches aux biens culturels. Ils adaptent une technologie existante et souvent extrêmement complexe, l'améliorent en termes de résolution et s'interrogent sur les possibilités d'application aux biens culturels : micro-laminographie (Joris Dik), tomographie en cohérence optique par Transformées de Fourier (Piotr Targowski), microscopie

---

<sup>70</sup> Michalski, S. *et al.*, *Op cit.*, p. 116.

confocale (Patrick Sandoz), microscopie à force atomique (Robert Jones ou Jan Cwajna).<sup>71</sup>

La profusion de technologies évoquée dans ces articles offre un potentiel d'examen et d'exploration de la matière, mais sans tenir compte de la spécificité d'un bien culturel. En effet ces auteurs ne s'intéressent pas aux objets. Leurs recherches sont fondamentales et les éventuels débouchés sont industriels. On serait tenté de penser que l'objet n'est qu'un prétexte en vue d'un développement de nouveaux instruments ou de nouveaux procédés d'examen.<sup>72</sup>

Malgré la déconnexion des problématiques des publications sélectionnées avec le champ de la conservation-restauration, il nous semble intéressant de retenir la qualité des mesures de ces instruments, puisqu'elles sont sans contact et donc non destructive. De plus leur résolution de l'ordre du micron nous offre une compréhension à l'échelle microscopique.

L'élargissement des recherches bibliographiques à d'autres domaines pourrait-il apporter d'autres réponses ? Deux d'entre eux ont été retenus pour enrichir le propos qui se démarquent par la qualité de leurs protocoles expérimentaux, à savoir la sculpture monumentale et les arts graphiques.

---

71 Dik, J. et al., "Three-dimensional imaging of paint layers and paint substructures with synchrotron radiation computed  $\mu$ -laminography" in *Journal of the American Institute for Conservation*, n°48 (3), 2009, p. 185-197.

Targowski, P. et al., « The Application of Optical Coherence Tomography to Non-Destructive Examination of Museum Objects » in *Studies in Conservation*, n° 49 (2), 2004, p. 107-114.

Sandoz, P. et al., « Roughness measurement by confocal microscopy for brightness characterization and surface waviness visibility evaluation in *Wear*, n°201, 1996, p.186-192.

Jones, R. et al., « Inter-particle forces in cohesive powders studied by AFM: effects of relative humidity, particle size and wall adhesion » in *Powder Technology*, n°132, 2003, p. 196– 210.

Cwajna, J. & Roskosz, S., « Application of confocal laser scanning microscopy, atomic force microscopy, and the profilometric method in quantitative fractography » in *Materials characterization*, n°46, 2001, p. 183 – 187.

Kunaver, M. et al., « The degree of dispersion of pigments in powder coatings » in *Dyes and Pigments*, n°57, 2003, p. 235 – 243.

Wei, W., "Surface micro-roughness, cleaning and perception" in *Proceedings of the ICOM-CC 16th Triennial Meeting, Lisbon (Portugal), 19-23 September 2011*, 2012.

72 Sandoz, P. et al., *Op cit.*

## I) B.2. En sculpture monumentale

Par le nombre de publications et de la qualité de leurs protocoles, l'efficacité de la consolidation dans ce domaine est plus souvent interrogée que dans celui de la peinture.<sup>73</sup> Bigas et Martinet dans leur ouvrage collectif *Pierre et Patrimoine, Connaissance et Conservation*, listent les principaux critères d'évaluation et les exigences physico-chimiques d'un traitement de consolidation dans le cadre des Monuments Historiques suivant trois catégories : la résistance, la porosité et la modification optique.<sup>74</sup> Les auteurs mettent en avant l'évaluation de la performance et de la durabilité des systèmes consolidés en s'appuyant sur des tests de dureté superficielle (rayure, scléromètre de Martens), sur la résistance à l'abrasion ou sur la résistance au disque métallique.<sup>75</sup> Philippon *et al.* ajoutent au protocole la mesure de la vitesse de propagation du son et de la fréquence de résonance.<sup>76</sup>

Conscients que nous nous intéressons à des matériaux et à des échelles de travail très différents de ceux de la peinture de chevalet, nous retenons la rigueur scientifique des méthodes de mesure et la qualité des protocoles mis en œuvre. Pour la pierre, la pulvérulence a une conséquence directe sur la structure du matériau. La prise en compte dans le protocole de la performance de l'intervention est un enseignement qui fait écho à notre propre démarche.

---

73 Review concernant le bâti Prueher, B. « Consolidants, Coatings and water-repellent treatments for historic Masonry : a selected annotated bibliography » in *Association for Preservation Technology Bulletin*, n° 26 (4), 1995, p. 58 -64.

74 Bigas, J-P. & Martinet, G. (dir.), *Pierre et Patrimoine, Connaissance et Conservation*, Actes Sud, Arles et Céfracor, Paris, 2009, p.166-175.

75 Cas intéressant de la *Drilling Resistance Measurement System* (DRMS effectuée sur les fresques : Fratini, F. et al., « A new portable system for determining the state of conservation of monumental stones » in *Materials and structures*, n°39 (2), 2006, p. 139-147.

Rescic, S. et al., « Evaluation of consolidant treatments on fresco walls using the DRMS method : preliminary tests with abrasive drill bits » in RODRIGUES, J. D. & MIMOSO J.M. *Proceedings of the international symposium stone consolidation in cultural heritage : research and practice, Lisbon 6 – 7th may, 2008*, p. 61-70.

76 Philippon, J. *et al.*, *La conservation de la pierre monumentale en France*, Presses du CNRS, Paris, 1992, p. 105 : NBN EN 14579 Méthodes d'essai pour pierres naturelles. Détermination de la vitesse de propagation du son (2004).

### **I) B.3. Les arts graphiques**

Les tracés pulvérulents en arts graphiques se rapprochent plus en termes de matérialité et d'échelle d'étude de la peinture de chevalet. L'analyse d'articles traitant de l'usage et de l'impact des fixatifs sur l'œuvre pourrait enrichir notre vision.

Talbot *et al*, présentent une expérimentation visant à tester les matériaux, les solvants et les méthodes d'imprégnation. Ils font subir à leurs éprouvettes des tests de vieillissement à la lumière et à l'humidité.<sup>77</sup> Leurs résultats sont évalués au regard des modifications optiques (couleurs et opacité) mais aussi de la résistance mécanique des adhésifs de consolidation. Ils font référence aux normes AFNOR NFQ 03004 et 03053 suivant une résistance à la tractions et à l'éclatement.

Là encore, ce ne sont pas la nature des méthodes d'examens qui nous renseigne le plus mais plutôt la rigueur scientifique des méthodes de mesure et la qualité des protocoles mis en œuvre, qui font défaut dans les articles étudiés dans le domaine de la peinture.

### **I) C. Conclusion de l'analyse de la bibliographie**

En conclusion de cette partie, l'analyse de la bibliographie sélectionnée offre un bilan cohérent quant à la considération du phénomène de pulvéulence et à la constitution des protocoles expérimentaux. Quel que soit le domaine d'étude des biens culturels,

- la pulvéulence n'est pas étudiée en tant que telle, mais sous l'angle de la consolidation. Le point de vue évoqué par les études citées se focalise sur la manière de remédier à la pulvéulence. Une couche picturale est diagnostiquée pulvérulente sans quantification, seulement de manière binaire ;
- les éprouvettes sont peu fidèles à la stratigraphie d'un tableau et les tests réalisés sont destructifs à plus ou moins grande échelle ;

---

<sup>77</sup> Talbot, R. et al., « Étude sur les méthodes de fixation des tracés pulvérulents » in *Collectif, Analyse et conservation des documents graphiques et sonores : travaux du centre de Recherches sur la conservation des Documents Graphiques 1982-1983*, Editions du CNRS, Paris, 1984, p. 75.

- il y a une inadéquation des unités de mesure. La pulvérulence se définit à l'échelle microscopique par une perte de cohésion du film peint. Ce sont les études issues des sciences de la Nature qui explicitent le mieux leurs échelles de travail et leurs unités de mesure, apportant une information sur l'état de la surface à l'échelle du micron. Mais il est toutefois regrettable qu'ils n'associent pas dans leurs conclusions la perception des sciences humaines, c'est-à-dire la prise en compte de l'objet avec les valeurs qui lui sont associées.

### **I) D. Définition d'un cahier des charges en vue de la phase expérimentale**

L'analyse de la bibliographie ne nous a pas permis de répondre à notre sujet de recherche qui est d'évaluer le degré de pulvérulence d'une couche picturale mate par l'intermédiaire d'une méthode d'examen quantitative sans contact. Le bien culturel n'étant un terrain d'expériences, nous devons concevoir un protocole expérimental qui nous permet d'isoler les paramètres et de répondre à notre questionnement. Enfin l'expérimentation, comparativement à une recherche bibliographique, est porteuse de ses propres enseignements : le *faire* nous met face à une réalité et à certaines difficultés que la théorie occulte. Nous pensons entre autres aux gestes et aux procédés liés à la préparation de l'IKB qui n'existent pas de façon matérielle mais sont contingents au *faire*.

Premièrement, le cahier des charges de notre expérimentation doit tenir compte des spécificités d'un bien culturel qui se déclinent en respect de son intégrité physique et de sa signification. Nous prévoyons d'enrichir notre approche de sciences humaines par les atouts de la recherche fondamentale, c'est-à-dire la rigueur, la maîtrise des échelles de mesure et la reproductibilité.

La logique de notre étude s'inscrit dans une considération des différentes échelles d'observation matière < matériau < objet en conservant comme préoccupation



essentielle l'objet. Il est abordé selon une observation à l'échelle microscopique mais les conclusions se situent à l'échelle macroscopique. Nous cherchons à mettre en perspective les informations issues des sciences fondamentales avec la perception des sciences humaines où le sujet de recherche fait partie de l'étude. Il faudra veiller à ne pas succomber aux sirènes des sciences naturelles qui nous inviteraient à chercher une méthode de quantification des forces internes de cohésion et suggéreraient ensuite une mesure absolue du degré de pulvéulence.

Deuxièmement, le bien culturel est unique et porteur de valeurs historiques, esthétiques et artistiques. Il faut contraindre l'usage de l'instrumentation à une observation sans contact et non destructive afin de ne pas mettre en péril son intégrité physique. Il faudra privilégier la mesure à distance et pour cela le recours à l'interaction lumière / matière est la seule voie envisageable. Toutefois il est nécessaire d'être conscient des limites d'une telle proposition en se confrontant au réel : la pulvéulence n'est pas qu'un phénomène de surface et ne se traduit pas que par une modification de l'aspect de surface. Par exemple, la quantification de la matité par un brillance-mètre ne fournirait pas pour autant une compréhension de la pulvéulence. CVP et pulvéulence sont à étudier dans un premier temps par souci de simplification et pour vérifier expérimentalement que le seuil de la CVPc peut bien être détecté par un examen sans contact ; mais dans un second temps il faudrait s'assurer que l'interaction lumière / matière est un indicateur fiable du degré de pulvéulence. C'est pourquoi une étude de cas concrets s'impose pour mettre en perspective les résultats scientifiques.

Finalement, conscient de la complexité de méthodes d'examens utilisées en laboratoire, nous proposons une déclinaison plus facile à mettre en œuvre, destinée au professionnel indépendant dans son atelier, qui n'a pas accès à une instrumentation onéreuse ni à une compétence experte des scientifiques. Cette exigence du cahier des charges est toutefois à moduler puisque les conservateurs-restaurateurs sont depuis longtemps intervenus sur les œuvres pulvéulentes sans avoir besoin de conseils scientifiques. Ils sont capables de mobiliser d'autres outils tels leur savoir-faire, leur sensibilité, leur expérience et leur propre méthodologie.<sup>78</sup>

---

<sup>78</sup> Exemple des deux cas analysés en 3<sup>e</sup> partie, p. 103-119.

## **2e partie : expérimentations**

Nous nous sommes appuyés sur le cahier des charges édicté ci-dessus pour mettre en œuvre le protocole expérimental qui transcende la posture binaire du diagnostic de la pulvérulence, pour envisager cet état dans toute sa gamme de graduation depuis la légère perte de cohésion à la pulvérulence la plus menaçante. Nous espérons aller au-delà de la simple estimation d'un risque de perte de matière pour affiner le constat d'état et le diagnostic. Nous cherchons à évaluer sur l'œuvre directement et sans contact le stade critique où l'intervention consolidante devient primordiale.

### **II) A. Élaboration du protocole expérimental**

#### **II) A.1. Choix des caractéristiques des éprouvettes**

Suite à l'analyse critique du corpus sélectionné dans des domaines variés comme l'industrie des peintures ou la conservation des biens culturels, différentes questions semblent pertinentes à se poser :

- existe-t-il une typologie de la pulvérulence en fonction des causes d'altération ?
- peut-on appliquer une méthode de mesure du degré de pulvérulence d'une couche colorée ?

##### **II) A.1.1. Typologie de la pulvérulence : 1<sup>e</sup> série d'expérimentation**

D'après la bibliographie, il a été détaillé précédemment que quatre causes principales d'altération pouvaient être à l'origine de la décohésion d'une peinture mate, d'une part l'embu et la concentration volumique pigmentaire, contingents au procédé créatif de l'artiste et d'autre part le vieillissement ou la lixiviation liés aux vicissitudes de

l'œuvre. Pour explorer la question de la typologie, un liant et un pigment sont choisis pour constituer les éprouvettes.

*Hypothèse* : les résultats de l'observation des surfaces pulvérulentes seraient-ils différents en fonction de l'origine du phénomène, qu'il soit un état ou une évolution ?

*Résultats attendus* : le microscope électronique à balayage est un outil d'examen adapté pour tenter de discriminer les différences d'effet de surface en fonction de l'origine de l'altération. On s'attend à une possibilité de discrimination des observations afin de mieux comprendre le phénomène de pulvérulence.

## II) A.1.2. Quantification du degré de pulvérulence suivant un seul paramètre : 2<sup>e</sup> série d'expérimentation

La compréhension de la matérialité et du *faire* de l'artiste concernant l'*International Klein Blue* nous intéresse depuis le début de notre formation en conservation-restauration. Les années précédentes, dans le cadre des dossiers *Palette*, nous avons recueilli des informations à propos du support, du liant et de la couleur dans le but de réaliser une reconstitution technologiquement documentée d'une des œuvres d'Yves Klein, *ANT 76 Grande Anthropophagie bleue, Hommage à Tennessee Williams* (n° inv. : AM 2000-154). Pour préparer le médium caractéristique de cette couleur, Édouard Adam, marchand de couleurs d'Yves Klein utilisait la résine polyacétate de vinyle, Rhodopas® M60A, reçu par bidon de 200 L et la diluait à froid dans un seau avec un mélange éthanol / acétate d'éthyle. Il ajoutait le diluant au fur et à mesure pour obtenir la viscosité souhaitée puis rajoutait quelques gouttes de plastifiant, soit du tricrésylphosphate soit du phtalate de di-butyle selon son choix. Il obtenait donc un liant incolore qu'il pouvait conditionner. Ensuite la préparation de la couleur se faisait sur la pierre à broyer en intégrant progressivement le pigment de bleu outremer au liant, procédé inverse de ce qui est fait habituellement. La proportion en masse pigment / liant est respectivement 40 et 60%.<sup>79</sup> Cette formulation donna une totale satisfaction à Yves Klein qui se l'appropriera au point de déposer cette recette à l'Institut National de la

---

<sup>79</sup> pour plus de détails sur la recette, voir Bernard, G., *Op cit.*, et témoignages oraux d'Édouard Adam les 3 décembre 2013 et 13 octobre 2014.

Propriété Intellectuelle sous forme d'une enveloppe Soleau n° 63 471 en mai 1960<sup>80</sup>. Il nomme cette couleur l'*International Klein Blue* (IKB) (ill. 6).

Transcription du texte respectant la typographie : « L'international Klein Blue a été mis au point par Yves Klein le monochrome dans le courant des années 1954 – 55 – 56 - 57 – 58. La Formule chimique actuelle en est exactement :

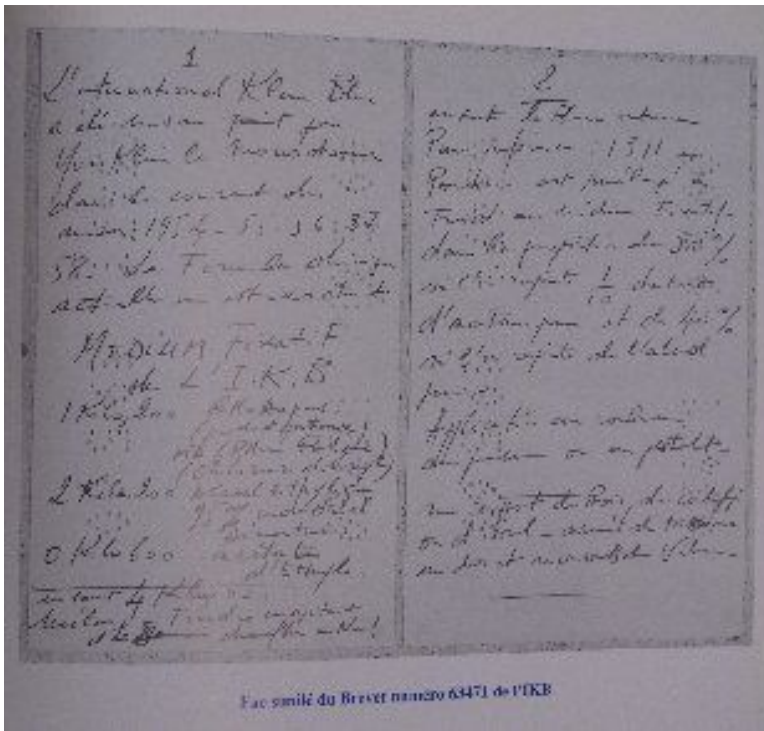


Illustration 6: Fac simulé de l'enveloppe Soleau n° 63471, mai 1960 - J.-Y. MOCK

MEDIUM fixatif de l'I.K.B  
1 kilo, 200 : RHodopas (produit pâteux), MA (RHône-Poulenc) (chlorure de vinyle)  
2 kilo, 200 : Alcool Éthylique 95 % Industriel Dénaturé,  
0 kilo 600 : acétate d'éthyle.

En tout 4 kilo, 00.  
Mélange à froid en agitant et ne jamais chauffer à nu ! Ensuite le bleu outremer pur référence 1311 en poudre est mélangé à froid au médium fixatif dans la proportion de 50 % si l'on rajoute 1/10 du tout d'acétone pure de 40 % si l'on rajoute de l'alcool pur.

Application au rouleau, au pinceau ou au pistolet sur support de bois de contreplaqué ou d'isorel armés de tasseaux au dos et recouverts de film

Fait à Nemours, le 19 mai 1960 à 21h »

Afin d'inscrire notre mémoire dans la continuité, nous avons choisi de nous inspirer de ces travaux pour la présente expérimentation. La concentration volumique pigmentaire est choisie comme origine de la pulvérulence. Nous la faisons varier pour obtenir une gamme de degré de pulvérulence en fonction du rapport de quantité liant / pigment. En plus du liant vinylique utilisé par Klein, nous choisissons un liant acrylique, fréquent en Art Moderne, associé à un pigment bleu outremer. La CVP varie selon neuf valeurs : elles ont été choisies pour cerner plus finement l'environnement proche de la CVPc.

80 Mock, J. - Y., *Catalogue d'exposition Yves Klein 3 mars – 23 mai 1983*. Centre George Pompidou, Paris, 1983.

*Méthode* : l'interaction Lumière / Matière permet des mesures sans contact. Parmi le panel des instruments, nous avons retenu le goniophotomètre qui effectue des mesures de la lumière réfléchi par l'éprouvette selon diverses géométries d'incidence. Il recueille les spectres de réflexion pour dresser une cartographie grâce à 80 récepteurs répartis sur une hémisphère. La lecture des données se présente sous la forme d'un dôme tridimensionnel révélant l'état de surface de l'échantillon en fonction des réflexions diffuses et spéculaires. Il est pertinent d'associer au goniophotomètre, un instrument d'imagerie et de topographie pour visualiser la rugosité de la surface à une échelle micrométrique. Une mesure micro-topographique est effectuée sur les mêmes éprouvettes qui affine la visualisation des reliefs grâce à l'usage d'un microscope à force atomique. La complémentarité des méthodes est un des éléments garantissant la prise en compte de la complexité du phénomène.

*Résultats attendus* : deux liants fréquemment rencontrés dans les œuvres d'Art Moderne et Contemporain offrent la possibilité de comparer les résultats, lorsqu'ils dispersent un même pigment. Le protocole est conçu pour corréler la réponse optique et le degré de pulvérulence, relatif à la CVPc.

## **II) B. Déroulement de la phase expérimentale : Matériel et méthodes**

La préparation des éprouvettes s'est inspirée des données recueillies par les dossiers *Palette* antérieures et la connaissance de la matérialité de certaines œuvres d'Yves Klein.

### **II) B.1. Outils**

On a privilégié la pesée des différents matériaux aux mesures de volume par souci de précision. Les masses ont été mesurées à 0,01 g près grâce à l'utilisation d'une balance de haute précision à  $10^{-4}$  g près (Acculab ALC 210.4, Sartorius). Ce protocole de pesée a été respecté à chaque étape de l'élaboration des ingrédients.

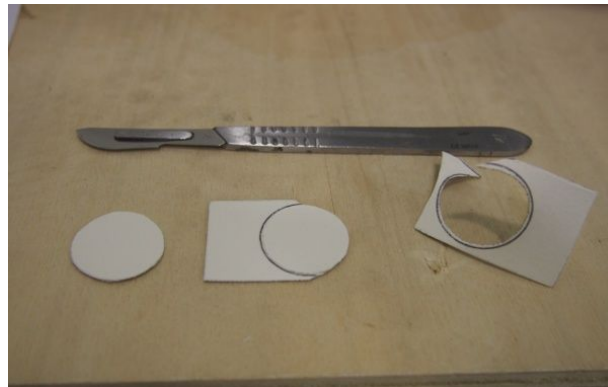
## II) B.2. Préparation du support

Pour constituer un support crédible, nous nous sommes inspirés des stratigraphies présumées de certains monochromes de l'artiste. Sans avoir trouvé d'informations précises ni sur la nature et ni sur l'auteur des marouflages des œuvres de Klein, nous avons fait l'hypothèse d'un papier épais collé sur une toile tendue sur châssis.

Nous avons apprêté une toile de lin, mise en extension sur bâti *Rigamonti*. Elle a été décatie à l'eau chaude et brossée. Après relaxation de la toile, une enduction de colle de peau de lapin à 7 % est appliquée sur toute la surface au pinceau brosse. Le papier choisi est de grammage épais, pur coton 220 g (Fabriano). La feuille de papier est détrempeée à l'eau des deux côtés ; la toile est enduite d'adhésif, un éthylène vinyl acétate de pH neutre (EVA, Bresciani) dilué à l'eau. Après une mise sous poids, l'adhésif est réactivé dans le frais par le revers, à la chaleur d'un fer à repasser puis on laisse sécher une journée (**ill. 7 & 8**).



*Illustration 8: Papier collé sur toile, tendue sur bâti Rigamonti en cours de séchage - Crédits photo : GB*



*Illustration 7: Découpe des disques, support des éprouvettes (stratigraphie de papier collé sur toile) - Crédits photo : GB*

Le choix de fabriquer nos éprouvettes de façon artisanale a l'inconvénient de multiplier les paramètres de mise en œuvre : hétérogénéité du support, perméabilité du papier, etc. Ceci a pour conséquence de multiplier les paramètres d'intervention et la variabilité de nos résultats.

Nous détaillons à présent l'élaboration des deux liants, le choix des pigments et le mode de préparation des couleurs, avant leurs applications.

## II) B.3. Préparation des couleurs

### II) B.3.1. Préparation du liant vinylique

1<sup>o</sup> étape : préparation du liant PVAc à partir des granulés

Pour se rapprocher des caractéristiques du liant Rhodopas® M60A, matériau constitutif de l'IKB, le choix se porte sur une résine de polyacétate de vinyle de masse moyenne 30k (Kremer, fiche technique en **annexe n°1**). 60 g de granulés de PVAc sont pesés, ficelés dans une ballottine d'organza et mis à tremper dans l'équivalent en poids de 100 mL d'éthanol à 99 % soit 78,5 g. Nous laissons solubiliser le tout pendant 48h, à froid. L'imbibition demande du temps : les granules se gonflent de solvant mais la solubilisation complète prend plusieurs jours, voire une semaine. Ainsi on obtient une solution visqueuse à 60 % en poids sec, proche de la description faite par M. Adam.<sup>81</sup>

2<sup>o</sup> étape : préparation du liant

Selon les proportions décrites par l'enveloppe Soleau de l'IKB, nous diluons le liant avec un mélange de solvants afin d'obtenir la proportion adéquate de 43 % (**ill. 6**). 106 mL d'éthanol à 99 % dilués avec de l'eau distillée et 26 mL d'acétate d'éthyle. Les solvants ont été pesés pour plus de précision ( $\rho = 0,789 \text{ g.cm}^{-3}$  pour l'éthanol et  $\rho = 0,924 \text{ g.cm}^{-3}$  pour l'acétate d'éthyle). Le mélange repose 48 heures de plus.

---

<sup>81</sup> Entretien avec M. Édouard Adam le 3 décembre 2013 et le 13 octobre 2014.

D'après les valeurs actualisées, les paramètres de solubilité du mélange sont  $F_d = 39$  ;  $F_p = 20$  &  $F_H = 41$  et si l'on tient compte de l'ajout de 10 % en masse d'acétone, le diluant a les caractéristiques suivantes  $F_d = 40$  ;  $F_p = 21$  et  $F_H = 39$ .<sup>82</sup>

Le liant PVAc final est utilisé à une concentration de 24 % en poids sec.

3<sup>e</sup> étape : ajout du plastifiant

D'après le témoignage de M. Adam, confirmé par les analyses élémentaires, quelques gouttes de plastifiant étaient ajoutées au moment du mélange de la résine.<sup>83</sup> En effet la souplesse de la solution colloïdale dépend de la présence de liquide intergranulaire<sup>84</sup>. Or le mélange de solvants éthanol/acétate d'éthyle s'évapore rapidement. Le recours à une plastification externe par ajout d'une molécule très peu volatile comme le phtalate de dibutyle (n° CAS : 84-74-2 avec une  $V_e = 200$ ) modifie le comportement mécanique de la résine, la rendant plus souple.<sup>85</sup> Le phtalate de dibutyle provient du fournisseur Aldrich-Sigma (pureté 99,9%).

## II) B.3.2. Choix du liant acrylique

Pour le liant acrylique, il a été choisi une émulsion du commerce, un médium mat déjà préparé (Liquitex, médium mat dont la fiche technique est en **annexe n° 2**).

## II) B.3.3. Choix des pigments

Pour continuer la recherche engagée depuis 2013, les deux pigments choisis font référence au travail d'Yves Klein. Un bleu outremer foncé (Kremer, réf. 45010) et un rose (Kremer, studio Pink, réf. 55470) ont été sélectionnés (fiches techniques en **annexe n° 3 & 4**).

---

<sup>82</sup>Horie, V., *Materials for conservation. Organic consolidants, adhesives and coatings*, Butterworth-Heinemann, Amsterdam (Pays-Bas), 2010 : appendix 2.1 solvent properties.

<sup>83</sup> Sonoda, N., et al., « Identification des matériaux synthétiques dans les peintures modernes II - Pigments organiques et matière picturale » in *Studies in Conservation*, n°38, 1993, p. 118 : analyse élémentaire faite sur un échantillon Monochrome vert, Yves Klein (1960), Centre Pompidou, Paris.

<sup>84</sup> Delcroix, G. & Havel, M., *Op cit.*, p. 185.

<sup>85</sup> Base CarAtex pour les valeurs de vitesse d'évaporation, consulté le 22 mars 2017.



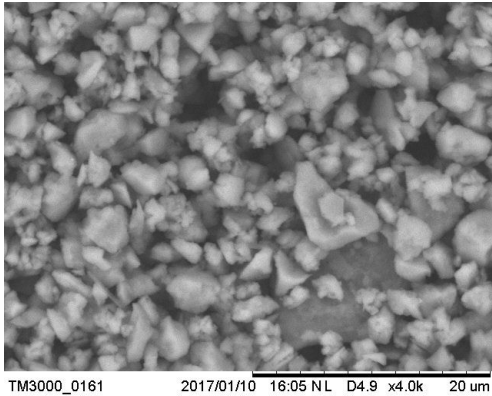


Illustration 9: Vision au microscope électronique à balayage d'un échantillon préparé à partir de bleu outremer, très peu lié au PVAc. Les tailles des grains de pigment sont d'environ 2 à 3  $\mu\text{m}$  et de forme anguleuse

Le bleu outremer Kremer est très finement broyé, ressemblant à la texture du talc. Les images MEB confirment une taille moyenne d'environ 2  $\mu\text{m}$  de diamètre, de forme parallélépipédique (ill. 9). La poudre est collante et s'accroche aux outils.

Le rose *Studio Pink* présente une granulométrie plus élevée, proche d'un sable fin (Tableau n°1).

Caractéristiques <sup>86</sup>	Bleu Outremer fournisseur : Kremer, réf. 45 010	<i>Studio Pink</i> fournisseur : Kremer, réf. 55 470
Densité	1,45	0,8
Texture	Comparable au talc	Comparable à un sable fin

Tableau n°1 : Caractéristiques et références des deux pigments, bleu outremer et rose utilisés pour préparer nos couleurs.

#### II) B.3.4. Prise d'huile

Des essais de prise d'huile des deux pigments sont réalisés avec les deux liants choisis. La prise d'huile est une méthode empirique qui, par définition, correspond au nombre de grammes d'huile de lin ajouté à 100 grammes de pigment, nécessaire pour obtenir une pâte épaisse qui n'adhère ni à la plaque ni à la spatule<sup>87</sup>. La prise d'huile

<sup>86</sup> Données issues des fiches techniques Kremer présentées en **Annexe n°1**.

<sup>87</sup> Delcroix, G. & Havel, M., *Op cit.*, p. 128.

dépend de la surface spécifique du pigment et de la mouillabilité du liant. On peut considérer la prise d'huile comme le complémentaire de la CVP.

Un premier essai avec un gramme de pigment nous a semblé peu fiable. Cinq grammes de pigment ont donc été triturés et la quantité de liant ajouté est pesée (**Tableau n°2**).

Pour 5 grammes de pigment	Prise d'huile Bleu outremer (Kremer) (en gramme)	Prise d'huile Pink (Kremer) (en gramme)
Liant acrylique (Liquitex médium mat) masse volumique $\rho = 1,1 \text{ g.cm}^{-3}$	4,6	1,7
PVAc (Kremer 30k à 24%) masse volumique $\rho = 1,19 \text{ g.cm}^{-3}$	4,0	1,7

Tableau n°2 : prise d'huile des deux liants utilisés, bleu outremer et rose

Par manque de pigment en quantité suffisante, cette expérience n'a pas été reproduite autant que nécessaire pour en déduire une moyenne et valider sa répétabilité.

A partir de ces valeurs issues de la phase d'empâtage des pigments sur la pierre à broyer, il est possible de calculer la CVPc propre à chaque système pigment / liant selon la formule suivante expliquée précédemment :

Formule n°2

$$CVPc = \frac{1}{1 + \frac{OA * \rho_{\text{pigment}}}{\rho_{\text{liant}} * 100}}$$

avec OA, la quantité de liant ajouté à 100 g de pigment en poudre pour obtenir une pâte compacte, agglomérant chaque grain de pigment. Cette valeur est extrapolée des quantités trouvées avec 5 grammes de pigment.

$\rho_{\text{pigment}}$  correspond à la masse volumique du pigment en  $\text{g.cm}^{-3}$

$\rho_{\text{liant}}$  est la masse volumique du liant en  $\text{g.cm}^{-3}$

Le tableau n°3 et le schéma ci-dessous résument les calculs de concentration volumique pigmentaire critique des quatre systèmes liant / pigment :

CVPc en pourcentage donnée pour 100 g de pigment	Bleu Outremer (Kremer) $\rho = 1,45$	Studio Pink (Kremer) $\rho = 0,8$
Liant acrylique, médium mat : fournisseur Liquitex® $\rho = 1,1$	45 %	58 %
Liant vinylique, à base de PVAc 30k préparé à 24% dilué dans un mélange Ethanol / Acétate d'éthyle additionné de phtalate de dibutyle : fournisseur Kremer $\rho = 1,19$	51 %	65 %

Tableau n°3 : résumé des données de concentration volumique pigmentaire critique pour les liants acrylique Liquitex et polyacétate de vinyle, en dispersion avec deux pigments, rose et bleu outremer.

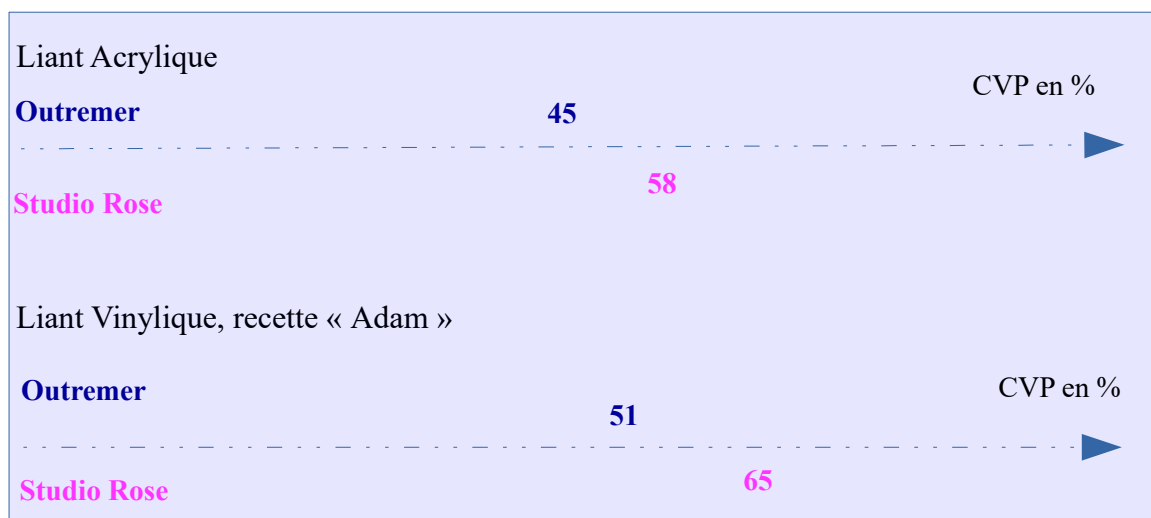


Schéma n°4 : Concentration volumique pigmentaire critique des quatre systèmes liant / pigment

Nous notons que la détermination par l'expérience des paramètres ci-dessus conditionne la portée de notre questionnement.

Premièrement, la prise d'huile OA a été répétée seulement deux fois sur de petites quantités par souci d'économie des matériaux. Cela a pour conséquence de donner des résultats assez variables, dont on ne peut pas faire de moyenne.

Deuxièmement, nous avons été surpris de constater, en fonction des sources à notre disposition, la variabilité des valeurs de masse volumique du pigment bleu outremer. En effet on a trouvé une densité comprise entre 2,2 et 2,4 chez l'un des fournisseurs et de 2,35 chez un autre.<sup>88</sup> Les raisons pour lesquelles la valeur de 1,45 a été retenue sont les suivantes : la première est que nos résultats de CVPc sont comparables avec ceux de Feller & Kunz. Les auteurs établissent avec le même couple bleu outremer – liant vinylique une CVPc égale à 41 %.<sup>89</sup> La seconde est que la valeur précisée dans la fiche technique du fournisseur Kremer est cohérente avec notre propre expérience lors des essais. Ces différences notables pourraient s'expliquer par la finesse du broyage mécanique du pigment bleu outremer fourni par Kremer, à la différence des autres fournisseurs. En effet, il existe une influence directe de la granulométrie sur la surface spécifique du pigment et par extension sur la mouillabilité du liant.

Pour conclure, le choix de la valeur de densité du pigment bleu outremer est important car il conditionne la valeur de la CVPc et aussi l'exécution des échantillons. Tous les calculs consécutifs ainsi que les conclusions sont basés sur cette expérimentation perfectible et affuable. Par esprit critique, il faut être conscient de relativiser la portée de notre étude menée dans le cadre de recherche en conservation-restauration des biens culturels et non dans celui des sciences des matériaux. Les présentes conclusions seront à valider par la répétabilité des prochaines études.

## II) B.3.5. Empâtage et broyage des couleurs

La couleur IKB a été préparée selon les informations recueillies à partir des sources écrites de l'artiste lui-même, confrontées aux témoignages directs de son

---

<sup>88</sup> Delcroix, G & Havel, M, *Op cit.*, p. 129 - Fiche technique pour un bleu outremer fourni par Holliday Pigments.

<sup>89</sup> Feller, R. & Kunz, N., *Op cit.*, p. 71.

marchand de couleurs. Le terme broyage prête à confusion dans le langage courant de l'atelier. Au sens strict il signifie concassage : il se réalise à sec et a pour but de réduire la taille des particules de pigment.<sup>90</sup> Cette opération est réalisée par le fabricant qui, grâce à l'usage de machines, obtient des granulométries très petites et quasi mono-dispersées. L'artiste-expérimentateur travaille avec un liant préparé et un pigment en poudre issu de ce concassage. La première étape est l'empâtage, qui consiste à faire pénétrer le liquide dans les structures secondaires poreuses c'est-à-dire les grains de pigment, les agglomérats et les agrégats : « l'empâtage dépend donc de la mouillabilité de la structure secondaire par le liant et, des phénomènes de capillarité entre cette même structure et ce même liant. »<sup>91</sup> Cette opération peut prendre 24 heures, le temps que le liant pénètre par capillarité toutes les porosités des grains de pigment.

Mais l'empâtage ne permet pas au liant d'atteindre complètement les parties de poudre où il y a un contact direct entre les grains. Si on reste à ce stade de préparation de la couleur, il existe des grumeaux à l'échelle microscopique. Le « broyage » sur la pierre a donc pour objectif « de transformer ce contact solide-solide en un autre solide-liquide » en créant une dispersion homogène entre deux corps, l'un liquide l'autre solide.<sup>92</sup> Le geste sur la pierre avec la molette est donc un moyen de faire glisser les particules les unes contre les autres, de rompre les structures secondaires en fournissant de l'énergie mécanique et d'accroître ainsi la surface entre le solide dispersé et le milieu continu : « la séparation s'obtient en soumettant donc les agrégats ou agglomérats à des forces mécaniques de cisaillement transmises par l'intermédiaire du milieu de dispersion. [...] il faudra trouver un compromis entre la nécessité d'une haute viscosité pour le travail de cisaillement et la nécessité d'une faible viscosité pour diminuer le temps de mouillage. »<sup>93</sup>

Du temps et de l'énergie sont nécessaires pour affiner la couleur. Une plaque de verre dépoli de 50 cm de côté et une molette sont les outils adéquats pour mener à bien ce procédé. Le geste correspond à un « 8 » sur la pierre, accompagné d'une pression

---

90 Delcroix, G. & Havel, M., *Op cit.*, p. 193.

91 Delcroix, G. & Havel, M., *Op cit.*, p. 193 & 194.

92 Delcroix, G. & Havel, M., *Op cit.*, p. 195.

93 Delcroix, G. & Havel, M., *Op cit.*, p. 196.

plus ou moins forte de la main de l'expérimentateur. Comme nous en avait déjà parlé M. Édouard Adam, « le liant doit agresser le pigment ». Ces mots prennent tout leur sens à présent. Après de nombreuses expériences depuis 2013, cette phase du procédé d'obtention de l'IKB nous apparaît déterminante pour obtenir une saturation de la couleur mais aussi une durabilité et une stabilité de la peinture. En effet, une trituration simple des ingrédients a pour conséquence un enrobage grossier des pigments par le liant au moment de la préparation de la couleur et à plus long terme, une fois appliquée un manque de cohésion de la peinture qui menace la durabilité du film peint.

Nous avons mis en pratique ces données et savoir-faire des étapes d'empâtage et de broyage pour la réalisation de nos matériaux colorés. Le liant vinylique est déposé sur le verre dépoli. Le pigment bleu outremer est malaxé avec celui-ci à l'aide d'un couteau à palette. Une pâte épaisse et peu homogène est ainsi obtenue (**Tableaux 4 & 5**). La seconde phase commence avec une molette en verre dépoli afin d'effectuer un broyage de 10 minutes environ. Nous commençons par des gestes amples de 20 cm de diamètre, soit environ trois fois le diamètre de la molette. Des « 8 » permettent de récupérer la matière au cours des passages (**Tableaux 4 & 5**). Le solvant s'évapore et rend la pâte plus visqueuse, les bords se dessèchent. Nous ajoutons alors un peu de diluant à la seringue pour un dosage plus précis. La pression appliquée sur la molette est légère mais au fur et à mesure que les gestes se concentrent, la pression augmente. Au bout de 5 à 6 minutes, nous effectuons de petits gestes circulaires avec la molette en augmentant la pression, jusqu'à point de friction : la molette ne peut plus être déplacée par succion avec la plaque de verre.

L'opération est répétée jusqu'à obtention d'un résultat satisfaisant, c'est-à-dire une pâte crémeuse et lisse (**Tableaux 4 & 5**).

La pratique de la préparation des couleurs permet de tirer des enseignements utiles à notre futur métier. Le système pigment – liant est très variable d'une situation à l'autre. Un pigment broyé grossièrement aura une prise d'huile bien inférieure à un autre broyé beaucoup plus finement. Il est intéressant de remarquer qu'avec un même pigment

<b>Temps</b>	0 → 1 min	→ 5 min	→ 10 – 11 min	Fin
<b>Procédé</b>	Triturer Phase trituration	Broyer Phase broyage (dispersion homogène)	Broyer Phase de broyage (dispersion intime)	Diluer Obtenir une couleur à peindre
<b>Matériaux</b>	Liant dosé et un peu de diluant si nécessaire. Quantité variable <i>PVAc granulé en concentration de 24 % dans un mélange Ethanol / Acétate d'éthyle (Kremer)</i>  Pigment en poudre (1gramme) <i>Bleu outremer (Kremer)</i>	Les mêmes  Ajout quelques gouttes de diluant pour maintenir une viscosité acceptable	Les mêmes  Ajout quelques gouttes de diluant pour maintenir une viscosité acceptable	Les mêmes  Ajout quelques gouttes de diluant pour régler la viscosité voulue lors de l'application sur le support
<b>Outils</b>	Balance de précision à 10 <sup>-4</sup> g près  Couteau à palette  Plaque de verre dépoli (carré de 50 cm)	Seringue  Plaque de verre dépoli (carré de 50 cm)  Molette en verre	Seringue  Plaque de verre dépoli (carré de 50 cm)  Molette en verre	Seringue  Couteau à palette  Plaque de verre dépoli (carré de 50 cm)  Pinceau brosse
<b>Gestes</b>	Triturer Mélanger	Tourner en « 8 » Presser légèrement	Écraser Presser fortement	Mélanger

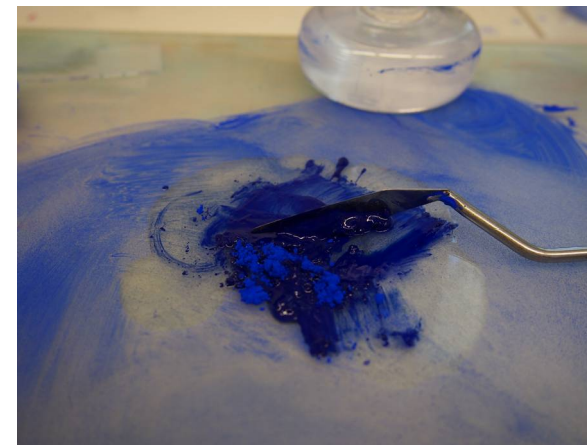
Tableau n°4 : Préparation des éprouvettes Liant Adam – Bleu outremer – 24 janvier 2017



*Outils du broyeur de couleurs*



*Pigment ajouté à la dose de liant*



*Couleur en cours de trituration*



*Le liant mouille tous les grains*



*Début du broyage à la molette*



*Pression exercée au broyage*

*Tableau n°5 : Préparation des éprouvettes Liant Adam – Bleu outremer – 24 janvier 2017*



comme le bleu outremer, les valeurs de CVPc varie de façon notable d'un liant à l'autre : avec une émulsion aqueuse 45 %, 60 % avec un liant en solution dans des solvants polaires et dans une huile de lin cuite, 65 %.<sup>94</sup>

Cette pratique apprend à mieux connaître les matériaux constitutifs et les paramètres déterminant l'homogénéité du feuil. Il nous apparaît plus clairement qu'un défaut de préparation artisanale de la couleur peut être à l'origine d'altération dans le temps, les hétérogénéités au sein du système liant / pigment sont alors à l'échelle microscopique les noyaux qui engendrent des ruptures de la cohésion du film peint sous la forme par exemple de craquelures.

## **II) C. Compte rendu du faire des éprouvettes**

### **II) C.1. Préparation des éprouvettes de la 1<sup>e</sup> série**

Le support décrit précédemment est découpé en languettes de 2,5 sur 6 cm. Les quatre principales causes responsables de la pulvérulence d'une couche picturale sont simulées sur les échantillons (**ill. 10**).

- Embu

Une première couche de couleur est appliquée. Il s'agit d'un mélange du pigment rose avec un déficit notable en liant (1 g de pigment pour 0,3 g de PVAc). La couleur est très granuleuse et difficile à appliquer de façon homogène sur le support. Après séchage, une seconde couche est superposée : c'est un mélange de pigment bleu outremer avec la quantité nécessaire de liant, soit 1 g de pigment pour 0,5 g de liant. La couleur est onctueuse et s'applique parfaitement sur la surface précédente.

---

<sup>94</sup> Valeur reprise des recherches de Thierry Moutard-Martin dans *Les Cahiers du Broyeur de Couleurs, Outremer : broyage et formulation*.

- Concentration pigmentaire volumique

Le témoin est réalisé en suivant les indications de la recette décrite dans l'enveloppe Soleau par Yves Klein. Le pigment est en proportion de 50 % de la masse totale, soit 1:1.

- Vieillessement du liant

Le mélange est préparé avec 3 g de pigment et 3 g de liant, quantité nécessaire pour amalgamer la poudre. Comme Klein le décrit dans la recette pour cette proportion, nous ajoutons 10 % à la masse totale d'acétone. La pâte s'assèche rapidement, rendant difficile le broyage.

Pour tester l'influence du plastifiant sur la tenue dans le temps de la peinture, nous ajoutons ce paramètre.

- 3 supports sont testés avec un mélange de couleur dans les proportions suivantes : PVAc avec 3 gouttes de plastifiant pour 100 mL et bleu outremer en proportion 1 : 1 et un témoin ;
- 3 supports sont parallèlement préparés avec PVAc, plastifiant et bleu outremer en proportion 2 : 1 puis le mélange est dilué à l'acétone.

La lumière ultraviolette semble avoir une influence majeure sur le vieillissement artificiel du polymère PVAc.<sup>95</sup> Cependant nous avons fait le choix d'autres paramètres tels que la température et l'humidité relative. Ces deux paramètres influencent la réactivité du support utilisé et sont présents dans les conditions muséales habituelles.<sup>96</sup> Nous avons donc mené un cycle quotidien d'alternances de chaleur (étuve à 50°C) et d'humidité (bac hermétique rempli d'eau avec une grille suspendue pour accueillir les

---

95 Ferreira, J.L., et al., "Poly(vinyl acetate) paints in works of art: A photochemical approach. Part 1" in *Polymer Degradation and Stability*, n°95, 2010, p. 454 : « Concerning PVAc photodegradation, systematic studies for which reaction quantum yields were obtained have been carried out by several groups [14e20] in vacuum and in air under UV irradiation. Under 254 nm irradiation, PVAc undergoes both chain scission and crosslinking accompanied by the release of volatile compounds. The main product formed is acetic acid followed by other volatiles such as carbon monoxide, carbon dioxide, and methane. »

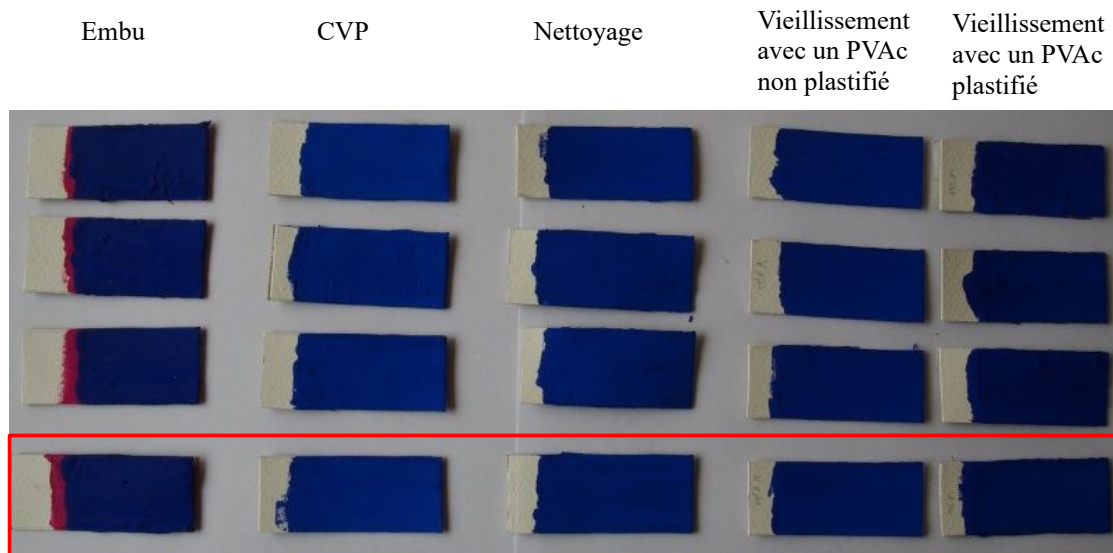
96 Roche, A., *Op cit.*, p. 63.

échantillons) qui dure un mois et demi (17 cycles Température / Humidité relative de 48 h chacun soit 816 heures cumulées).

- Nettoyage drastique

La même couleur est utilisée pour ces éprouvettes. Pour simuler une lixiviation du liant PVAc, il est envisagé d'effectuer un nettoyage au coton-bâtonnet avec un mélange de solvants de type « 3A » ou « 4A ». Ces mélanges d'acétone, alcool, eau ammoniacquée pourraient solubiliser une partie du liant en surface grâce à ses caractéristiques polaires : en effet un mélange Acétone / Ethanol / Eau en proportion (1:1:1) donnent des paramètres de solubilité  $F_d = 34$  ;  $F_p = 24$  et  $F_H = 40$ .

Quatre échantillons sont réalisés pour chaque paramètre dont un témoin (ill. 10).



**Témoins**

60 mm

Illustration 10: Échantillons de la 1e série. De gauche à droite par colonne : paramètres Embu, Concentration Volumique Pigmentaire, Nettoyage et Vieillissement PVAc non plastifié et plastifié

## II) C.2. Préparation des éprouvettes de la 2<sup>e</sup> série

Le support est celui décrit plus haut. Des disques de 23,5 mm sont découpés pour correspondre à la dimension du porte-échantillon du modèle de goniophotomètre PHYTOS.<sup>97</sup> On a préparé individuellement chaque échantillon en broyant une quantité fixe de pigment et une quantité de liant variable. L'application s'est faite à l'aide d'un pinceau brosse (poil synthétique) après une dilution pour obtenir la viscosité adéquate à l'obtention d'une couche picturale homogène et lisse.

La détermination empirique de la CVPc nous a permis de calculer les CVP voulues en utilisant la formule n°2 pour en extraire OA :

Formule n°3

$$OA = \frac{\rho_{\text{liant}} * 100 (1 / (CVP / 100 - 1))}{\rho_{\text{pigment}}}$$

Les valeurs autour de la CVPc ont été resserrées à un pas de 2,5 % pour affiner la compréhension des effets de surface dans la zone de variation maximale (**ill. 5**).

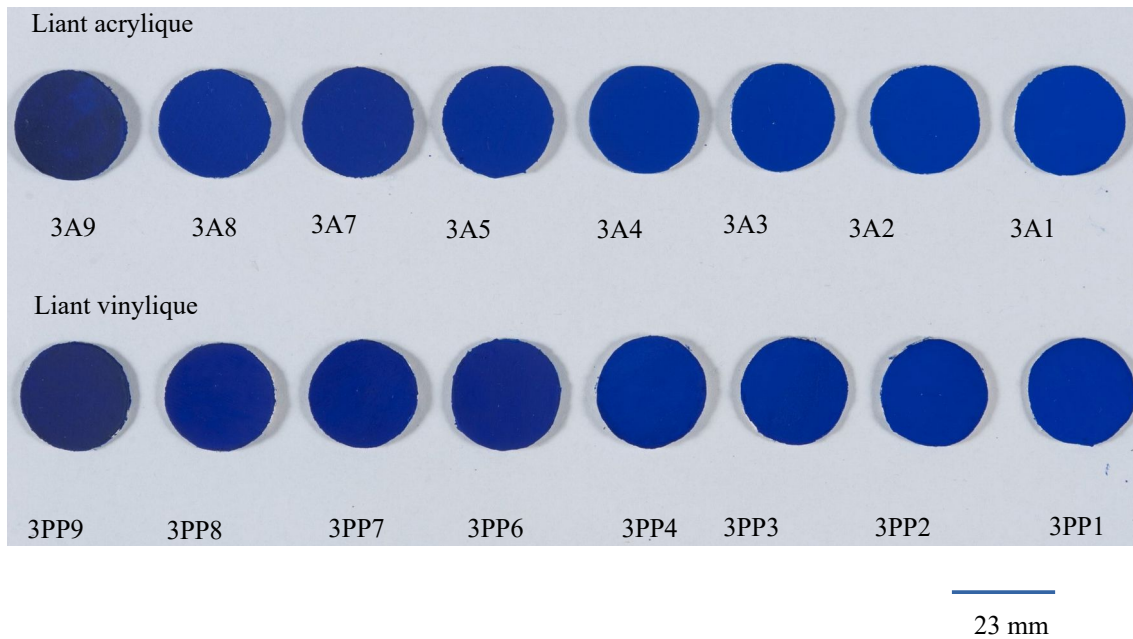
---

97 Lolli, L. *et al.*, « Phytos : a portable goniometer for in situ spectro-directional measurements of leaves » in *Metrologia*, n°51, 2014, p. S309-S313.

Liant acrylique							Pulvérulence croissante			
Dénomination	3A9	3A8	3A7	3A6	3A5	3A4		3A3	3A2	3A1
CVP choisie	30	40	42,5	45	47,5	50		55	60	70
Quantité (en g)	1,75	1,13	1,02	0,92	0,83	0,75		0,62	0,50	0,32
Liant vinylique							Pulvérulence croissante			
Dénomination	3PP9	3PP8		3PP7	3PP6	3PP5	3PP4	3PP3	3PP2	3PP1
CVP choisie	30	40		45	47,5	50	52,5	55	60	70
Quantité (en g)	1,91	1,23		1,00	0,91	0,82	0,74	0,67	0,55	0,35

Tableau n°6 : dénomination et quantité de liant mises en œuvre pour un gramme de pigment outremer. Les cases grisées correspondent au CVPc pour chaque système.

Le **tableau n°6** rassemble les données de base, quantité de liant à ajouter à un gramme de pigment bleu outremer pour la constitution des échantillons. Avant l'obtention de ces séries complètes et homogènes, de nombreux essais ont été nécessaires (**ill. 11**).



*Illustration 11: Échantillons de la 2e série. En haut à base de liant acrylique, en bas liant vinylique. On peut voir la différence de saturation du bleu outremer en fonction de la concentration en liant (croissante de droite à gauche) – Crédits Photo : Laboratorio Immagini, Centro di Conservazione e Restauro della Venaria Reale.*

Les couleurs pauvres en liant, les plus claires sur l'illustration 11 ont été difficiles à appliquer en fines couches. A l'inverse, les couleurs riches en liant, correspondant aux plus foncées étaient peu couvrantes et difficiles à lisser (ill.11). Plusieurs passages ont parfois été nécessaires pour obtenir une strate homogène.

## II) C. 3. Compte-rendu de séance : 26 janvier 2017 – liant acrylique : série 3A1 à 3A9

Température du laboratoire de chimie : 19°C

3A1	<p>Un gramme de pigment est d'abord broyé à l'eau. Point de friction de la molette est atteint lorsqu'elle frotte fortement contre la plaque de verre qu'il devient extrêmement difficile de continuer à la déplacer. 0,32 g de liant sont ajoutés Durée du broyage : 5 min 1 mL d'eau est ajouté au cours de l'opération comme agent mouillant.</p>
3A2	<p>Même remarque Difficulté à lisser la surface.</p>
3A3	<p>Un gramme de pigment est d'abord broyé à l'eau puis 0,62 g de liant acrylique est ajouté. 0,5 mL d'eau est ajouté au cours de l'opération On obtient une couleur à la texture onctueuse L'application est facile et la surface obtenue est homogène.</p>
3A4	<p>Un gramme de pigment est d'abord broyé à l'eau puis on ajoute 0,75 g de liant. Pression de la molette est forte Durée du broyage : 9 min La couleur a une belle consistance.</p>
3A5	<p>Un gramme de pigment est d'abord broyé à l'eau puis avec 0,83 g de liant. 0,6 mL d'eau est ajouté au cours de l'opération Durée du broyage : 10 min La couleur est très homogène et a un très bon pouvoir couvrant.</p>
3A6	<p>Un gramme de pigment est d'abord broyé à l'eau puis avec 0,92 g de liant. On se situe à la CVPc 0,6 mL d'eau est ajouté au cours de l'opération Durée du broyage : 11 min Le molette est pressée fortement sur le verre. La capacité filmogène est optimale et le lissage de la couleur parfait.</p>
3A7	<p>Un gramme de pigment est empâté à l'eau. On incorpore 1,02 g de liant. 0,4 mL d'eau est ajouté au cours de l'opération Durée du broyage : 10 min La couleur est très homogène et a une belle capacité filmogène.</p>
3A8	<p>Un gramme de pigment est empâté à l'eau. On incorpore 1,13 g de liant. 0,8 mL d'eau est ajouté au cours de l'opération Bien que l'on exerce une forte pression sur la molette, on n'atteint pas son point de</p>

	friction avec la plaque. Durée du broyage : 9 min La couleur est « grasse ».
349	Un gramme de pigment est empâté à l'eau. On incorpore 1,75 g de liant. Pression importante de la molette sur la plaque Durée du broyage : 12 min La couleur obtenue est onctueuse mais peu couvrante. Il faut faire plusieurs passages croisés pour réussir l'échantillon.

Après séchage, les éprouvettes sélectionnées sont celles qui présentent la meilleure homogénéité de surface et avec les traces du pinceau brosse les moins visibles à l'œil nu.



## II) C.4. Compte-rendu de séance : 27 et 31 janvier 2017 – Liant vinylique : série 3PP1 à 3PP9

Température du laboratoire de chimie : 19°C

Le liant vinylique est préparé selon les caractéristiques citées plus haut. Deux diluants sont utilisés pour respecter la recette de l'IKB : lorsque la CVP est supérieure à 50 %, on utilise un mélange ternaire Alcool éthylique / Acétate d'éthyle / Acétone et lorsque la CVP est inférieure à 50 %, un mélange des solvants Alcool éthylique / Acétate d'éthyle (80 : 20)

3PP1	0,35 g de liant reçoivent un gramme de pigment pour être broyés ensemble. Durée du broyage : 11 min Au cours de l'opération, on ajoute 4,6 mL de diluant pour trouver le compromis de viscosité propice à l'efficacité des forces de cisaillement. Malgré plusieurs tentatives, le lissage de la couleur est quasi impossible ce qui donne une surface irrégulière, peu homogène en termes de couvrant.
3PP2'	0,55 g de liant reçoivent un gramme de pigment. Échantillon refait une deuxième fois car difficile à étaler. Malgré une pression importante de la molette, le point de friction n'est pas atteint. Durée du broyage : 9 min Au cours de l'opération, on ajoute 4,5 mL de diluant Le lissage de la couleur reste grossier, peu homogène. On obtient une strate épaisse.
3PP3'	0,67 g de liant reçoivent un gramme de pigment. A nouveau, échantillon refait une deuxième fois avec à chaque fois 10 min de broyage. Une forte pression est exercée. 5 mL de diluant sont nécessaires comme aide au broyage. La couleur est plus couvrante que 3PP2' mais le rendu visuel demeure peu satisfaisant car peu homogène.
3PP4'	0,74g de liant accueillent un gramme de pigment bleu outremer pour empâtage L'échantillon est refait une seconde fois. Durée du broyage : 12 min 4,8 mL de diluant servent d'aide au broyage. On obtient une surface peu homogène.
3PP5	Cet échantillon fut réalisé avec la couleur résultant de l'essai de prise d'huile. La couleur est onctueuse, a un très beau pouvoir couvrant et est facile à appliquer.
3PP6'	0,91 g de liant sont dilués avec 4,2 mL d'alcool éthylique et acétate d'éthyle pendant les 12 minutes du broyage. L'échantillon est fait une seconde fois du fait de la difficulté à obtenir une surface régulière.

3PP7	1 g de liant reçoivent un gramme de pigment. Il s'agit des proportions en masse qui correspondent à la recette d'Yves Klein. Durée du broyage : 10 min en accord avec les conseils d'Édouard Adam 5,4 mL de diluant alcool éthylique et acétate d'éthyle sont ajoutés au cours de l'opération. La couleur est belle, le résultat homogène avec un très beau lissage.
3PP8	1,23 g de liant reçoivent un gramme de pigment. Durée du broyage : 10 min 4,4 mL de diluant alcool éthylique et acétate d'éthyle ajouté.
3PP9	1,91 g de liant reçoivent un gramme de pigment. Durée du broyage : 13 min 5,4 mL de diluant alcool éthylique et acétate d'éthyle ajouté au cours du processus. On obtient une strate épaisse, difficile à lisser et peu homogène.

Remarque : L'ajout d'acétone dans le mélange de diluant ne facilite pas le travail de broyage, ni l'application de la couleur.

Les contraintes de temps liées au déroulement du stage et du planning prévu pour les mesures n'ont pas permis de laisser sécher convenablement les échantillons, comme il est spécifié dans la bibliographie.<sup>98</sup> En effet dès le lendemain, les échantillons à base de résine vinylique en solution étaient examinés à l'Institut de Métrologie de Turin. Quant aux résines acryliques, elles n'ont séché que six jours, laps de temps insuffisant pour assurer la phase de coalescence des macromolécules de l'émulsion, puisqu'il faut normalement attendre environ un mois.<sup>99</sup>

---

98 Roche, A., *Op cit.*, p. 113.

99 se référer au paragraphe « séchage du feuil » p. 33.

## **II) D. Instrumentations**

### **II) D.1. Les mesures de la série 1**

L'observation de la topographie de la surface des échantillons à l'échelle micrométrique s'est faite à l'aide d'un microscope électronique à balayage de marque Hitachi, modèle TM – 3000 à une résolution de 15keV. Cet usage du MEB demande une contribution aussi bien des électrons rétro-diffusés que des électrons secondaires.<sup>100</sup>

### **II) D.2. Les mesures de la série 2**

#### **II) D.2.1. Goniophotomètre**

Une partie des mesures de la série 2 ont été réalisées à l'Institut National de la Recherche Métrologique (INRIM) de Turin (Italie) au sein de l'équipe de Mauro Rajteri et Marco Pisani. Un goniomètre hyperspectral portable nommé PHYTOS pour *Portable HYperspectral Transmission and Optical Scattering* a été conçu par cet organisme de recherche dans le cadre de programme européen de métrologie, intitulé MetEOC (Metrology for Earth Observation and Climate), en particulier pour l'acquisition de spectres de réflexion et de transmissions des feuilles des plantes.<sup>101</sup>

Ce prototype se compose d'une hémisphère à l'intérieur de laquelle est positionné l'échantillon, de fibres optiques qui illuminent et recueillent la lumière, d'une source lumineuse, d'un switch piézoélectrique à fibre et d'un spectromètre multi-canaux (**ill. 12 & 13**).

---

100 Golstein, J. I & al., *Scanning electron microscopy and X-ray microanalysis*, Kluwer Academic/Plenum Publishers, New York (E-U), 2003, p. 146.

101 Lolli, L. *et al.*, *Op cit.*, 2014.

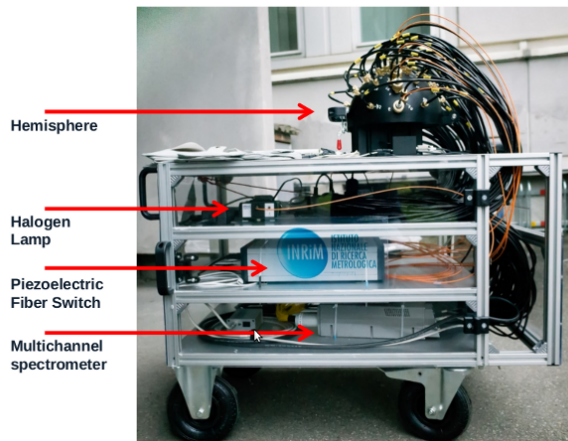


Illustration 12: Vue latérale de l'instrument avec ces différents composants : hémisphère, lampe halogène pour la lumière incidente, switch des fibres, spectromètre multicanaux - Crédits photo : INRIM

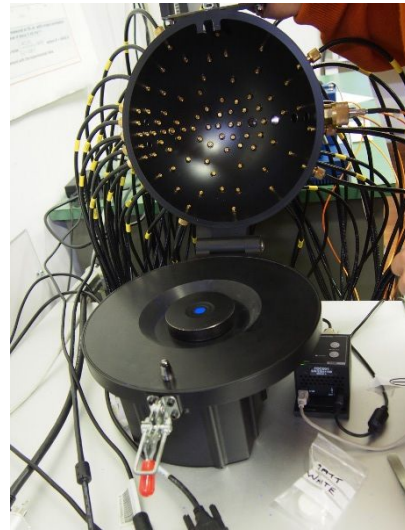


Illustration 13: Détail de l'hémisphère ouverte pour accueillir l'échantillon au centre (petit point bleu)

Cinq sources lumineuses disposées en quart de cercle selon 5 géométries différentes illuminent successivement l'échantillon et 80 récepteurs répartis sur l'hémisphère recueillent la lumière réfléchie, la diffractent puis l'analysent.

Les géométries d'illumination sont positionnées à  $9,3^\circ$  ( Source A) ; à  $27,46^\circ$  (Source B) ; à  $45^\circ$  (Source C) et à  $60^\circ$  (Source D).

La cinquième n'a pas été étalonnée correctement. La cartographie ci-dessous détaille les positions très exactes de chacun des éléments (**ill. 14**).<sup>102</sup>

---

102 Lolli, L. *et al.*, *Operation manuel of PHYTOS : a portable hyperspectral goniometer for BRF measurements*, INRIM technical report, 2015.

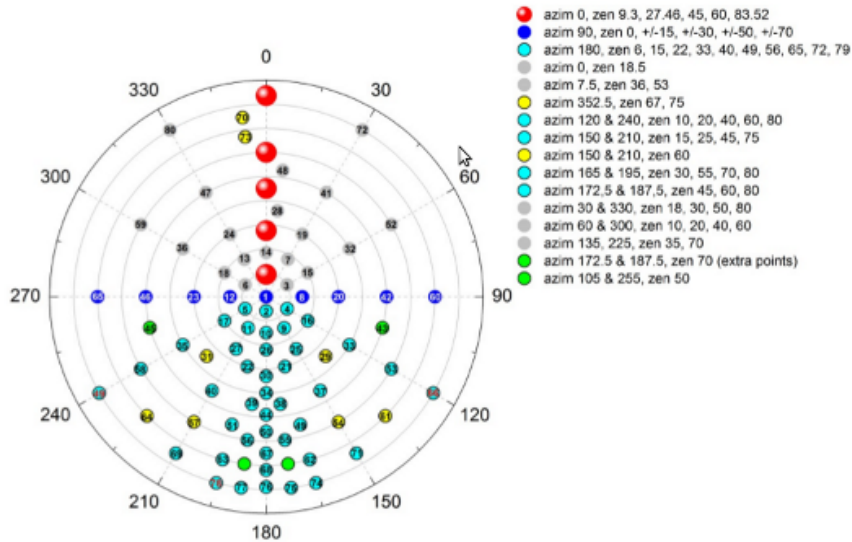


Illustration 14: Carte en deux dimensions de la répartition spatiale des sources illuminantes (en rouge) et des 80 récepteurs (en bleu et vert) . Crédits photo : INRiM

Le protocole est le suivant. Une calibration de l'appareil est faite avant toute mesure avec une référence. Il s'agit d'une tesselle en porcelaine blanche calibrée pour faire la balance des blancs. On positionne ensuite l'échantillon et on fait les mesures dans les mêmes conditions qu'avec le blanc. On utilise ensuite une tesselle noire calibrée pour éliminer le bruit du capteur électronique de la caméra. On réalise la série d'acquisitions et deux positions perpendiculaires ont fait l'objet de mesure, du fait des stries de pinceau visibles à l'œil nu.

Les données brutes sont une série de 80 spectres en niveaux de gris de 400 à 1000 nm pour chaque géométrie de lumière incidente. On obtient au final

- 80 spectres par géométrie
- 4 géométries par échantillon
- 2 orientations par échantillon pour tenir compte des stries du pinceau
- 2 séries de 9 échantillons correspondants aux deux liants
- soit un total de 11 520 spectres à analyser...

Le traitement des données grâce au logiciel MatLab® consiste en une normalisation des échelles pour pouvoir comparer les spectres entre eux. Compte tenu de la nature du pigment bleu outremer, toutes les longueurs d'onde du spectre de 400 à 1000 nm ne donnent pas d'informations exploitables. Par souci de lisibilité, une représentation graphique par géométrie pour chaque échantillon est réalisée à  $\lambda = 451$  nm, longueur d'onde où le bleu outremer réfléchit le plus. On obtient 72 cartes répétées deux fois en fonction de l'orientation des coups de pinceau représentant la variation d'intensité de la réflexion à la surface de l'échantillon testé.

Ce prototype conçu initialement pour le domaine spatial est un instrument qui peut apporter à l'étude d'échantillons de peinture, du fait de sa capacité à cartographier en 2D et en 3D la réflexion diffuse et spéculaire d'une surface peinte. Le goniophotomètre classique offre seulement quelques géométries et quelques positions de récepteurs. Grâce à ce modèle intégré, la multiplicité des sources et des récepteurs donne accès à une information beaucoup plus complète.

## II) D.2.2. Micro-topographie

L'apparence d'un objet a été normalisée par la Commission Internationale de l'Éclairage et se définit selon sa couleur, sa brillance, sa texture et sa transparence.<sup>103</sup> Un des moyens de caractériser la texture est la mesure des micro-aspérités de la surface qui peut se faire de façon qualitative ou quantitative. Il existe des instruments qui effectuent des mesures de contact de la surface et d'autres sans contact.<sup>104</sup> Cette catégorie qui comprend la micro-topographie est mieux adaptée à l'étude des biens culturels, puisqu'elle n'altère pas la surface de l'œuvre. Elle consiste à balayer la surface de l'objet avec un ensemble de rayons monochromatiques de longueurs d'ondes différentes qui interagissent avec la surface et sont réfléchis en fonction du relief de celle-ci (**ill. 15**).

---

<sup>103</sup> *Proceedings of the CIE Expert Symposium on Visual Appearance*, 19-20 October 2006, Paris (France) - CIE x032:2007.

<sup>104</sup> Page, M., et al., « 3D Surface Acquisition: Comparison of two Micro-topographic Equipments when measuring Materials of Cultural Heritage », *4th CIE Expert Symposium on Colour and Visual Appearance (Prague, République Tchèque, 4-6 septembre 2016)*, p. 2.

La micro-topographie aussi appelée microscopie confocale par codage chromatique à champ étendu, utilise une source lumineuse polychromatique : tout le spectre de la lumière blanche crée un continuum d'images monochromatiques qui se répartissent selon un espace de mesure dont la résolution est de l'ordre du micron (**ill. 15 & 16**).

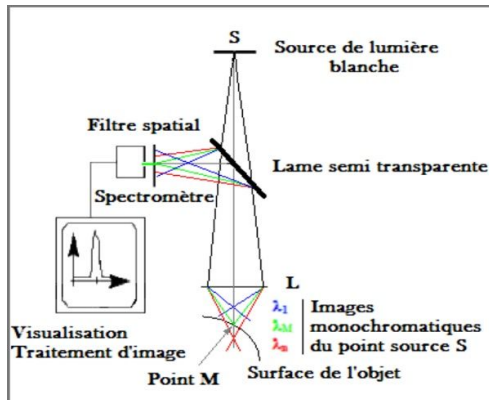


Illustration 15: Une source lumineuse blanche illumine l'objet après avoir traversé un objectif chromatique qui la diffracte. Les faisceaux monochromatiques focalisent à différentes distances focales et interagissent avec la surface en fonction de son relief – Schéma repris d'Ezrati, 2008

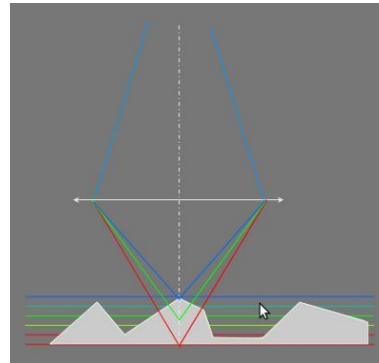


Illustration 16: Le faisceau monochromatique bleu focalise à une hauteur  $x$  et est réfléchi lorsqu'il correspond à l'altitude de la surface - Schéma d'Ezrati, 2008

En effet, la distance de mesure est comprise entre les points de focalisation des rayons extrêmes, ce qui correspond dans notre cas à un étagement de  $600 \mu\text{m}$  au total. La résolution du relief est de l'ordre du micron. Par contre, lorsqu'une protubérance dépasse l'amplitude de l'espace de mesure, elle demeure invisible pour l'instrument.

Cette mesure de la topographie de la surface permet de créer des cartes en relief de la surface avec une résolution spatiale de l'ordre du micron. Les applications sont multiples dans le domaine du patrimoine, par exemple en peinture de chevalet avec l'évaluation de l'impact du dégraisage sur l'état de surface ou avec l'enregistrement de la texture des objets culturels.<sup>105</sup>

105 Graczyk, A., p. 171 – Page, M., *et al.*, *Op cit.*, p. 1.

En complément de ces images qui donnent déjà une indication sur l'allure générale de la surface, il est possible de quantifier la micro-rugosité de l'objet en calculant des paramètres de rugosité comme l'écart arithmétique moyen des hauteurs du profil ( $R_a$ ) ou l'écart maximal entre les vallées et les pics sur un profil ( $R_z$ ).<sup>106</sup>

Le protocole de mesures a été mis au point sur les mêmes échantillons que ceux ayant fait l'objet de l'examen goniophotométrique. Dans un premier temps, on a déterminé les paramètres de mesure adéquats à savoir le réglage du pas (résolution spatiale) et la dimension des zones de mesure. Ils sont optimisés pour trouver le meilleur compromis entre la qualité et le temps de mesure. Finalement, il a été choisi d'acquérir trois surfaces de  $50 \mu\text{m}$  de côté par échantillon avec un pas de  $0,30 \mu\text{m}$ . Il faut compter entre 5 et 6 min par mesure soit près de 6 heures d'acquisition des données pour les 18 échantillons (ill. 17 & 18).

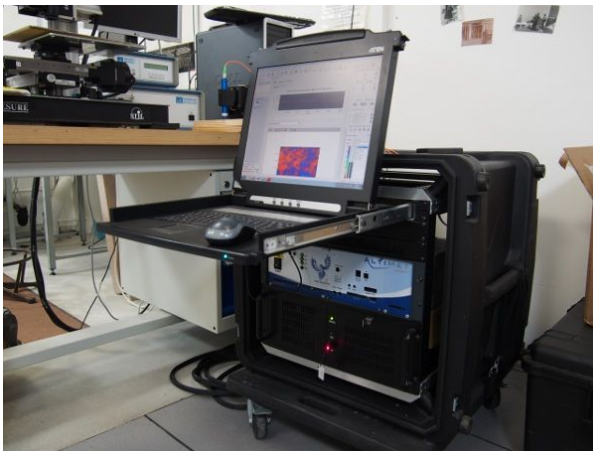


Illustration 17: Station de mesure de micro-topographie au C2RMF - Crédits photo GB

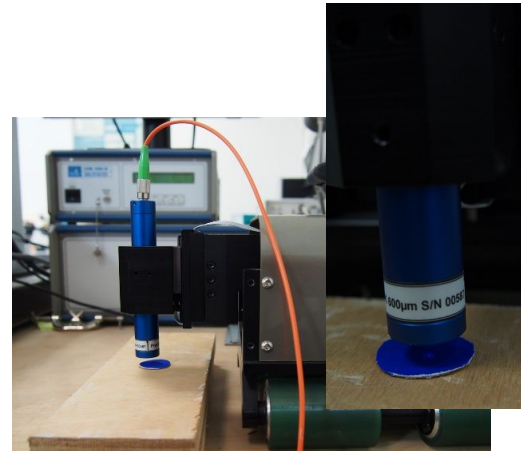


Illustration 18: Détail du crayon de mesure avec sa position relative à l'éprouvette

Les opérations de post-traitement ont été réalisées grâce au logiciel MountainsMap® édité par Digital Surf©. Elles ont consisté à redresser le plan de la surface pour éviter les effets de pente. Puis une fonction seuillage a été appliquée pour éliminer les points extrêmes et mieux gérer l'affichage des hauteurs. Les paramètres de

<sup>106</sup> Page, M., et al., *Op cit.*, p. 3.



rugosité  $S_a$  (moyenne arithmétique),  $S_z$  (hauteur maximale de la surface, du point le plus bas au point le plus haut),  $S_q$  (moyenne quadratique),  $S_{ku}$  (distribution des pics et des vallées dont la valeur de référence est de 3) et  $S_{sk}$  (asymétrie de la distribution des hauteurs) sont comptabilisés sur les trois zones de mesure pour en extraire une moyenne.

## II) D.2.3. Microscopie à force atomique

La microscopie à force atomique (AFM) fait partie de la famille des instruments de profilométrie à contact, sauf que le stylet oscillant interagit avec la surface à l'échelle atomique. Le principe repose sur la mesure d'une force entre la surface de l'objet et la pointe du stylet : les mesures se font à l'échelle du nanomètre (millième de micromètre).

La déviation du stylet est détectée puis amplifiée pour créer un relevé des reliefs à une échelle de résolution très petite. La microscopie à force atomique offre trois applications : la mesure des forces entre les molécules et même les atomes, la profilométrie de surface à haute résolution et la manipulation des atomes.<sup>107</sup>

De façon comparable à la micro-topographie, l'AFM produit des cartes en trois dimensions des reliefs de surface avec une résolution de l'ordre de la centaine de nanomètres. Il est donc beaucoup plus précis dans ses relevés mais sa mesure ne peut être réalisée directement sur le bien culturel. Les applications de l'AFM sur les objets du patrimoine sont sensiblement les mêmes que celles de la micro-topographie. Cette méthode est encore peu utilisée pour l'étude des biens culturels.

Les caractéristiques technologiques et logicielles sont résumées dans le tableau de l'**annexe n°7**.

Chaque mesure faite par les différents instruments sélectionnés pour répondre à la problématique apporte des réponses complémentaires. Il n'existe pas de mesures qui fournissent une réponse unique à travers un seul instrument : c'est un faisceau d'informations qui donne une idée plus précise des mécanismes liés à la pulvérulence.

---

<sup>107</sup> Site Internet - Texte présentation du Centre d'Élaboration de Matériaux et d'Études Structurales du CNRS, consulté le 28 mars 2017.

## II) E. Résultats

### II) E.1. Résultats des méthodes instrumentales

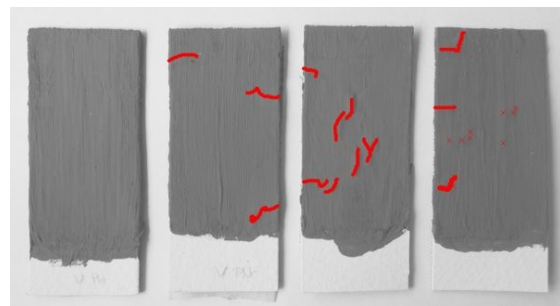
#### II) E.1.1 Résultats des mesures sur la 1<sup>e</sup> série : typologie

De par l'étendue de la recherche et du temps imparti, les éprouvettes n'ont pu être examinées à ce jour. Nous nous sommes rendus compte grâce à quelques essais à l'INRIM, que le mode *topo* du MEB ne reconstitue que partiellement l'information de surface, ne renseignant ni sur la présence ni sur la répartition du liant organique. Il nous faudra dans la suite de nos recherches explorer d'autres méthodes avec d'autres instruments.

Toutefois une simple observation à l'œil nu peut d'ores et déjà nous apporter des informations. Le protocole de vieillissement artificiel a eu des conséquences notables sur la conservation des couches colorées des éprouvettes. Les trois échantillons réalisés à base de liant PVAc plastifié présentent des soulèvements en toit, au sein de la strate colorée (ill. 19 & 20).



*Illustration 19: Échantillons préparés à base de résine de polyacétate de vinyle additionnée de plastifiant (phtalate de dibutyle) et du pigment bleu outremer. A gauche le témoin. Trois échantillons ayant subi un cycle de vieillissement artificiel*



*Illustration 20: Même légende que la figure précédente - Représentation des altérations (soulèvements en toit, craquelures) sur les échantillons vieillis*

On observe clairement que l'adhésion au support est bonne mais que la perte de cohésion se fait au sein de la couche colorée. Les soulèvements sont présents depuis les

bords, avec des craquelures dans le film mais également au milieu sous la forme de cloques ((**ill. 19 & 20**)).

Comparativement au témoin intact, l'apparition de ces altérations serait alors due aux traitements de vieillissement artificiel. Les éprouvettes ont été réalisées le 19 et 21 décembre 2016. Elles ont séchées pendant plusieurs semaines avant de subir les cycles



*Illustration 21: Échantillons préparés à base de polyacétate de vinyle et de bleu outremer : témoin à gauche et à droite échantillon ayant subi un cycle de vieillissement artificiel. La couche picturale est en très bonne état de conservation.*

de température / humidité relative à partir du 9 janvier 2017. Si l'on émet l'hypothèse que toute chose étant égale par ailleurs, et que les échantillons réalisés quant à eux sans plastifiant présentent une très bonne cohésion de surface, alors on pourrait imputer l'apparition des craquelures et des soulèvements à la présence de plastifiant dans le liant (**ill. 21**).

En effet nous avons vu que le plastifiant facilitait les mouvements segmentaires des chaînes de macromolécules. Cela se traduit à l'échelle du matériau par une meilleure souplesse du film peint. Or on constate dans ce cas que le plastifiant en tant que molécule

externe au réseau tridimensionnel des macromolécules de polymère, serait un facteur d'altération.

Cette expérience devrait être réitérée pour se concentrer sur l'influence plus précise du plastifiant dans l'état de conservation de la couche colorée à long terme. De plus il faudrait étudier le cas de monochromes de Klein et d'autres œuvres dont les couleurs synthétiques sont riches en plastifiant, comme certaines de Jean Dubuffet (1901 - 1985), pour confirmer la présence d'altérations de cette nature.

## II) E.1.2. Résultats sur la 2<sup>e</sup> série : détection du seuil de la concentration volumique pigmentaire critique

### Résultats obtenus avec le goniophotomètre

Au moment de la rédaction de ce mémoire, les équipes de l'INRIM sont encore en train de traiter les quantités importantes de données recueillies lors des séances de mesures. Nous espérons que les résultats de goniophotométrie feront l'objet d'une publication ultérieure en collaboration avec le CCR, le C2RMF et l'INRIM.

### Résultats avec l'AFM

Compte tenu du temps pris à faire les mesures de goniophotométrie et de micro-topographie, les observations au microscope à force atomique seront réalisées pendant l'été 2017. Chaque carte 3D de 100  $\mu\text{m}$  de côté prend plusieurs heures d'acquisition puis de traitement.

### Résultats avec la micro-topographie

Les 18 échantillons ci-dessous ont donc été cartographiés sur trois zones différentes puis ont fait l'objet d'analyses des paramètres de rugosité (**ill. 11**).

Bien que les traces de pinceau soient visibles à l'œil nu, les observations micro-topographiques permettent de quantifier la tracéologie de l'outil (**ill. 22 & 23**). En effet elles nous renseignent sur la hauteur des reliefs, la régularité des stries ou encore la profondeur des sillons. Lorsque une couleur peu liée est déposée sur une surface, la charge de pigment étant en excès, la poudre conserve les traces de l'outil à une échelle macroscopique mais aussi à une échelle plus petite, de l'ordre de la dizaine de micromètres (**ill. 22**).

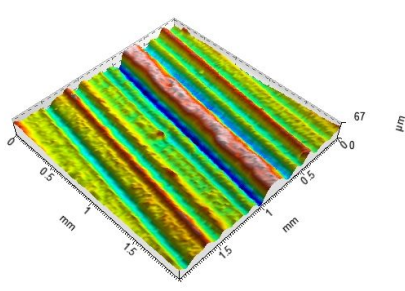


Illustration 22: Relief de l'échantillon 3PP1 préparé à base de liant vinylique et de bleu outremer (CVP = 70%) vu au microscope confocal (zone de 2 mm de côté)

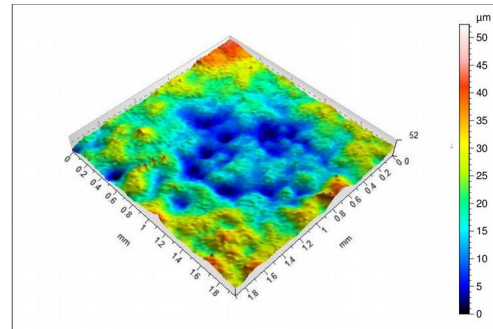


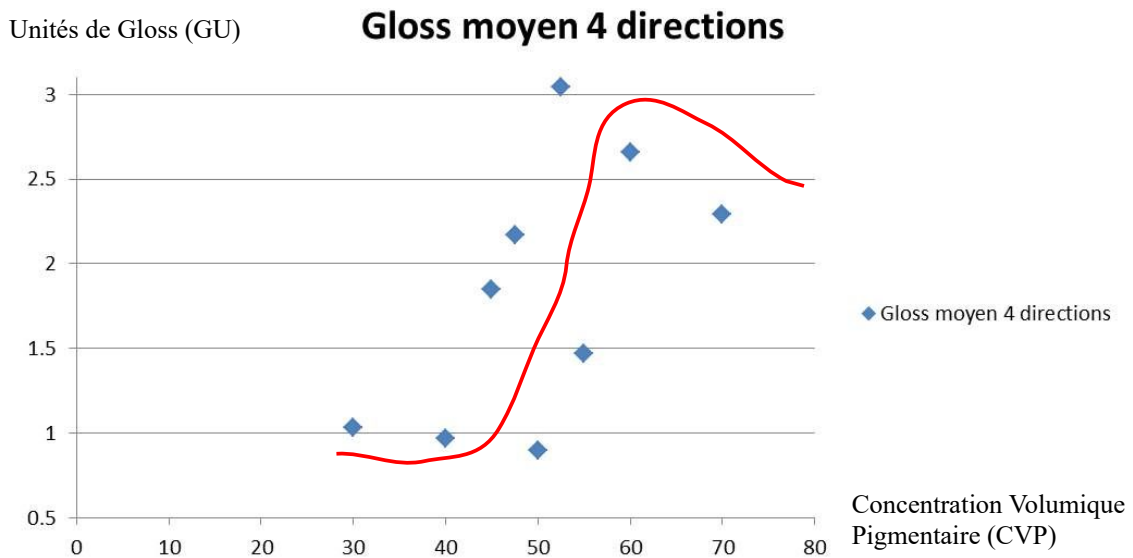
Illustration 23: Relief de l'échantillon 3PP9 préparé à base de liant vinylique et de bleu outremer (CVP = 30%) vu au microscope confocal (zone de 2 mm de côté, pas de 20  $\mu\text{m}$ )

A l'inverse, une couleur trop liée tend à former un film plus lisse avec quelques aspérités sans trace visible de brosse. Les différences entre les pics les plus hauts et les vallées les plus profondes sont faibles, de l'ordre de 20  $\mu\text{m}$  (ill. 23). Étant plus lisse, la surface semble plus brillante. Ayant choisi des zones de 50  $\mu\text{m}$  de côté, nous nous affranchissons des traces d'outil pour avoir un accès direct du relief de la surface peinte.

Pour compléter cette observation à l'échelle macroscopique, une mesure de brillance a été effectuée sur les échantillons à base de liants vinylique et acrylique. Un glossmètre, appelé aussi brillance-mètre mesure la réflexion spéculaire d'une surface à partir d'une source lumineuse selon trois géométries symétriques à la normale.<sup>108</sup> L'unité de mesure est relative à une surface de référence, un verre noir poli qui sert d'étalon et dont la réflexion spéculaire est arbitrairement fixée à 100 unités de Gloss (GU), à angle défini. Les surfaces mates sont mesurées en géométrie 85°.<sup>109</sup>

108 Pointer, M. R., *Measuring the visual appearance – a framework for the future* – Projet 2.3 Measurement of Appearance – National Physic Laboratory Report : COAM 19, 2003, p. 46.

109 Pointer, M. R., *Op cit.*, , p. 47.



*Illustration 24: Représentation graphique de la brillance en GU en fonction de la concentration volumique pigmentaire (Liant Vinylique et pigment bleu outremer) – Le tracé rouge représente notre hypothèse de courbe moyenne.*

Le graphique représente la mesure de la brillance, pourcentage de la réflexion spéculaire selon la géométrie  $85^\circ$  relativement à une surface brillante de référence, en fonction de la CVP pour le pigment bleu outremer dispersé dans le liant vinylique. Si nous faisons l'hypothèse d'une courbe moyenne, elle s'infléchit à partir de 40 % de CVP (tracé en rouge **ill. 24**). Cela ressemble beaucoup au profil de courbe obtenue par Feller & Kunz avec le même liant et le même pigment (**ill. 5**). Dans leurs conclusions, la réflexion diffuse de la couche picturale préparée à partir d'un liant vinylique et d'un pigment bleu outremer, augmentait à partir de la CVPc proche de 45 % de concentration volumique pigmentaire. Comparativement à notre expérience, on retrouve le même profil avec une inflexion à partir de la CVPc égale à 50 % dans notre cas.

Toutefois ce comportement de mesure de brillance ne semble pas se retrouver dans le système liant acrylique / pigment bleu outremer.

A présent si nous nous intéressons à l'échelle microscopique, la cartographie 3D à échelle normalisée, est comparée entre toutes les éprouvettes de liant vinylique et nous confirme que la micro-rugosité évolue en fonction de la CVP. Une couche peu liée est plus accidentée à l'échelle microscopique qu'une couche liée (**Tableau n°7**). En effet en regardant la première ligne de ce panorama, la CVP augmente de 30 à 45 % et les reliefs se multiplient ainsi que leurs amplitudes (les trois schémas ont la même échelle en altitude de 6  $\mu\text{m}$ ). La ligne du milieu montre les CVP de trois échantillons proche de la CVPc, qui a été déterminée à 50 % pour le liant vinylique. La conclusion est moins claire. Le micro-relief de l'échantillon CVPc semble très rugueux avec des pics maximum à 8  $\mu\text{m}$  (**Tableau n°7**). Sur une échelle plus étirée, on constate nettement une accentuation du relief pour l'échantillon le moins lié (3PP1) (**Tableau n°7**).

De nombreux paramètres de rugosité peuvent être extraits de ces cartographies dans le but de quantifier les différences d'observation (**Tableau n°8**). Seul, le paramètre  $S_{sk}$  qui représente l'asymétrie de la distribution des hauteurs, semble être un résultat intéressant en tant que critère d'identification de la CVPc (**ill. 25**).

Une valeur élevée qu'elle soit positive ou négative pour les pics ou les vallées, correspond à une tendance aléatoire et chaotique de la distribution statistique des reliefs. Elle s'observe pour les CVP les plus extrêmes, 30 et 70 % (**ill. 25**). Comme il est lisible sur le graphique **ill. 25** grâce au tracé rouge sur-imprimé, la valeur de  $S_{sk}$  est négative lorsque le système PVAc / bleu outremer est lié en excès et positive lorsque la CVP est supérieure à la valeur critique. Une couche avec un excès de pigment verrait sa valeur de  $S_{sk}$  devenir positive.

Tableau n° 7 : représentation 3D de la surface des échantillons (50  $\mu\text{m}$  de coté) pour une échelle normalisée

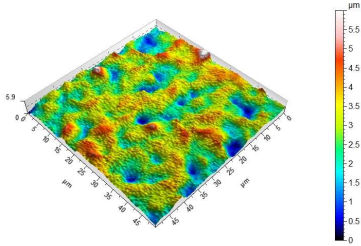
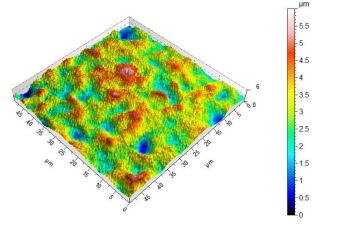
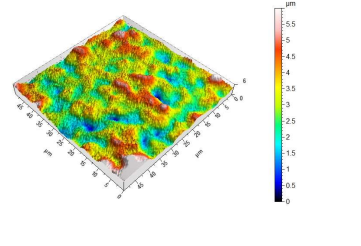
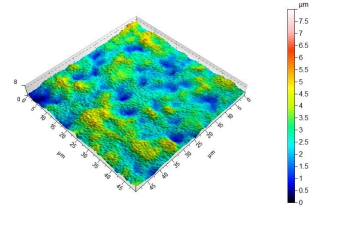
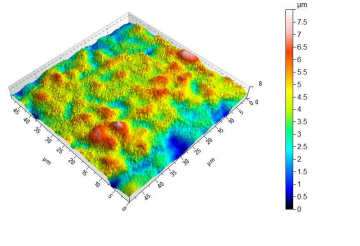
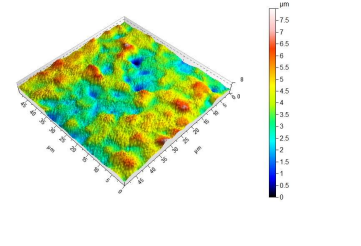
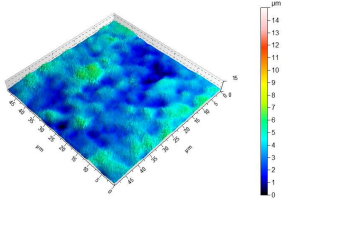
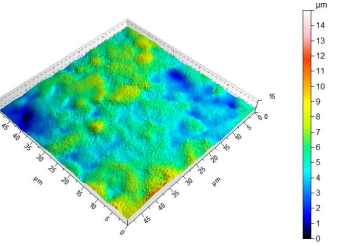
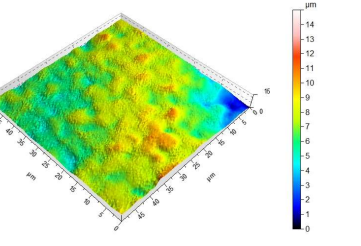
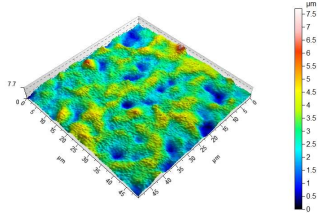
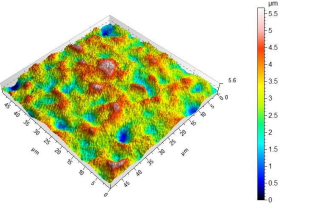
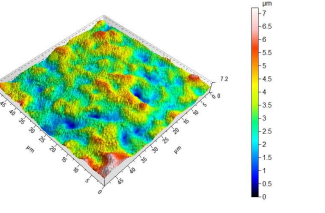
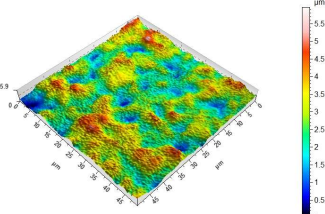
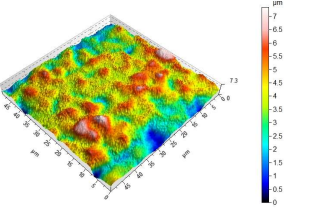
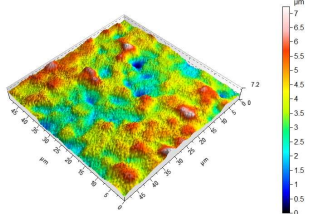
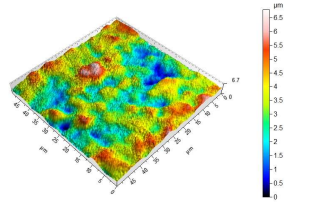
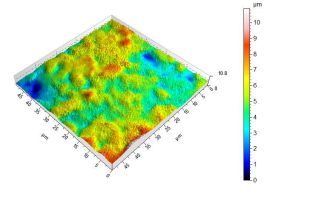
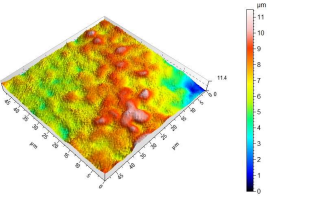
		
<p>CVP = 30 % (3PP9) – Échelle max = 6<math>\mu\text{m}</math></p>	<p>CVP = 40 % (3PP8) – Échelle max = 6<math>\mu\text{m}</math></p>	<p>CVP = 45 % (3PP7) – Échelle max = 6<math>\mu\text{m}</math></p>
		
<p>CVP = 47,5 % (3PP6) – Échelle max = 8 <math>\mu\text{m}</math></p>	<p>CVP = 50 % CVPc (3PP5) – Échelle max = 8 <math>\mu\text{m}</math></p>	<p>CVP = 52,5 % (3PP4) – Échelle max = 8 <math>\mu\text{m}</math></p>
		
<p>CVP = 55 % (3PP3) – Échelle max = 15 <math>\mu\text{m}</math></p>	<p>CVP = 60 % (3PP2) – Échelle max = 15 <math>\mu\text{m}</math></p>	<p>CVP = 70 % (3PP1) – Échelle max = 15 <math>\mu\text{m}</math></p>



Tableau n° 8 : liant vinylique et bleu outremer (microrugosité sur 50µm de coté avec un pas de 0.3 µm)

		
<p>CVP = 30 % (3PP9)</p>	<p>CVP = 40 % (3PP8)</p>	<p>CVP = 45 % (3PP7)</p>
		
<p>CVP = 47,5 % (3PP6)</p>	<p>CVP = 50 % CVPc (3PP5)</p>	<p>CVP = 52,5 % (3PP4)</p>
		
<p>CVP = 55 % (3PP3)</p>	<p>CVP = 60 % (3PP2)</p>	<p>CVP = 70 % (3PP1)</p>

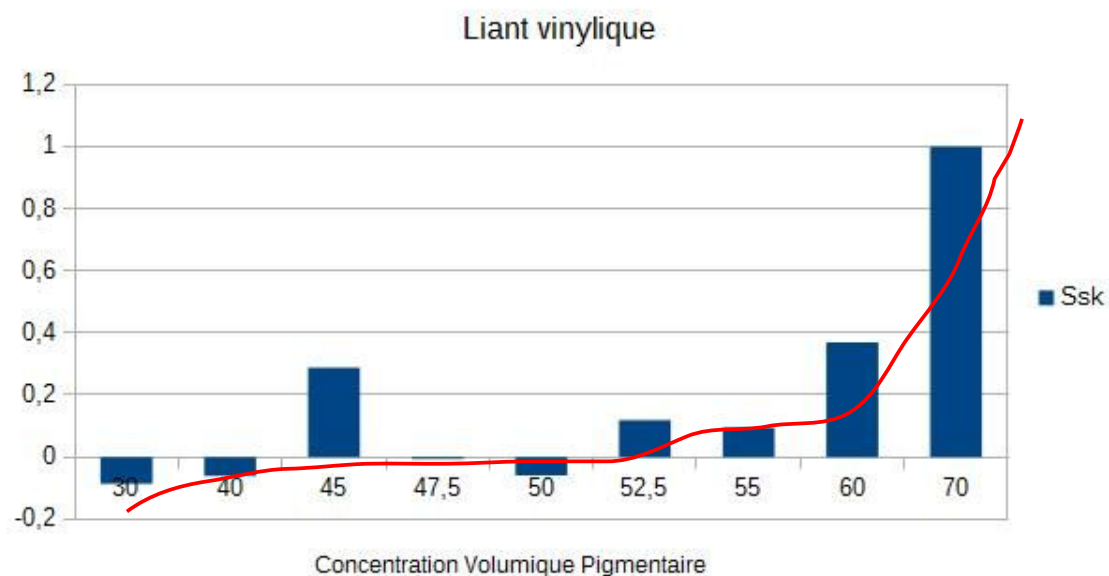
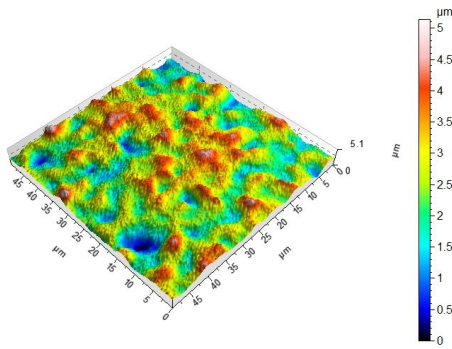


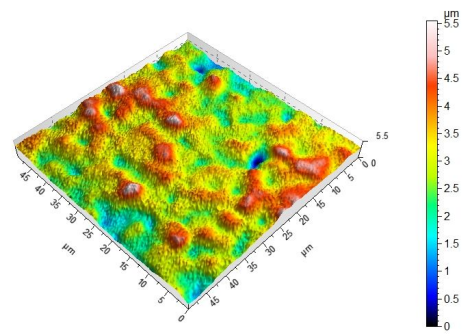
Illustration 25: Graphique représentant la valeur du paramètre de rugosité  $S_{sk}$  en fonction de la concentration volumique pigmentaire (Liant vinylique et pigment bleu outremer). Le passage en valeur positif correspond à la CVPc du système. La courbe rouge représente notre hypothèse de moyenne entre les données.

Ce paramètre traduit l'hétérogénéité de la répartition des hauteurs. Sa variation semble cohérente : l'asymétrie de la distribution s'accroît pour des CVP faibles et à l'inverse pour des valeurs élevées. Autour de la CVPc, la distribution des hauteurs serait la plus homogène, donc une asymétrie faible,  $S_{sk}$  serait proche de zéro.

Pendant il a été signalé que chaque système pigment - liant possède une CVPc caractéristique et un comportement d'enrobage différent. Cela se confirme en le comparant avec le résultat du  $S_{sk}$  pour le liant acrylique. Le même graphique ne présente pas du tout les mêmes tendances, les valeurs de  $S_{sk}$  sont beaucoup plus variables avec ce liant. Cela voudrait dire que la résine en émulsion, du fait de sa phase de coalescence, ne crée pas un film identique à chaque application. Les cartographies 3D pour les éprouvettes à base d'acrylique ont des reliefs de surfaces réguliers sans aucune corrélation avec la CVP. A titre d'exemple, on peut comparer deux échantillons de CVP 30 et 60 % (ill. 26 & 27).



*Illustration 26: Micro-topographie d'une zone de 50 µm de côté pour un échantillon préparé à base de liant acrylique et de bleu outremer en CVP = 30% (3A9)*



*Illustration 27: Micro-topographie d'une zone de 50 µm de côté pour un échantillon préparé à base de liant acrylique et de bleu outremer en CVP = 60% (3A2)*

Ils sont représentés avec une échelle d'altitude très proche, 5 µm au maximum. Malgré leurs différences de quantités de liant, leurs micro-reliefs sont très semblables (**ill. 26 & 27**).

Avec le liant vinylique, aucun paramètre pris individuellement ne donne une tendance claire de la relation entre la micro-rugosité et la CVP et ne permet de discriminer la CVPc. Il faut avoir recours à un outil mathématique : l'analyse par composantes principales (ACP) pour extraire l'information à partir du recouplement de plusieurs paramètres (**ill. 28**).

Si on tient compte des paramètres de rugosité  $S_a$ ,  $S_q$ ,  $S_{sk}$  et  $S_{ku}$  et en plus du paramètre de brillance (gloss exprimée en GU), il devient possible de catégoriser les échantillons à base de liant vinylique. L'ACP confirme le comportement surprenant et sans doute incohérent des deux échantillons dont la CVP est de 45 et de 60 %, déjà identifiés sur la courbe du gloss (**ill. 24**). De plus elle permet de regrouper les échantillons 3PP9, 3 PP8 & 3PP6 respectivement de CVP égale à 30, 40 et 47,5 %, ce qui correspond aux couleurs les plus liées (**ill. 28**). L'ACP isole clairement l'échantillon dont la couleur est préparée à CVPc (**ill. 28**). De plus on peut remarquer que l'éprouvette 3PP5 (CVPc = 50 % pour le liant vinylique) présente une mesure de brillance particulièrement basse, la plus basse de tous les échantillons de la gamme (**ill.**

24). En effet la valeur du gloss obtenue par la moyenne des valeurs selon les 4 directions est de 0,9 %. On en déduit qu'il s'agit de l'éprouvette la plus mate.

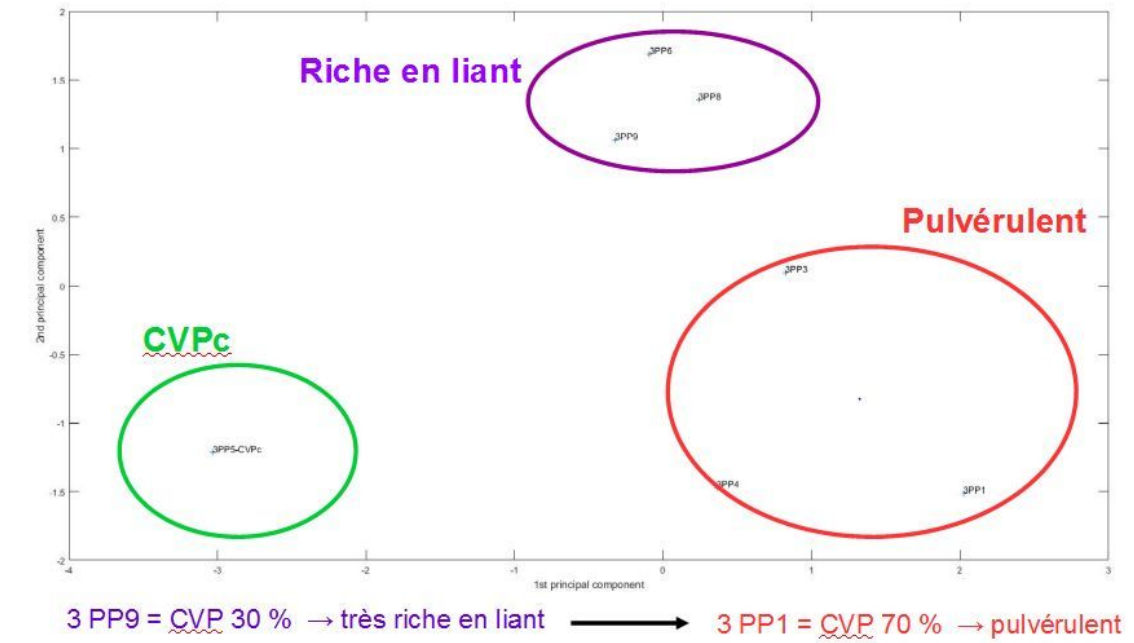


Illustration 28: Graphique multifactoriel représentant la répartition des échantillons en fonction des paramètres de rugosité et de brillance. L'échantillon préparé à partir de la juste quantité nécessaire en liant (3PP5 – CVPc) est isolé par rapport aux échantillons pulvérulents (cercle rouge) et aux échantillons avec un excès de liant (cercle violet).

L'ACP sur les éprouvettes préparées à partir du liant acrylique ne donne pas la même tendance de groupement. Cela renforce le constat que chaque système pigment – liant a ses caractéristiques et qu'un liant en émulsion aqueuse ne forme pas un film identique à un liant en solution colloïdale.

A ce stade de l'étude, les examens instrumentaux semblent apporter plus de questions que de réponses, ce qui est souvent le cas en sciences expérimentales. Le protocole est conçu pour tenter de confirmer une ou plusieurs hypothèses mais l'interprétation des résultats met l'accent sur l'influence de certains paramètres, qu'il faut tester par la suite. Notre recherche centrée sur l'objet se situe dans le champ des sciences

humaines avec un recours aux mesures instrumentales, pour comprendre les phénomènes à l'échelle microscopique, inaccessible à notre perception sensorielle. Mais la précision et la répétabilité de l'outil expérimental se heurtent à la variation et à l'hétérogénéité de la pratique artistique.

En effet, bien que nous ayons apporté un grand soin à la réalisation de ces éprouvettes, elles demeurent hétérogènes en termes d'épaisseur, de broyage, de séchage, etc. Seul, l'outil scientifique n'est pas apte à prendre en compte de la complexité d'une œuvre d'art. Il faudrait avoir recours à la statistique pour multiplier les cas et extraire la tendance de la variabilité des données. Or trois mesures de  $250 \mu\text{m}^2$  sur une éprouvette de  $4335 \text{ mm}^2$  ne représentent que  $0,00017 \%$  de la surface totale de l'échantillon !

De plus, il serait nécessaire de préparer une nouvelle série avec les deux mêmes liants mais un pigment différent. Cela permettrait de tester la répétabilité des résultats. Pour tester la robustesse et la cohérence de ces conclusions, il faudrait également préparer une éprouvette avec une CVP pas encore examinée puis lui faire subir ces mêmes tests à l'aveugle. Sa position dans l'ACP pourrait être comparée avec les autres échantillons déjà enregistrés.

Enfin une mesure sur une œuvre d'Yves Klein par exemple, *IKB3, Monochrome bleu* conservé au centre Pompidou, finaliserait l'évaluation de la pertinence des mesures non plus sur des éprouvettes mais face à un cas réel.

Dans la suite de nos recherches, nous présumons d'une clarification par un recoupement des méthodes d'examen (goniophotométrie, micro-topographie, microscopie à force atomique) qui permettrait d'avoir une vision plus complète. Ces observations pourraient refléter plus finement la réalité du problème, en élargissant l'échelle d'études et en accédant à la stratigraphie de l'œuvre. Comme nous l'avons vu, la pulvérulence n'est pas seulement une perte de cohésion au sein d'une strate colorée mais également une interaction structurelle avec les autres strates de l'objet culturel. Ces informations croisées nous offriraient des points de vue complémentaires, enrichissant la portée des observations.

## II) E.2. Résultats sensoriels et visuels

La réponse instrumentale n'est pas la seule valable aux yeux du conservateur-restaurateur. Sa connaissance de la pratique artistique et son expérience professionnelle le renseignent aussi sur le degré de cohésion d'une surface peinte, qu'elle soit sur un tableau de chevalet ou sur le mur d'une église. L'éprouvette de l'échantillon à base de résine vinylique à CVP égale à 50 % (3PP5) a été préparée selon la recette de l'IKB, en respectant d'une part les ingrédients mais aussi le procédé de fabrication. Les examens scientifiques corroborent l'intuition d'Yves Klein mais aussi le savoir-faire de son expérimentateur, Édouard Adam. Plus modestement, avec notre expérience de la préparation de l'IKB depuis 3 ans, notre intuition et notre sensibilité artistique se sont affinées. Il est possible de confirmer la singularité de cette couleur (composition des matériaux, dosage, broyage, mise en œuvre, perception sensorielle du spectateur) par un faisceau de mesures, qui demandent un arsenal complexe d'instruments et de compétences mathématiques et physiques.

A la concentration volumique pigmentaire critique, les conditions sont réunies d'un compromis entre la conservation des qualités optiques de la poudre de pigment pur étalée sur une surface blanche (saturation, clarté entre autres) et de la qualité d'enrobage des pigments par une solution colloïdale qui autorise leur cohésion et leur adhésion au support. Ce que ne traduisent pas encore nos reconstitutions, précédentes et présentes, c'est d'abord la texture macroscopique de surface, les traces laissées par le rouleau, ces petites aspérités qui donnent un relief doux et vibrant à la surface peinte ; mais également la dimension immersive de l'œuvre par exemple *IKB3, Monochrome bleu* mesure 199 (h) x 153 (L) cm, comparativement à un patch de 2,3 cm de diamètre. Pour paraphraser, Wassily Kandinsky (1866 – 1944), nos essais ne provoquent pas encore un dialogue entre la couleur et l'âme, la résonance visuelle ne se transforme pas encore en émotions, comme c'est le cas face à un monochrome d'Yves Klein.<sup>110</sup>

---

<sup>110</sup> Kandinsky, W., *Du spirituel dans l'art, et dans la peinture en particulier*, Denoël, Paris, 2010 (1989), p. 105 – 110.

Parallèlement à sa perception visuelle, le conservateur-restaurateur, au moment du *faire* sur la pierre à broyer avec la molette, sent la modification du comportement des pigments en fonction de la quantité de liant ajouté. Que ce soit avec le liant aqueux (résine acrylique en émulsion dans l'eau) ou avec le liant vinylique (polyacétate de vinyle en solution dans deux solvants polaires), un mélange peu lié a une consistance sablonneuse. Lorsque le point de friction est atteint, la molette accroche sur le support. On est alors obligé d'appliquer des forces importantes pour continuer à broyer. A l'inverse, une couleur trop liée semble « grasse » : le point de friction entre la molette et la pierre est difficile à atteindre. Pour une couleur correctement liée, comme nous l'avons notifié dans nos comptes-rendus d'expériences, le broyage est une opération longue mais agréable. On sent que l'enrobage progresse d'étape en étape.

Comme le disaient Gilbert Delcroix, professeur à l'IFROA et Marc Havel, ingénieur chez Bourgeois, peindre est un acte rhéologique.<sup>111</sup> C'est surtout au moment d'étendre cette couleur préparée de façon optimale que la différence est flagrante. Elle a une viscosité onctueuse, elle s'étale facilement au pinceau sur le support ; son pouvoir couvrant avec le bleu outremer est très bon ; on peut la travailler, la lisser et surtout obtenir une finition homogène. Dans les cas de couleurs peu liées (CVP élevées), les poils de pinceau absorbent l'eau du mélange, laissant les grains de pigments agglutinés. Il est alors difficile d'étaler correctement la couleur. Au lissage, les traces de l'outil sont très visibles et le restent après séchage. Inversement dans le cas d'une couleur trop liée, le pouvoir couvrant est faible ; à chaque passage du pinceau, on enlève la couleur. La finition est hétérogène.

Même si l'artiste n'a pas de connaissances scientifiques des matériaux qu'ils utilisent, il ressent technologiquement la matière colorée avec laquelle il peint. Ces conclusions lui sont familières. La portée de ces enseignements reste limitée pour le conservateur-restaurateur puisque son rôle n'est pas de broyer des couleurs. Par contre cela lui apporte une connaissance plus fine du comportement de la dispersion du pigment dans le liant.

---

111 Delcroix, G., et Havel, M., *Op cit.*, p. 125.

L'observation approfondie et détaillée des diverses éprouvettes et la répétition de leur préparation ont affiné notre perception de la matité, mais surtout de la propriété de cohésion d'une surface. Ce fut plutôt un long exercice d'apprentissage de l'œil pour devenir plus sensible aux fines variations de matité d'une surface peinte. La perception de la couleur ne se résume pas à l'évaluation des trois composantes teinte, clarté et saturation.<sup>112</sup> L'aspect de surface, la transparence de l'objet mais aussi les contrastes simultanés de teintes voisines enrichissent notre perception du monde coloré. Regarder avec attention la nature de la réflexion de la lumière selon l'angle d'observation apprend à identifier la texture, l'importance des traces d'outils ou encore le velouté du matériau.

L'enseignement majeur de ce travail n'a pas été la quête d'une méthode d'examen scientifique qui diagnostique automatiquement le degré de pulvérulence d'une strate colorée d'une peinture murale du XV<sup>e</sup> siècle ou d'un monochrome d'Yves Klein mais davantage une compréhension globale de la pulvérulence de peinture mate grâce à une approche complémentaire des sciences exactes et des sciences humaines. C'est la pertinence de cette démarche qui sera discutée dans la dernière partie en la mettant en perspective avec notre futur métier.

---

112 Par exemple, classification des couleurs dans l'Atlas Munsell.



## 3<sup>e</sup> partie : interprétation

### III) A. Critiques des examens scientifiques

L'approche analytique via les méthodes d'examens utilisées ne nous a pas permis de déterminer le seuil de concentration volumique pigmentaire des deux systèmes liant – pigment étudiés, ce qui avait comme objectif initial de pouvoir déterminer sans contact le degré de pulvérulence d'une couche colorée.

Aucun paramètre de rugosité, ni aucun angle de mesure de la réflexion diffuse n'a qualifié clairement et précisément la CVPc. Visuellement, la variation de saturation semble linéaire et proportionnelle à la CVP mais le passage du seuil de quantité de liant nécessaire à englober tous les grains de pigment n'est pas détectable par notre protocole expérimental (**ill. 11**).

Plus largement nous constatons que la CVP n'est pas corrélée à la pulvérulence. La CVPc n'est pas un seuil fiable de détection de la pulvérulence. En effet, en broyant le bleu d'outremer et en ayant fait cet exercice à de nombreuses reprises dans le passé avec d'autres pigments, nous nous sommes rendu compte que des pigments non liés, broyés à l'eau et appliqués sur un support poreux, pouvaient présenter une bonne cohésion. Cette constatation avait déjà été faite par Michalski à propos de ses recherches sur des objets ethnographiques peints avec des pigments argileux, comme une terre verte ou un ocre rouge.<sup>113</sup> En réalité, les pigments hydrophiles établissent des forces de cohésion simplement broyés à l'eau et peuvent créer une couche picturale cohésive sans ajout de liant. Le bleu outremer est minéralogiquement une lazurite de formule  $[\text{Na}, \text{Ca}]_8 [(\text{AlSiO}_4)_6 (\text{SO}_4, \text{S}, \text{Cl})_2]$ , organisée en cage de sodalite qui incorpore le radical anion trisulfure  $\text{S}_3^-$ , élément chromophore du pigment.<sup>114</sup> Or cette matrice d'alumino-silicate a

---

<sup>113</sup> Michalski, S. & Dignard, C., *Op. cit.*, p. 116.

<sup>114</sup> Plesters, A., « Ultramarine Blue natural and artificial » in ROY, A. (editor), *Artists' Pigments: A Handbook of Their History and Characteristics*, Volume 2. National Gallery of Art, Washington, Archetype Publications, Londres (R.U.), 1997, p. 42.

des propriétés chimiques et physiques proches des argiles ce qui pourraient expliquer l'existence d'une cohésion des couches colorées de nos éprouvettes malgré une CVP élevée.

### III) A.1. Limites de notre protocole

Comme dans tout protocole, il est possible d'identifier des limites à la portée de ces conclusions.

Lors de la préparation des éprouvettes, l'expérience de la prise d'huile pour les deux liants avec le bleu outremer, paramètre qui conditionne le calcul des CVP des échantillons, n'a pas été répétée plusieurs fois. En outre le calcul de la CVPc a reposé sur une hypothèse fragile. La quantité de liant à ajouter a été calculée à partir d'un modèle qui prend en compte l'huile de lin comme liant. La substitution par un autre liant, acrylique ou vinylique n'a pas été évaluée par l'expérimentateur. Il est très probable que le pigment bleu outremer ne se comporte pas du tout de la même façon avec un liant huileux qu'avec les deux liants synthétiques retenus pour nos expériences. Enfin le choix d'avoir réalisé les échantillons sur des supports toile-papier multiplie les paramètres d'interprétations possibles, rendant plus difficile la compréhension de l'influence de chacun.

Autre limite, lors des mesures, il semble que les instruments soient trop précis pour une préparation artisanale. L'hétérogénéité des échantillons est importante et il s'est avéré difficile de trouver une tendance claire. Il aurait fallu multiplier le nombre de mesures pour calculer des moyennes significatives ou standardiser la préparation des éprouvettes en prenant un support industriel, par exemple une toile enduite du commerce.

Plus généralement, nous sommes conscients que, dans la phase de pratique artisanale de préparation des éprouvettes, la variabilité des gestes, outils et procédés sont autant de paramètres difficiles à isoler et à quantifier.

### III) A.2. Limites de l'approche analytique

Les sciences de la Nature s'appuient sur une approche analytique qui individualise les éléments, divise le tout pour tenter de comprendre le fonctionnement de chaque rouage puis, à partir de cette simplification, elles tentent de proposer une modélisation de la conduite de l'ensemble. Les articles de conservation-restauration multiplient les exemples d'études qui cherchent à comprendre les caractéristiques et les comportements des matériaux constitutifs. Ces recherches sont menées par des ingénieurs ou des chercheurs en sciences de la conservation et partagent le fait d'appliquer une grille analytique à la compréhension de l'œuvre d'art.

« L'approche analytique cherche à ramener un système à ses éléments constitutifs les plus simples ; afin de les étudier en détail et de comprendre les types d'interactions qui existent entre eux. Puis, en modifiant « une variable à la fois », d'en déduire des lois générales permettant de prédire les propriétés du système dans des conditions très différentes. Pour que cette prédiction soit possible, il faut que les lois d'additivité des propriétés élémentaires puissent jouer. Ce qui est le cas des systèmes homogènes, c'est-à-dire comportant des éléments semblables et présentant entre eux des interactions faibles. »<sup>115</sup>

Plus concrètement, on peut prendre l'exemple des recherches sur la question du comportement mécanique des toiles, menées par Alain Roche, ingénieur diplômé du Conservatoire National des Arts et Métiers et restaurateur du patrimoine. Dans l'introduction d'un de ses livres, il insiste sur la nécessité « de simplifier le problème en considérant un modèle simple constitué d'un support souple, d'un encollage, d'une préparation et d'un ou plusieurs filmogènes colorés ou pigmentés. Ensuite nous démontrerons qu'il existe une analogie entre le comportement réel d'une peinture et celui du modèle supposé. »<sup>116</sup> L'auteur justifie son orientation méthodologique par souci

---

115 De Rosnay, J., *Le microscope : vers une vision globale*, Seuil, Paris, 2014 (1975), p. 118.

116 Roche A., *Op cit.*, p. 7.

d'objectivité scientifique : « bien que cette vision soit très simplificatrice, elle permet au scientifique d'aborder les problèmes qu'il se pose avec plus d'objectivité. »<sup>117</sup>

### III) B. Perception élargie du conservateur-restaurateur

#### III) B.1. Prise en compte d'une approche systémique

Le réductionnisme prôné par les sciences de la Nature ne peut rendre compte de la complexité caractéristique de la matérialité d'une œuvre d'art. La complexité semble être un paramètre crucial qu'il est nécessaire d'explicitier pour mieux la cerner. Joël de Rosnay propose de qualifier un système de complexe, à partir du moment où il remplit certaines conditions :

- « - un système complexe est constitué par une grande *variété* de composants ou d'éléments possédant des fonctions spécialisées.
- ces éléments sont organisés en *niveaux* hiérarchiques internes [...]
- les différents niveaux et éléments individuels sont reliés par une grande variété de *liaisons*. Il en résulte une haute densité d'interconnexions.
- les interactions entre les éléments d'un système complexe sont d'un type particulier. On dit que ces interactions sont *non-linéaires*. »<sup>118</sup> [c'est l'auteur qui souligne]

Comment peut-on s'approprier l'approche systémique et ses propriétés pour la pratique de la conservation-restauration ?<sup>119</sup>

Une œuvre d'art abordée par un professionnel formé à la CRBC pourrait être définie comme une synergie matérielle et artistique. Une image peinte est matérialisée par le biais d'un support de nature variée (toile, panneau, enduit d'une fresque, etc.), éventuellement maintenu sur un support (châssis, mur) et encadrée ou non. Cette

---

117 Roche, A., *Op cit.*, p. 101.

118 De Rosnay, J., *Op cit.*, p. 103 – 104.

119 De Rosnay, J., *Op cit.*, p. 103 – 104, critères listés.

synergie aurait traversé le temps, depuis la phase d'inspiration de l'artiste à la réception contemporaine de son œuvre. Cesare Brandi le souligne à juste titre : « la matière permet la manifestation de l'image et la spatialité de l'image ne se limite pas à l'enveloppe matérielle transformée en image ; d'autres éléments intermédiaires entre l'œuvre et celui qui regarde pourront aussi être adoptés comme moyens physiques de transmission de l'image ». <sup>120</sup>

Le conservateur-restaurateur est conscient qu'une œuvre peinte est un système intégratif d'une complexité plus importante que la somme de ses composants. En biologie cellulaire, certains utilisent l'expression « 1 + 1 = 3 » pour résumer ce concept. En effet elle répond en tous points à la liste ci-dessous :

- (i) la variété des matériaux : un tableau peint est composé de bois, de textile à base de fibres naturelles ou synthétiques, de substances filmogènes protéiques, oléagineuses ou synthétiques, de charges minérales, de pigments minéraux et organiques et de résines.
- (ii) il existe des niveaux hiérarchiques internes : un tableau s'organise depuis la matière à l'échelle microscopique, au matériau, jusqu'à l'échelle macroscopique de l'objet. On peut aussi le hiérarchiser selon la dichotomie Structure / Fonction ou Image / Matérialité.
- (iii) les matériaux constitutifs, qui composent les niveaux hiérarchiques sont connectés : une toile tendue sur un châssis en bois est maintenue par des semences. Une préparation enduit la toile et l'isole de la couche picturale. Un vernis constitue une couche de finition et modifie la perception de la couche picturale. L'Image est portée par la Matérialité.
- (iv) des variations sous forme d'interactions non linéaires : il suffit d'observer n'importe quelles courbes de réponses d'un matériau naturel, comme une colle de peau de lapin aux variations d'humidité relative de l'environnement, pour constater que les variations ne sont pas linéaires. <sup>121</sup>

---

<sup>120</sup>Brandi, C., *Théorie de la restauration*, École Nationale du Patrimoine, Monum Editions du Patrimoine, Paris, 2001, p. 36.

<sup>121</sup> Mecklenburg, M. & Lopez, L. F., « Failure mechanisms in canvas supported paintings: Approaches for developing consolidation protocols » in *Colour and Conservation, Materials and methods for*

Une œuvre d'art s'intègre dans un contexte environnemental au-delà de ses propres limites matérielles. De par sa formation, le conservateur-restaurateur en est pleinement convaincu. A nouveau Cesare Brandi insiste sur ce point : « une autre conception erronée de la matière dans l'œuvre d'art limite celle-ci à la consistance matérielle dont résulte l'œuvre elle-même. »<sup>122</sup> Par rapport aux autres spécialistes des disciplines connexes à la conservation-restauration des biens culturels, historiens de l'Art, scientifiques, muséographes ou architectes du patrimoine, le conservateur-restaurateur a un regard propre qui oscille entre la précision du détail et l'intégration de la globalité matérielle et esthétique de l'œuvre. Par exemple lors d'un refixage, il peut lui arriver de travailler à l'échelle de mesure du millimètre carré, avec une centaine de petites écailles. Pourtant son échelle de perception concerne l'intégrité physique de toute la superficie de l'œuvre, qui peut atteindre plusieurs mètres carrés. Le même raisonnement peut se décliner dans l'exemple de la réintégration d'une lacune de couche colorée. Une touche colorée de quelques millimètres carrés permet de « faire passer » la lacune et à nouveau de résonner dans la totalité de l'image de l'œuvre.

Le premier enseignement de notre expérimentation sur le thème de la pulvérulence est une perception plus fine de la complexité des matériaux constitutifs d'une œuvre. Une fois ceux-ci mis ensemble, il est difficile de décrire leur comportement optique, mécanique ou structurel avec la même simplicité que lorsqu'ils sont étudiés individuellement.

### III) B.2. Développement d'une vision haptique comme nouvel outil de diagnostic

Le second enseignement de la réalisation de ces éprouvettes est le développement du sens haptique de la vue. En effet la pulvérulence n'a pas de grandeur physique comme la largeur pour une craquelure ou l'épaisseur pour un soulèvement en

---

consolidation, and scientific methods to evaluate their effectiveness, Proceedings of the Conference Milan - November 10-11, 2006, p. 58 : exemple de courbes.

<sup>122</sup> Brandi, C., *Op cit.*, p. 36.

tuile. Sa quantification pourrait reposer sur une évaluation de l'intégrité physique de la couche picturale en fonction de son degré de pulvérulence.

Le conception de vision haptique est introduite par Aloïs Riegl (1858 – 1905) dans son livre *L'industrie d'art romaine tardive* publié en 1901. Il construit un néologisme à partir du verbe *aptô* qui signifie en grec « toucher ». <sup>123</sup> Il souhaite désigner une relation extrinsèque de l'œil au toucher qui soit une « possibilité du regard », un type de vision distinct de l'optique. C'est le philosophe Gilles Deleuze (1925 – 1995) qui le détaille et y réfléchit dans le domaine de la peinture. Il explique qu'il existe plusieurs aspects de la relation entre la main et l'œil : l'un digital, l'autre haptique. Le digital sous sa forme tactile peut être compris comme une subordination de la main à l'œil. La main effectue des gestes, met en œuvre les formes et les lignes que l'intellect a décidé. Les mains opèrent, l'œil juge et décide. On pourrait assimiler cette définition au cas d'un chirurgien opérant un patient. Deleuze propose que dans le cas d'un renversement, la main juge et décide, l'œil contrôle, alors on utilise le terme de manuel. Nous pourrions citer l'exemple d'un boulanger qui pétrit son pain où les gestes priment sur la décision du *faire*. En peinture, il nous dit que l'espace tactile - optique est celui de la figuration. <sup>124</sup>

Le philosophe dit qu'« on parlera d'haptique chaque fois qu'il n'y aura plus subordination étroite dans un sens ou dans l'autre [ni digital, ni manuel], ni subordination relâchée ou connexion virtuelle, mais quand la vue elle-même découvrira en soi une fonction de toucher qui lui est propre, et n'appartient qu'à elle, distincte de sa fonction optique. » <sup>125</sup> Mireille Buydens commente la pensée esthétique de Deleuze et parvient à isoler trois traits importants qui distinguent optique et haptique : la proximité, l'espace aformel et le statut de la ligne. <sup>126</sup>

A part l'artiste, le conservateur-restaurateur est le seul à être aussi proche des œuvres, à scruter chaque millimètre carré. La proximité est d'abord physique, celle de

---

123 Deleuze, G., *Francis Bacon logique de la sensation*, Seuil Paris, 2002, p. 116.

124 Deleuze, G., *Op cit.*, p. 145.

125 Deleuze, G., *Op cit.*, p. 146.

126 Buydens, M., *Sahara l'esthétique de Gilles Deleuze*, Vrin, Paris 2005, p. 124-130.

son regard, celle qu'il a avec ses instruments. Mais cette proximité est surtout en termes de compréhension. Par sa pratique artistique et sa sensibilité, le conservateur-restaurateur est celui qui comprend le mieux d'une part la matérialité de l'œuvre mais aussi la création, souvent étant lui-même dessinateur, copiste ou peintre. La proximité physique du professionnel avec l'œuvre crée une intimité avec elle et avec son créateur, qui s'enrichit d'une proximité intellectuelle, sensorielle et artistique.

Dans le cas étudié de la pulvérulence, il s'avère que ce concept développé par Deleuze, initialement pour évoquer les tableaux de Cézanne ou de Bacon, fait particulièrement écho à notre ressenti. La matité d'une surface peinte et son éventuel degré de décohésion pourraient être perçus d'après la compétence de l'œil haptique. La pulvérulence serait alors perçue par sa manifestation de différence de matité. La perception de la surface est primordiale dans ce cas. Mais nous avons vu que cela ne devait pas être la seule préoccupation. Une perte de cohésion d'une couche picturale se répercute dans l'épaisseur d'une strate et aussi aux interfaces avec une perte conjuguée de l'adhésion.

La diversité des interactions de la lumière avec la matière, lumière rasante, réflexion spéculaire ou diffuse, et le recours à des instruments d'observation comme les lunettes-loupes ou la loupe binoculaire améliorent notre connaissance et l'évaluation du degré de pulvérulence. Mais plus largement, nous trouvons intéressant d'imaginer que le conservateur-restaurateur soit capable de mobiliser son troisième œil haptique, celui qui, par sa vision rapprochée de l'objet se comporterait comme le toucher mais sans l'assistance du toucher ; un troisième œil qui dépasse la dualité tactile / optique.<sup>127</sup> L'œil haptique du conservateur-restaurateur serait un outil de diagnostic du degré de pulvérulence mais plus largement serait un outil d'observation, d'analyse et d'évaluation de ses propres interventions. Il développerait une capacité haptique de sa vue pour appréhender le matériau avec un autre point de vue, structurel, esthétique et artistique.

---

127 Deleuze, G., cours sur la peinture du 19 mai 1981 donné à l'université Paris 8, audio et transcription disponible sur le site de l'université, consulté le 17 avril 2017.



### III) C. Confrontation de l'étude de deux cas d'œuvres

Il semble intéressant de confronter ces conclusions à l'étude de cas concrets. Nos stages ne nous ont pas donné l'opportunité de travailler sur la problématique des couches picturales pulvérulentes, nous avons donc recours à la documentation.



*Illustration 29: Sicile, Vue d'Agrigente (n° inv : MG4063) – Crédits photographique : Jean-Luc LACROIX*

Deux cas concrets d'intervention sur des œuvres modernes sont mis en regard avec la production d'Yves Klein, dont certaines œuvres ont fait l'objet de nos recherches. Elles sont analysées pour mettre en perspective les connaissances du phénomène rassemblées dans ce mémoire avec la réalité des œuvres. Ces savoirs accumulés par la pratique, par l'expérimentation sur des éprouvettes et par la bibliographie sont confrontés aux interventions réelles sur deux œuvres du patrimoine français. La documentation du C2RMF a été complétée par des témoignages oraux des

protagonistes. Cela nous offre une confrontation des points de vue et des perceptions des acteurs, en fonction de leur degré de proximité et de responsabilité vis-à-vis de l'œuvre. Est-ce qu'un conservateur historien de l'art aura le même ressenti face à une couche pulvérulente qu'un conservateur-restaurateur qui passe un consolidant au spalter sur sa surface ?

### III) C.1. *Sicile, vue d'Agrigente* de Nicolas de Staël (1914 - 1955)

Cette toile datée de 1954 mesure 114 (h) x 146 (L) cm et elle est conservée au Musée de Grenoble depuis son acquisition en 1982 sous le numéro d'inventaire MG 4063 (III. 29). Ce tableau représente un paysage baigné de soleil où la perspective monofocale est prédominante, accentuée par la présence de grands aplats de teintes. Le rapport des contrastes de ces couleurs pures est frappant, ce qui renforce l'effet de profondeur du tableau.

Ce tableau est peint sur une toile de lin tendue sur un châssis. La préparation a été identifiée comme étant à base de blanc de plomb.<sup>128</sup> A l'opposé de son habitude d'appliquer la couleur en empâtements importants, Nicolas de Staël a étiré en couches très fines le vert du ciel sans doute à l'aide d'un couteau à palette (III. 29). Cette zone contraste de par sa texture avec l'avant-plan où les couches sont plus épaisses. L'aspect est très mat si bien qu'on pourrait penser qu'elle est réalisée à la colle très chargée en pigment. Or les analyses élémentaires du liant et des pigments ont confirmé la présence d'un liant huileux siccativé et de pigments comme le violet de cobalt, le vert de chrome, le jaune de chrome pur ou dégradé au blanc de zinc.<sup>129</sup> Des reprises, *a priori* de l'artiste, sont visibles sur la plage colorée jaune à droite. L'œuvre n'est pas vernie.<sup>130</sup>

Depuis son acquisition par le musée en 1982, l'état de conservation du tableau est préoccupant et il a subi de nombreuses interventions par différents restaurateurs. Il

---

128 Balcar, N., dossier de laboratoire C2RMF réalisé en juillet 2008 (n° document C2RMF : 13453).

129 Balcar, N., analyse élémentaire au MEB-EDS pour les pigments et par pyrolyse – chromatographie en phase gazeuse pour le liant, dossier de laboratoire, juillet 2008.

130 Des Cloizeaux, C., constat d'état du 16 mars 2008 (n° document C2RMF : 15679).

s'agit d'un cas complexe qui a demandé de travailler très prudemment et progressivement avec un résultat actuel jugé satisfaisant par la conservatrice.<sup>131</sup>

Rappel de l'histoire matérielle du tableau (d'après les dossiers de restauration disponibles au C2RMF)

- juin 1984 : Marie-France Racine intervient pour l'enlèvement d'une trace de feutre ;
- mai 1990 : Aloÿs de Becdelièvre réalise un nettoyage et une reprise de tension d'un angle ;
- en 2003, lors d'une exposition temporaire à Paris au MNAM, Élodie Benz refixe en urgence quelques empâtements dans les zones jaunes. La même année, une protection arrière est ajoutée ;
- entre 2008 et 2013, Cécile des Cloizeaux et Amalia Ramanankirahina interviennent à plusieurs reprises de manière fondamentale sur le refixage et la consolidation de la couche picturale.

La première phase a consisté en un constat d'état approfondi et des tests de faisabilité en fonction de la nature des adhésifs et des modes d'application, avant la première intervention en juillet 2008. Chaque plage colorée est observée à l'œil nu et à la loupe binoculaire en lumière réfléchie et rasante. Les conclusions des restauratrices identifient une strate colorée hétérogène, très poreuse qui ressemble plus à une peinture à la colle qu'à une huile en termes de texture et de matité. Les plages colorées jaunes (jaune d'or, jaune moyen et jaune vif) sont toutes très peu liées, très pulvérulentes et sensibles à l'eau, à l'alcool et au white spirit (**ill. 30**).

En particulier, ces zones jaunes présentent une stratigraphie inhabituelle : la couche sous-jacente très peu cohésive est recouverte d'une couche stable et cohésive.

---

131 Témoignage de Mme Sophie Bernard, conservatrice chargée des collections modernes et contemporaines au musée de Grenoble – entretien téléphonique du 12 avril 2017.

Ces reprises ont été identifiées comme originales, mais créent des différences de



Illustration 30: Sicile, vue d'Agrigente, plages colorées concernées par la pulvérulence.

répartition des forces internes entre les deux couches (ill. 30). La pulvérulence, bien qu'elle soit clairement qualifiée de constitutive et dépendante du *faire* de l'artiste, est aggravée par cette hétérogénéité de cohésion des strates superposées. Le diagnostic serait le suivant : la couche supérieure plus cohésive exerce des forces de traction sur la couche inférieure, entièrement décohesive, ce qui provoque dans un

premier temps des craquelures puis des soulèvements en tuile jusqu'à des clivages à l'interface des deux strates. Cette situation est évolutive malgré les précautions climatiques prises à son égard. La couche picturale devient très fragile, complètement friable et le tableau est intransportable. On est dans l'obligation de le stocker à plat.

Les tests préalables réalisés en mars 2008 directement sur l'œuvre révèlent une inefficacité du refixage à la colle du fait de la faible mouillabilité et de la relative imperméabilité de la couche superficielle. Les adhésifs testés sont la colle d'esturgeon à 1 % mélangée en proportion 2/3 : 1/3 avec le junfunori à 1 %. Les essais de mise en œuvre par pulvérisation s'avèrent difficiles car l'imprégnation de la surface par le solvant augmente dramatiquement la perte de cohésion de la couche picturale.<sup>132</sup>

Suite au constat et aux tests, les interventions de refixage et de consolidation sont réalisées en juillet 2008 sur place à Grenoble. Le tableau est maintenu à plat, toute manipulation ou vibration est prohibée à cause de la fragilité de la couche picturale. L'intervention de conservation curative a pour but de préserver l'intégrité physique des plages colorées jaunes de l'avant-plan. Les contraintes reposent sur le choix de l'adhésif

---

132 Des Cloizeaux, C., rapport d'étude préalable, mars 2008 (n° document C2RMF : 15680).

et du procédé d'application : le travail doit être réalisé à plat, sans accès au revers ; la couche picturale est sensible à l'eau et à l'alcool ; la peinture est mate, l'adhésif ne doit pas modifier optiquement la perception visuelle des couleurs ; la nébulisation de l'adhésif ne permet pas une pénétration dans la profondeur de la couche pulvérulente ; la table basse pression, même au minimum détruit la couche pulvérulente.

Les refixages sont effectués grâce à l'application au pinceau d'un adhésif à base de méthacrylate d'isobutyle (Paraloid® B67) en solution dans le white spirit à 2 % puis réactivé à la spatule chauffante.<sup>133</sup> La consolidation généralisée se fait par imprégnation de la surface avec le même adhésif appliqué à la brosse douce en deux passages puis réactivé à la spatule chauffante.<sup>134</sup>

Après l'intervention, un caisson climatique et une protection arrière anti-vibrations sont fabriqués spécialement pour l'œuvre. Trois ans plus tard, une intervention d'urgence intervient dans la même zone et une consolidation est à nouveau réalisée avec le même adhésif en concentration légèrement supérieure.<sup>135</sup>

En février 2013, malgré le caisson climatique et les interventions antérieures, de nouveaux soulèvements apparaissent à dextre sur les mêmes plages colorées jaunes. Le choix s'oriente vers un adhésif dont le pouvoir collant est plus élevé, un polymère hydrosoluble à base de poly(2-ethyl-2-oxazoline), nommé Aquazol® 500.<sup>136</sup> Il est utilisé pour le refixage des soulèvements, dilué dans un mélange d'eau et d'alcool. Une nouvelle consolidation est réalisée avec un Paraloid® B67 dilué dans le white spirit à 2 %.<sup>137</sup>

Actuellement, le tableau *Sicile, vue d'Agrigente* est exposé dans l'une des salles du musée, protégé en caisson climatique et ne présente pas de nouveaux soulèvements ou déplacements.<sup>138</sup>

---

133 Conservation & Art Materials Encyclopedia Online (CAMEO) – Paraloid B67, consulté le 17 avril 2017.

134 Des Cloizeaux, C., rapport d'intervention, juillet 2008 (n° document C2RMF : 22947).

135 Des Cloizeaux, C. rapport d'intervention, juillet 2011 (n° document C2RMF : 29767).

136 Conservation & Art Materials Encyclopedia Online (CAMEO) – Aquazol, consulté le 17 avril 2017.

137 Des Cloizeaux, C., rapport d'intervention février 2013 (n° document C2RMF : 25929).

138 Témoignage de Mme Sophie Bernard, conservatrice chargée des collections modernes et contemporaines au musée de Grenoble – entretien téléphonique du 12 avril 2017.

Nous remarquons que le choix d'intervention a mis en avant le caractère minimaliste de chaque étape en limitant les apports d'adhésif. De fait la conséquence est, une multiplication des interventions sur l'œuvre au cours des décennies. Les restauratrices tâtonnent progressivement pour cerner la réaction des matériaux. Leurs tests portent directement sur l'œuvre et sur de petites zones discrètes. Le recours à la fabrication d'éprouvettes n'est pas rendu possible par manque de moyens et de temps. Les modifications optiques induites par l'ajout d'un consolidant sont au cœur de leur préoccupation et elles les abordent par le biais de leur sensibilité, sans examen colorimétrique. Enfin il est intéressant de noter la complémentarité d'une intervention de conservation curative avec un projet de conservation préventive : l'environnement de l'œuvre est modifié par la mise sous caisson climatique et l'ajout de systèmes anti-vibrations.

Nous avons constaté que la restauratrice employait le mot « gaufrettes » ou l'expression « présence d'air dans la couche picturale » pour qualifier la pulvérulence.<sup>139</sup> On remarque que celle-ci n'est pas considérée comme une altération localisée mais qu'elle est associée à une compréhension de la stratigraphie et selon une vision de l'intégrité physique de la couche picturale. Cet avis s'oppose à la perception de la conservatrice actuellement en poste, qui qualifie l'état de conservation de *Sicile, vue d'Agrigente*, de stable et de stabilisé à l'avenir. Il ne s'agit pas du tout d'une œuvre pulvérulente.<sup>140</sup> En effet à son avis, la pulvérulence s'apparente à une moisissure blanche, à un état de poudre et de délabrement de la couche picturale, incompatible avec la présentation au public du tableau.

---

139 Témoignage de Cécile des Cloizeaux, restauratrice de peintures - Entretien téléphonique le 12 avril 2017.

140 Témoignage de Mme Sophie Bernard, conservatrice chargée des collections modernes et contemporaines au musée de Grenoble – entretien téléphonique du 12 avril 2017.

### III) C.2. *Intérieur aux aubergines* d'Henri Matisse (1869 – 1954)

Ce tableau, conservé au Musée de Grenoble est un des quatre grands « Intérieurs symphoniques » de 1911, avec *L'Atelier rouge* du Museum of Modern Art à New York, *L'Atelier rose* du musée Pouchkine à Moscou et *La Famille du peintre* du musée de l'Ermitage à Saint-Pétersbourg. Il mesure 212 (h) par 246 (L) cm.



Illustration 31: *Intérieur aux aubergines* (n° inv MG 2161) - Crédits photographique : Jean-Luc LACROIX

L'œuvre est d'une grande richesse colorée, sans perspective apparente, comme un tapis oriental (ill. 31). Les motifs décoratifs s'organisent de façon répétitive aux côtés de grands aplats de couleur pure. Dominique Fourcade, dans un essai publié dans la revue *Critique* en 1973, raconte l'histoire de ce tableau en se basant essentiellement sur le livre d'Alfred Barr intitulé *Matisse, his life and his public*.<sup>141</sup> L'œuvre est peinte en

<sup>141</sup> Barr, A., *Matisse, his life and his public*, The museum of modern art, New York (E.-U.), 1951 cité par Fourcade, D., *Rêver à trois aubergines ...*, Centre Pompidou, Paris, 2012.

1911 dans son atelier à Collioure (Pyrénées Orientales) et est achetée l'année suivante par les Stein. Fourcade reproduit une citation de Matisse rapportée par Pierre Courthion : « j'ai donné un grand panneau fait à la colle à Collioure. Il appartenait à la collection Stein. Mikael Stein me l'a repassé généreusement au prix d'achat (car mes tableaux avaient beaucoup augmenté) quand il est retourné à San Francisco. C'est un intérieur de mon atelier, avec une vue sur les montagnes, à Collioure. »<sup>142</sup> Une modification de format, réduction de la bande périmétrique décorative est évoquée sans en identifier ni l'auteur ni la date.

L'artiste l'aurait racheté par la suite, puis en a fait don en juin 1922 au musée de Grenoble, dont le conservateur est Andry-Farcy, ancien élève de l'atelier de Gustave Moreau.<sup>143</sup> Il semble qu'Henri Matisse ait déjà signalé que l'œuvre ne devait pas voyager du fait de la fragilité de sa couche picturale.<sup>144</sup> Au cours des années, son mauvais état de conservation oblige les responsables du musée à la stocker horizontalement. Fourcade, fin connaisseur de la production de l'artiste mais pas restaurateur, précise que l'état de conservation est comparable à celui de deux autres œuvres de la même période : *Le luxe II* datée de 1907-08 et conservée au Statens museum for Kunt à Copenhague et *Café arabe* conservée à l'Ermitage daté de 1913.<sup>145</sup>

Elle est peinte sur une toile de lin de tissage fin qui n'est pas encollée ni préparée. Le fait d'avoir été peinte à Collioure dans un atelier temporaire pourrait expliquer la raison de l'utilisation d'une toile brute. La peinture est mate ; les couleurs appliquées en couches peu épaisses sont préparées avec des pigments finement broyés et présentent toutes un ajout de blanc de zinc. Bien que ce dernier élément soit un point commun avec une gouache, le liant est toutefois une colle animale.<sup>146</sup> La couche colorée

---

142 Fourcade, D., *Rêver à trois aubergines ...*, Centre Pompidou, Paris, 2012, p. 11 – Pierre Courthion est l'auteur de l'ouvrage *Le Visage de Matisse* publié en 1942.

143 Fourcade, D., *Op cit.*, p. 7.

144 Information connue et transmise depuis 1922 au sein du musée- Voir lettre de Maurice Besset en 1970, conservateur du musée – Mail de Mme Estelle Favre-Taylaz, documentaliste au musée de Grenoble. Lettres en **Annexe n°5**.

145 Fourcade, D., *Op cit.*, p. 13.

146 Rioux, J-P, rapport de laboratoire 26 avril 1977 (n° document C2RMF : 977a & 977b).



a traversé la toile et est visible par le revers. La faible cohésion et adhésion de la couche picturale à la toile est due à une migration lente du liant absorbé par les fibres de la toile. L'absence de couche imperméabilisante entre la toile et la couche picturale a créé un embu, appauvrissant la couleur en liant. Jean-Paul Rioux remarque que la pulvérulence est inégalement répartie en fonction des plages colorées : certains pigments hydrophiles auraient ralenti le phénomène d'embu. Les teintes claires sont plus appauvries en liant que les teintes sombres comme le violet de cobalt, les bruns, le bleu outremer ou le vert de chrome.<sup>147</sup>

L'étude scientifique se poursuit en 1978 avec Jean Petit qui qualifie l'état de conservation de l'œuvre de « dramatique ».<sup>148</sup> Après un nouveau tour d'horizon des matériaux constitutifs et de la cause de la pulvérulence, un cahier des charges est rédigé en vue de trouver une solution. Les objectifs sont structurels dans un respect esthétique de la matité de l'œuvre et de la saturation des teintes.<sup>149</sup> Son diagnostic en tant que scientifique essaie de rendre compte de la complexité du cas : « il ne s'agit pas, d'après toutes observations rapportées, d'un phénomène superficiel de la couche picturale mais d'une propriété généralisée dans l'épaisseur totale de la couche ».<sup>150</sup> Le chercheur a également fait une enquête sur les cas similaires documentés dans d'autres musées pour des œuvres de la même période de l'artiste. Ainsi il expose le déroulement de l'intervention de consolidation d'après les informations recueillies auprès des restaurateurs du musée de l'Ermitage sur le *Café maure* (1913), puis ajoute les renseignements d'autres restaurations réalisées au Moma de New York ou à l'ICR de Rome.<sup>151</sup> Il en conclut avec beaucoup de sagesse qu'il n'y a pas de matériau idéal mais plutôt un savoir-faire adapté et un procédé adéquat.

---

147 Rioux, J-P, rapport de laboratoire 26 avril 1977 (n° document C2RMF : 977a & 977b).

148 Petit, J., rapport de la situation le 28 octobre 1978 (n° document C2RMF : 12038).

149 Petit, J., rapport de la situation le 28 octobre 1978 (n° document C2RMF : 12038).

150 Petit, J., rapport de la situation le 28 octobre 1978 (n° document C2RMF : 12038).

151 Lettre de Maurice Besset en 1974 au responsable du musée de l'Ermitage à Leningrad – Mail de Mme Estelle Favre-Taylaz, documentaliste au musée de Grenoble. Lettres en **Annexe n°6**.

Cette longue phase préliminaire de prise de renseignements et de recherches sur cette œuvre ainsi que le comportement des strates colorées et la matité est résumée dans un dossier de synthèse conséquent qui rassemble les connaissances.<sup>152</sup>

Une première campagne est menée entre 1979 et 1981 par André Mielniczek, appliquant les recommandations issues de trois ans de recherches et de réflexions de Jean Petit et Jean-Paul Rioux. Il réalise une consolidation à l'alcool polyvinylique pulvérisé (Rhodoviol BS 125), dilué à 2 % dans l'eau. Il fait également un doublage de la toile en choisissant un adhésif de polyacétate de vinyle (Rhodopas M de faible degré de polymérisation). Le revers est repassé pour réactiver l'adhésif.<sup>153</sup>

Dix ans plus tard, une seconde campagne s'impose compte tenu des soulèvements, écaillages et craquelures toujours présentes. Claire Bergeaud et Jacques Hourrière identifient ces altérations structurelles et observent la présence d'une « croûte » superficielle d'adhésif, qui crée des tensions accrues sur les couches sous-jacentes. Le procédé de pulvérisation, la faible mouillabilité et le manque de pénétration de l'adhésif aqueux sont à l'origine de cette situation. Ils proposent le choix d'un matériau à la fois adhésif et consolidant : la colle d'esturgeon diluée est associée à un procédé d'application qui cherche à améliorer sa pénétration dans la profondeur de la strate colorée. Un mélange eau / alcool (80 : 20) est pulvérisé avant et après celle de l'adhésif sur la surface, d'une part pour éviter les auréoles et d'autre part pour réactiver l'alcool polyvinylique déjà présent à la surface de l'œuvre. Pour le refixage, une solution de colle d'esturgeon diluée à 5 % dans l'eau déminéralisée additionnée d'un tensio-actif (Agepon) est utilisée ; alors que la consolidation est faite avec une solution plus diluée à 2,5%. L'opération est assurée sur table basse pression.<sup>154</sup> En 2007, le tableau ayant évolué depuis la dernière intervention, des refixages localisés surtout dans les plages colorées vertes (paysage à senestre, papier peint, angle supérieur dextre du paravent, petit vase à dextre, voir **ill. 31**) sont effectués à l'aide d'un microdoseur pour injecter une

---

152 Petit, J., document de synthèse (n° document C2RMF : 12040).

153 Mielniczek, A., rapport d'intervention (n° document C2RMF : 12041).

154 Bergeaud, C. et Hourrière, J., rapport d'intervention janvier 1993 (n° document C2RMF : 12049).

solution en proportion 1 : 1 de colle d'esturgeon à 2 % et de junfunori à 0,5 % diluée dans l'eau déminéralisée.<sup>155</sup>

De notre point de vue, la méthodologie appliquée dans ce cas semble mettre l'accent sur le temps de la recherche, sur l'interrogation et sur la comparaison avec d'autres cas similaires ainsi que sur le temps de l'expérimentation. Les protagonistes mettent au point un protocole sur les bases des résultats de cette démarche de recueil d'informations et d'enquêtes. Dix ans plus tard, la seconde campagne se déroule de façon très différente. Aucun chercheur ou scientifique n'a été associé au projet, aucun protocole expérimental ni aucun test n'ont été mis en œuvre, ou du moins ils ne sont pas relatés dans les dossiers de documentation. Dans ce cas, la réflexion sur la conservation préventive ne semble pas intégrée au projet, sans doute du fait des dimensions imposantes du tableau, plus de 5 m<sup>2</sup> au total. Cette remarque est confirmée par l'un des acteurs : à l'époque il n'existait pas de verre feuilleté (qualité optique anti-reflets) de cette dimension. Les conservateurs avaient tout de même réfléchi à une alcôve fermée par un verre securit.<sup>156</sup>

*Intérieur aux aubergines* présente des parties très peu cohésives qui sont le résultat cumulé d'un embu du liant par le textile non encollé et non préparé de la toile et de l'impact mécanique des variations climatiques. Certaines parties préalablement traitées sont brillantes et n'ont pu être reprises. L'évaluation de la pulvérulence par les deux restaurateurs s'est simplement faite par frottement d'un coton-bâtonnet sur la surface et par l'observation de la présence ou non de pigments sur l'outil.<sup>157</sup> Bien que connaissant les phénomènes physiques de l'altération et ayant recours aux outils scientifiques d'analyse, la restauratrice admet que tout cela ne fut pas une aide dans la mise en œuvre de l'intervention en 1993. D'autres œuvres peintes à la colle comme certaines d'Édouard Vuillard (1868 – 1940) sont également pulvérulentes. Toutefois la

---

155 Bergeaud, C., rapport d'intervention juin 2007 (n° document C2RMF 12111).

156 Témoignage de Mme Claire Bergeaud, restauratrice – entretien téléphonique du 19 avril 2017.

157 Témoignage de M. Jacques Hourrière – entretien téléphonique du 2 mai 2017.

gravité de la pulvérulence est différente si l'œuvre est peinte sur toile ou sur carton. Alors entre en compte l'importance de l'interaction couche picturale / support pour envisager la problématique de pulvérulence.<sup>158</sup>

### **III) C.3. Comparaison des deux cas**

La comparaison des deux cas exposés ci-dessus montrent les différences d'approche méthodologique et la place réelle des contraintes.

Le recours à l'expérimentation et aux savoirs scientifiques ne garantit pas la réussite d'un projet d'intervention. Envisager un projet de conservation préventive pour réduire l'impact des variations environnementales sur la fragile couche picturale est une démarche louable mais qui ne solutionne pas complètement l'évolution de l'altération.

Les contraintes extérieures qui pèsent sur le déroulement de l'intervention du conservateur-restaurateur ont été clairement pointées du doigt : temps, manque de moyens pour mettre en place un protocole de recherche, manque de moyens matériels pour traiter les œuvres, etc. Il faut ajouter les contraintes muséales. En effet une œuvre appartenant à des collections nationales, conservée dans un musée ou un monument historique, a vocation à être exposée. Il en découle une série d'adaptations nécessaires à la présentation de l'œuvre au public : le conservateur responsable juridique de l'œuvre doit garantir l'intégrité de l'œuvre dans le lieu d'exposition. Pour un tableau dont la peinture est mate, non vernie et pulvérulente, les risques liés aux conditions muséales sont importants : vandalisme, pollution, variations circadiennes du climat, éclairage, etc. C'est pourquoi les précautions de conservation préventive semblent indispensables dans ce genre de situations.

Mais ce qui nous semble le plus intéressant est notre prise de conscience de la divergence des regards des acteurs du patrimoine.

Un historien de l'art formé à l'iconographie, à l'histoire matérielle des œuvres et aux relations entre les courants artistiques a bien souvent de vagues notions quant à la

---

158 Témoignage de Mme Claire Bergeaud, restauratrice – entretien téléphonique du 19 avril 2017.

matérialité d'un tableau et à ses altérations. La pulvéulence d'une couche picturale est alors synonyme de perturbation grave de la lecture de l'image et à terme de la perte de matière. Selon le conservateur de musée, il s'agit d'une situation catastrophique et incompatible avec les conditions d'exposition de l'œuvre. Le traitement de consolidation doit remédier à cela et garantir l'intégrité de la couche picturale dans les conditions muséales décrites ci-dessus. Du point de vue de l'expert en conservation préventive, la pulvéulence est perçue comme un état qui augmente la sensibilité de l'œuvre aux conditions climatiques. Il en prend compte dans son projet et propose des solutions pour limiter les effets de variations de température, d'humidité relative et des vibrations sur le tableau.

Au vu des considérations précédentes, la qualification de la pulvéulence doit être abordée pas seulement selon une approche analytique, quantitative et donc réductionniste mais aussi selon une approche systémique en tenant compte d'une part de l'axiologie et d'autre part du contexte environnemental de l'œuvre.

### **III) D. Ontologie & Axiologie de la pulvéulence**

L'approche expérimentale n'a pas permis d'identifier avec sûreté le seuil de CVP qui serait un indicateur fiable de la pulvéulence d'une couche picturale. Ni la mesure de la brillance, ni la cartographie de la réflexion diffuse, ni les paramètres de rugosité, ni la mesure des reliefs de surface à l'échelle microscopique n'ont été utiles à quantifier le degré de pulvéulence d'une strate colorée de peinture mate.

Par contre la prise en compte d'une approche systémique qui intègre la complexité de l'œuvre d'art a ouvert les portes à la compréhension de la pulvéulence selon divers critères comme l'importance de la stratigraphie, les conditions environnementales, les phénomènes mécaniques qui en découlent ou encore le projet d'intervention et les traitements envisagés.

Le diagnostic de la pulvéulence ne repose pas uniquement sur une quantification du degré décohésif de la couche colorée mais davantage sur une

contextualisation de l'état de conservation en fonction de l'usage et de l'histoire matérielle de l'œuvre considérée. Une mesure quantitative du phénomène physique de pulvérisation ne suffit pas à rendre compte de la complexité du problème, au regard des enjeux des différents acteurs du patrimoine et de la fonctionnalité de l'œuvre en tant que bien culturel.

### III) D.1. Axiologie de la pulvérisation

Le terme axiologie est compris dans le sens : « science des valeurs philosophiques, esthétiques ou morales visant à expliquer et à classer les valeurs. »<sup>159</sup>

La théorie de la restauration de Cesare Brandi définit la matière, que nous appelons plus communément matérialité, comme « tout ce qui sert à l'épiphanie de l'image ». Il incombe deux fonctions à cette dernière à savoir structure et aspect.<sup>160</sup> Celles-ci semblent fondamentales et équivalentes mais en cas de conflit, il est précisé que l'aspect l'emporte sur la structure.<sup>161</sup> C'est ainsi que l'auteur subordonne la structure c'est-à-dire l'organisation des matériaux à l'aspect, siège de la manifestation créatrice de l'artiste : « si l'état de l'œuvre d'art se révèle tel qu'il exige le sacrifice d'une partie de sa consistance matérielle [matérialité], le sacrifice ou en tout cas l'intervention devra se faire selon les exigences de l'instance esthétique. »<sup>162</sup> Brandi reconnaît toutefois qu'il y a forcément une interaction, une « coextensivité » entre matérialité et image.

Cette conception bipolaire de l'œuvre d'art a pour conséquence une hiérarchie des valeurs associées au bien culturel. Par exemple pourquoi accepte-t-on mieux la pulvérisation sur une peinture murale du XV<sup>e</sup> siècle et pas sur une peinture de chevalet d'Henri Matisse ou un monochrome d'Yves Klein ? Quelles valeurs orientent la décision du conservateur ?

---

159 Site Centre National de Ressources Textuelles et Lexicales : définition *axiologie*, consulté le 1<sup>e</sup> mai 2017.

160 Brandi, C., *Op cit.*, p. 33.

161 Brandi, C., *Op cit.*, p. 34.

162 Brandi, C., *Op cit.*, p. 31 et 35.

La pulvérulence d'une couche picturale touche l'instance esthétique tout en faisant partie intégrante de la matérialité. L'intervention de consolidation a des conséquences directes sur la perception visuelle des couleurs, donc de l'image. Dans une peinture murale datée de plusieurs siècles, les valeurs historiques et d'ancienneté sont reconnues comme primordiales. L'œuvre est un témoignage artistique et historique qui a traversé les temps jusqu'à nous. On peut détailler le cas rare d'une *Danse Macabre* dans la petite église Saint-Orien de Meslay-le-Grenet (Eure-et-Loir). C'est un ensemble assez unique de peintures murales car très complet qui témoigne aussi de l'époque de la Guerre de Cent ans, des famines ou de la relation à la mort qui se traduit par certaines légendes comme le dit *des trois morts et des trois vifs*.<sup>163</sup> On peut imaginer que la conservation curative de la couche picturale grâce à une éventuelle consolidation serait mise en balance avec les conséquences de l'ajout d'un adhésif soumis au climat variable de cette petite église de village. Bien que ce cas soit unique et complexe, nous pourrions imaginer que l'architecte du patrimoine puisse privilégier des mesures de conservation préventive dans ce cas.

A l'opposé, un tableau de Matisse comme *l'Intérieur aux aubergines* (n° inv. : MG 2161) ou de Klein comme *IKB3, Monochrome bleu* (n° inv. : AM 1975-6) ont subi de nombreuses interventions de consolidation de leur couche picturale mate et décohésive. Les valeurs esthétiques priment largement sur les valeurs historiques, d'ancienneté ou encore artistiques, au moins pour les professionnels issus de formation d'histoire de l'art. Les conservateurs mettent en avant les valeurs de contemporanéité et les valeurs de médiation et d'exposition au public relativement aux valeurs artistiques ou d'authenticité. Les œuvres doivent également répondre aux contraintes de transport lors des prêts pour des expositions temporaires. La valeur d'usage est importante dans ces deux exemples d'Art Moderne.

Les valeurs doivent être relativisées en fonction du point de vue des acteurs, des contraintes environnementales et de l'histoire matérielle de l'œuvre.

---

163 Base Palissy, Ministère de la Culture, consulté le 19 avril 2017.

### III) D.2 Ontologie de la pulvérulence et divergences des regards des protagonistes

Nous prenons l'acception du terme ontologie comme : « la partie de la philosophie qui a pour objet l'étude des propriétés les plus générales de l'être. »<sup>164</sup> Il a été détaillé dans la première partie que la pulvérulence était le résultat unique de causes diverses. Elles peuvent être liées soit à la mise en œuvre au moment du *faire* de l'artiste soit à l'histoire matérielle. Dans les deux cas documentés, la pulvérulence est constitutive bien que le résultat ait deux causes différentes ; *Sicile* de Nicolas de Staël correspond à l'application d'une couleur trop maigre dont la CVP était élevée pour le jaune de cadmium ; *Intérieur aux aubergines* de Matisse a subi un embu du support non encollé et non préparé.

Dans cette situation précise où la pulvérulence est un fait ontologique, pour le conservateur-restaurateur à partir de quand cet état décohésif devient un cas d'intervention ?

La pulvérulence n'a pas de mesure physique : on ne peut quantifier la part de poudre non agglomérée dans une couche colorée. Il n'existe pas d'échelle absolue de mesure. Pour le conservateur-restaurateur, c'est un état de fait et il faut simplement gérer les aggravations ou les problèmes accidentels comme des clivages ou des soulèvements.<sup>165</sup> Pour lui, cet état décohésif devient un problème lorsqu'il y a un péril pour l'intégrité physique de l'œuvre dans ses conditions de conservation et qu'il faut prévoir une consolidation de la couche colorée.

La compréhension fine du phénomène de pulvérulence demande une prise en compte étendue du contexte de l'œuvre. Il faut intégrer dans le diagnostic, les interactions de la couche picturale avec la stratigraphie mais aussi les aspects mécaniques du support dus aux variations climatiques.

Quand la pulvérulence est ontologiquement liée au processus créatif de l'œuvre, quelles conséquences a le choix d'une consolidation ?

164 Site Internet - Centre National de Ressources Textuelles et Lexicales : définition *ontologie*, consulté le 1<sup>er</sup> mai 2017.

165 Témoignage de M. Benoît Dagron, restaurateur expérimenté, étant intervenu sur de nombreuses œuvres d'Yves Klein – Mail du 7 novembre 2015.



On a constaté par l'étude critique de la bibliographie et des deux cas concrets, que l'apparence était un critère premier. La part esthétique de l'œuvre doit être maintenue intacte malgré l'intervention de consolidation. Toutefois en poussant le raisonnement, nous pourrions dire : si la valeur esthétique est primordiale alors le moyen le plus adapté ne serait-il pas de ne pas consolider une couche pulvérulente ou de chercher une solution de conservation préventive ?

La deuxième piste de réponse est de considérer l'intervention de consolidation d'une couche picturale pulvérulente comme un des éléments du projet d'intervention et non le seul. En effet une couche picturale mate et non vernie est poreuse. Elle subit un empoussièrément rapide qui s'incruste dans ses anfractuosités. En amont de l'opération de consolidation, il faut prévoir un décrassage de la surface. Or il est rendu impossible sur une couche sensible, fragile et décohésive. L'état pulvérulent surajoute une difficulté lors des étapes de la réalisation des interventions.

De plus intervenir avec l'ajout d'un adhésif n'est-il pas trahir l'intention de l'artiste de vouloir créer une couche colorée très mate ? Si la volonté esthétique de l'artiste de créer une peinture mate est respectée, c'est que l'on donne une importance majeure à la valeur artistique. Dans ce cas, ne pas intervenir ou apporter une solution de conservation préventive semble la réponse la plus sage.

Mais nous savons bien à présent que la qualification de la pulvérulence dépend de la connaissance de la matérialité de la part des protagonistes du patrimoine et des contraintes imposées à l'œuvre : transports et prêts pour des expositions, conditions d'exposition au sein du musée, etc.

Le **schéma n°5** résume une proposition pour envisager cette nouvelle donne. Dans notre exemple, un même état pulvérulent peut être perçu par au moins trois interlocuteurs. L'artiste au moment de la création choisit les matériaux, outils, gestes et procédés en fonction de son projet créatif. Dans le temps de la réception, le conservateur organise l'exposition de l'œuvre au public tout en la soumettant à certaines contraintes liées à ce contexte (lumière, température, humidité relative, transport, etc.). Le conservateur-restaurateur a pour mission de conserver la signification et l'intégrité

physique du bien culturel. La qualification de la pulvéulence d'une couche mate varie d'un pôle nommé « état » à une autre extrémité nommée « risque », où la menace est maximale.

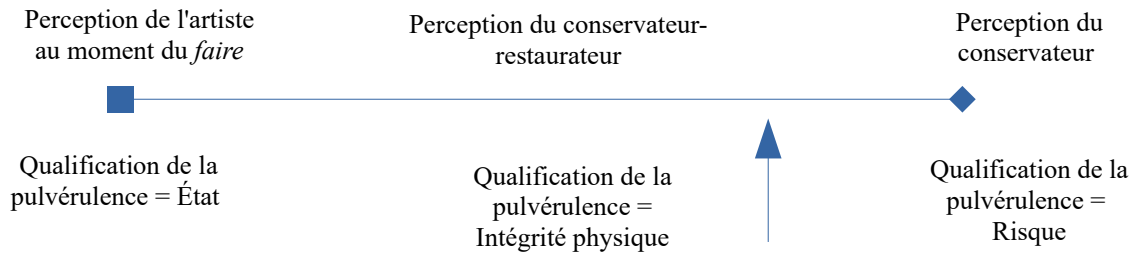


Schéma n° 5 : représentation de la notion mouvante de pulvéulence en fonction des interlocuteurs.

Il apparaît finalement que la définition de la pulvéulence n'est pas figée mais varie en fonction de l'interlocuteur et des enjeux entourant l'œuvre d'art.

## Conclusion

Notre fascination du bleu, qui s'exprime en des termes proches de ceux énoncés par Kandinsky, nous a poussé à explorer la couleur IKB, mise au point par l'artiste Yves Klein et son marchand de couleurs Édouard Adam.<sup>166</sup> Grâce au soutien et à l'aide de nos enseignants, nous avons pu avoir la possibilité de présenter nos résultats lors de la Journée *Palette* à l'Institut National de l'Histoire de l'Art, le 21 janvier 2016, lors du 3<sup>rd</sup> *International Students' Conference on Conservation and Restoration of Works of Art* qui s'est tenu à Cracovie (Pologne) du 17 au 19 mars 2016 et de publier deux articles dans des revues à comité de relecture.<sup>167</sup>

Notre sujet s'est fondé sur la question de la pulvéulence et de son évaluation avec la question sous-jacente de la consolidation. Nous avons cherché un éventail de méthodes d'examens scientifiques qui nous permettent de mesurer sans contact, *in situ*, le degré de pulvéulence d'une couche picturale mate. A ce stade de l'exploitation des résultats, nous n'avons pas de réponse claire à cette situation. Cela confirme la complexité de la pulvéulence et le manque d'outils adaptés pour l'étudier. Les publications sont peu nombreuses dans les revues spécialisées en conservation-restauration car les mécanismes physiques à l'origine du phénomène ne sont pas quantifiables par des paramètres facilement identifiables, comme cela peut être le cas avec la colorimétrie. Les outils scientifiques nous ont tout de même permis d'isoler certains paramètres comme la variation de brillance en fonction de la CVP mais l'hétérogénéité des échantillons ne nous a pas permis de trouver une tendance évidente du comportement de la CVP dans les deux systèmes pigment – liant étudiés. Sans être la panacée universelle, les sciences fondamentales nous ont tout de même fourni une

<sup>166</sup> Kandinsky, W., *Op cit.*, p. 149.

<sup>167</sup> *Proceedings of 3rd International Students' Conference on Conservation and Restoration of Works of Art*, 2016 ; Bernard, G., « Du pigment bleu outremer à la mise au point de l'IKB : un homme, une couleur », *CRBC (revue ARAAFU)* n° 34, 2016, p. 41-47 et Bernard, G., Page, M., Cavaleri, T., Rajteri, M., Sorano-Stedman, V., & Boust, C., en cours de soumission.

approche complémentaire qui s'est intégrée dans notre réflexion systémique afin de créer une synthèse de la sensibilité propre du conservateur-restaurateur, de la perception des autres acteurs du patrimoine et de l'étude des mécanismes physiques à l'échelle microscopique de la pulvérulence.

Toutefois certains enseignements peuvent être listés et mis en perspective avec les compétences de notre métier à venir.

La matité et sa caractérisation ont été affinées par la pratique et l'observation de nos éprouvettes. Ce paramètre d'aspect de surface a pu être relié à une évaluation non pas mesurable mais sensible : notre œil s'est formé à sonder le degré de cohésion d'une couche picturale seulement à partir des informations recueillies par la réflexion de la lumière à la surface.

L'étude grâce aux méthodes d'examen des deux liants acrylique et vinylique, a néanmoins été d'un grand intérêt. D'abord, les résultats scientifiques sur l'IKB ont confirmé l'intuition de l'artiste et de son marchand de couleurs. Les proportions choisies correspondent au dosage dont la diffusion de la lumière incidente est la plus importante et la plus rayonnante. Cette proportion de pigment et de liant est optimale pour conserver les caractéristiques de saturation de la teinte bleue. Ensuite nous avons pu nous rendre compte de la capacité de l'émulsion acrylique à créer une cohésion du film peint, même en très faible proportion. Il faut sans doute l'imputer au phénomène physique de coalescence qui intervient au moment du séchage. Cela nous informe sur une bonne tenue générale des peintures acryliques et il serait nécessaire d'étudier des cas de peintures réalisées à base de liant acrylique en émulsion pour vérifier l'existence ou non de pulvérulence de leurs couches picturales. En effet les couleurs préparées industriellement ont un dosage optimal du liant relativement à la quantité de pigment. Les œuvres réalisées avec ces couleurs ne devraient pas présenter de pulvérulence. Mais nous savons que les artistes au moment du *faire*, modifient et adaptent leurs matériaux en fonction de leurs projets artistiques.

Enfin les résultats de ce travail nous serviront directement lors des futures interventions de consolidation. En effet il est clair pour nous à présent que la quantité de consolidant appliquée lors de cette opération fera l'objet d'un protocole plus rigoureux

que ceux existant dans les publications. Nous veillerons non seulement à doser les concentrations de consolidant et à choisir un mode d'application, mais aussi à circonscrire le nombre de passages au strict minimum, avant d'atteindre la limite de CVPc du système liant-pigment considéré.

Il serait souhaitable à l'avenir de continuer ce thème de recherche en approfondissant les pistes évoquées et en aboutissant à des résultats plus élaborés et précis afin de les utiliser dans l'exercice de notre métier.

## Exercice d'épistémologie

### Article n° 1

**MICHALSKI, S. & DIGNARD, C. “Ultrasonic misting. Part 1, experiments on appearance change and improvement in bonding” in *Journal of the American Institute for Conservation* n°36 ( 2), 1997, p. 109-126**

Les expérimentateurs ont un double cursus en physique et en CRBC, diplômés de la *Queen's University* d'Ottawa (Canada). Michalski travaille au sein du *Canadian Conservation Institute* depuis 1979. Son profil est plus proche d'un scientifique de la conservation que d'un praticien de la conservation-restauration. Il mène des projets de recherche sur les processus de dégradation physique des biens culturels.

Les auteurs exposent le contexte de leur recherche comme suit : la nébulisation fut mise au point en 1989 par un des auteurs dans le cadre d'un projet du *Getty Conservation Institute*, ciblé sur les objets ethnographiques.

La problématique centrale clairement identifiée est esthétique : « the main problem with consolidation of powdery paint is color change ». L'article traite de l'impact visuel suite à un procédé d'application d'un consolidant sur une couche picturale pulvérulente. Toutefois en plus de l'évaluation optique, ils cherchent tout de même à évaluer les changements de cohésion et d'adhésion des couches pulvérulentes après nébulisation de consolidants en solution dans différents solvants.

Les auteurs échafaudent leurs hypothèses en reprenant une étude plus ancienne de Feller & Kunz (1981) : ils supposent qu'il s'agit de la quantité de liant ajouté à une couche picturale pulvérulente qui modifie la perception visuelle de celle-ci. Ils éliminent ainsi l'hypothèse de l'influence de la nature du liant choisi et de son indice de réfraction sur la modification optique de la surface peinte consolidée.

Les unités expérimentales qu'ils choisissent pour tester les deux paramètres de modification optique et d'amélioration des propriétés de cohésion et d'adhésion sont des éprouvettes. En effet ils créent un film de pigments sans liant puis l'appliquent sur une plaque de verre (noir d'ivoire, terre verte, jaune de chrome, ocre rouge, outremer...). Ils proposent de simuler le cas le plus extrême de pulvérulente, rencontré au sein des collections d'objets ethnographiques, à savoir les couches colorées appliquées sans liant ou dont le liant a subi d'importantes dégradations suite à l'exposition aux U.V. Compte tenu de la fragilité maximale de ces strates colorées, on peut s'interroger sur le réalisme et sur la fidélité de leurs éprouvettes. Les auteurs n'étaient pas cette remarque par une explication de cas précis.

Les unités de mesure sont explicitées pour comparer la taille des gouttelettes nébulisées à celle des particules de pigment, environ de l'ordre du micromètre ou de la dizaine de micromètre. Les dimensions sont mises en regard avec la taille des gouttelettes formées par les autres procédés d'application comme le spray pneumatique. Les auteurs présentent visuellement ces résultats par souci de clarté.

Dans un premier, ils quantifient la modification de la couleur avec le système normalisé  $L^*a^*b^*$  (CIE) et appliquent le seuil de perception de l'œil humain d'après le calcul du  $\Delta E^*$ . Toutefois les couleurs ne se résument pas à une série de coordonnées dans l'espace colorimétrique et ils ne font pas référence à la mesure d'éventuelles modifications d'autres paramètres comme la brillance ou la texture de surface à l'œil nu.

Dans un second temps, ils consacrent un paragraphe à la mesure de l'amélioration de la cohésion après consolidation (« strength improvement »). Il est intéressant de noter qu'ils remarquent des différences de cohésion des films sans liant, avant consolidation entre la nature des pigments utilisés : un film sec d'ocre rouge est par nature plus cohérent qu'un film de carbonate de calcium. Ils utilisent deux tests, l'un par contact (« contact transference ») et l'autre par abrasion (« brushing abrasion »). Le premier consiste à passer dans un laminoir l'éprouvette en contact avec un papier blanc

ou de couleurs pour les pigments clairs (ils règlent la pression des rouleaux en fonction des pigments, en tenant compte des cohésions initiales) ; Le second à brosser la surface avec une machine à peindre (brosse à poils durs). La notation se fait selon trois niveaux qualitatifs : « RAS / + / ++ ».

Nous pouvons noter que la considération première des auteurs se situe à une échelle microscopique (Cf. : paragraphe unités de mesure) mais que leurs critères d'évaluation colorimétrique ( $\Delta E^*$ ) et mécanique s'observent à l'échelle macroscopique.

Les résultats peuvent se résumer ainsi : l'apport de la quantité nécessaire de consolidant par nébulisation a augmenté la cohésion de la couche colorée de l'éprouvette. Cette quantité de liant correspond entre 1 et 5%. L'amélioration de la cohésion autorise une manipulation de l'éprouvette qui résiste aux vibrations. Néanmoins si la consolidation apporte une quantité plus importante de l'ordre de 10% de liant en plus, on observe une modification optique de la surface.

Selon l'hypothèse des auteurs, il existe une interaction entre les unités expérimentales liées à la perception de la couleur et la quantité de liant ajoutée par nébulisation. Or la perception sensorielle de la couleur mobilise de nombreux paramètres comme la brillance, la texture, la couleur ou la transparence. De plus les auteurs suggèrent que leurs tests mécaniques reflètent la qualité de la consolidation d'un point de vue structurel. Or on pourrait imaginer que l'application d'une couche par nébulisation se dépose juste en surface en un film discontinu qui consoliderait seulement la superficie. Par manque d'imprégnation dans l'épaisseur de la strate, le reste de la couche colorée resterait décohésif.



## Article n° 2

**TARGOWSKI, P., ROUBA, B., WOJKOWSKI, M. & KOWALCZYK, A., « The Application of Optical Coherence Tomography to Non-Destructive Examination of Museum Objects » in *Studies in Conservation*, Vol. 49, No. 2 (2004), p. 107-114**

L'équipe est multidisciplinaire et comprend un chercheur en optique, deux physiciens spécialistes de l'imagerie médicale de l'université de Torun (Pologne) qui se sont associés à une professeure de CRBC spécialisée en peinture murale. Les membres de l'équipe additionnent des compétences issues des sciences expérimentales et de la CRBC.

Cette recherche s'intègre sans doute dans un contexte plus large qui n'est pas détaillé, puisqu'elle fait l'objet d'un financement de l'état polonais. La publication date de 2004 mais ils signalent qu'ils utilisent des couleurs âgées de 20 ans, préparées pour d'autres expérimentations.

La problématique est explicitée comme telle : ils cherchent à démontrer le potentiel de la tomographie à cohérence optique dans le but de visualiser la structure interne et l'aspect de surface des objets conservés dans les musées. Ils détaillent l'historique de cette problématique. L'origine de cette méthode d'examen remonte aux années 1970 où l'interférométrie à lumière cohérent fut mise au point d'un côté par des ingénieurs pour déterminer la distorsion des objets soumis à un stress. Dès 1974, cette méthode est appliquée aux objets culturels (Amadesi et al., 1974). Un des exemples cités est celui d'inspection de surface des peintures murales (Fricke-Bergemann, 2000). D'un autre côté, la méthode fut utilisée en profilométrie, créant une cartographie de la surface avec une résolution très grande de l'ordre de  $5\mu\text{m}$  (Schirripa Spagolo & Ambrosini, 2001).

La tomographie à cohérence optique est une amélioration de la méthode précédente qui offre la possibilité de connaître la structure interne d'un objet sans avoir besoin de le découper. L'une des premières applications fut en ophtalmologie.

Ils travaillent donc sur une problématique technologique, instrumentale. Ils développent une instrumentation, la tomographie en cohérence optique (« optical coherence tomography » ou OCT) en vue de démontrer les débouchés dans l'observation des structures internes mais aussi l'aspect de surface des objets patrimoniaux (limités à ceux transparents à la lumière 815 nm, à savoir porcelaines, verres, papier, parchemin, vernis). Les deux applications de l'OCT pour la CRBC, c'est-à-dire l'analyse des structures et la profilométrie, présentent certains avantages comme la grande précision, la mesure sans contact avec l'objet culturel et une résolution spatiale de l'ordre du micron.

Ils formulent l'hypothèse que la tomographie en cohérence optique à transformée de Fourier (FDOCT) apporterait des informations supplémentaires à la connaissance du bien culturel tout en respectant les valeurs liées à un bien culturel.

Les unités expérimentales correspondent à trois objets réunis en deux groupements expérimentaux, la stratigraphie et la profilométrie. Ils étudient la glaçure d'une porcelaine et mesurent l'épaisseur d'un vernis d'un tableau du XIX<sup>e</sup> siècle pour le premier groupement. Ils sondent l'épaisseur des objets pour en extraire la connaissance de la stratigraphie sans prélèvement. Un échantillon de 13 x 13 cm composé d'une toile de lin, encollé puis préparées avec une émulsion constitue le second groupement. Une couche de couleur à l'huile est appliquée sur la pièce de toile, maintenue sur un tôle métallique à l'aide d'un adhésif double face. Les auteurs réalisent un suivi en temps réel du profil des craquelures, lorsque la toile subit des variations drastiques de taux d'humidité. Ils enregistrent l'épaisseur de la couche picturale et l'écartement du réseau de craquelures.

Les échelles de mesure, les résolutions et l'étendue des mesures sont parfaitement détaillées : ex. résolution en profondeur de 15µm (p.108). L'ordre de

grandeur des unités de mesure est en adéquation avec la problématique, puisque la précision recherchée est de l'ordre du micron pour détecter des informations fines dans l'épaisseur ou à la surface d'un objet. L'étendue spatiale des mesures permet une cartographie de la surface. Les auteurs ne restent donc pas à une échelle d'étude micrométrique vis-à-vis de l'objet.

L'interaction entre les unités expérimentales et la nature des mesures se manifeste par le critère non destructif et non invasif de celles-ci.

En ce qui concerne la reproductibilité, les auteurs ne précisent pas s'ils ont effectué des mesures à plusieurs endroits sur un même objet pour évaluer la reproductibilité de leur méthode et l'homogénéité des résultats.

En guise de conclusion, les auteurs vantent l'efficacité de la méthode qui fournit des résultats précis, localisés mais surtout avec un suivi dans le temps. Cette méthode leur semble pertinente pour l'étude de l'évolution des processus d'altérations sur une grande diversité de biens culturels : « la tomographie en cohérence optique fournit des images en couche mince d'objets partiellement transparents avec une haute résolution et sans aucun contact physique. Les tomogrammes réalisés avant et après une perturbation physique (par exemple un changement d'humidité relative) sont suffisamment précis pour quantifier les effets avec une précision de l'ordre de la dizaine de micron. Les mouvements dans la totalité de l'objet ne sont pas exclus de ces mesures. Les résultats présentés dans cet article démontrent le potentiel de l'OCT comme une méthode complémentaire pour un examen non destructif des œuvres d'art intégré à la documentation et la conservation. »<sup>168</sup>

---

168 Optical coherence tomography provides images cross-sections of partially transparent objects with very high resolution and without any physical contact. Tomograms made before and after some physical disturbance (for example, a change in relative humidity) are sufficiently precise to quantify its effect with a precision in the order of tens of microns. Whole object movement does not preclude such measurements. The results presented in this paper demonstrate the potential of OCT as a complementary technique for the non-destructive examination of works of art for documentation and conservation. » p.112

Malgré la présence dans l'équipe d'une restauratrice, il semble que le transfert technologique reste très déconnecté du domaine des biens culturels. En effet, les observations faites sur l'éprouvette n'ont pas donné lieu à une réflexion sur la pertinence de l'application de cette méthode sur une œuvre d'art, dans toute sa complexité.

### Article n° 3

**CWAJNA, J. & ROSKOSZ, S., « Application of confocal laser scanning microscopy, atomic force microscopy, and the profilometric method in quantitative fractography » in *Materials characterization* (46), 2001, p. 183 – 187.**

Les expérimentateurs sont des chercheurs en sciences des matériaux de l'université technologique de Katowice (Pologne).

Ils exposent le contexte de la fractographie, domaine totalement déconnecté de la CRBC. Leur recherche se décline dans une description quantitative des mécanismes d'initiation et de propagation des fractures sur une surface continue soumise à des stress mécaniques ou thermiques. Les instruments actuels produisent des mesures de façon très lente et ils espèrent par une nouvelle série de méthodes d'examen, diminuer le temps de mesure et améliorer la précision des mesures.

Leur problématique consiste en une comparaison de trois méthodes à savoir le microscope confocale, le microscope à force atomique (AFM) et la profilométrie pour proposer une description complète et quantitative des fractures cassantes et fragiles d'une surface. Il s'agit d'une problématique technologique en dehors du domaine de la CRBC. Cet article nous intéresse justement pour tenter un transfert de technologies et pour l'appliquer à notre recherche.

Leur hypothèse repose qu'une amélioration technologique offre une meilleure description quantitative des matériaux.

Quant aux unités expérimentales, les auteurs donnent peu de détails sur la nature des échantillons : « sintered carbide specimens ». Ils précisent simplement avoir catégorisé trois degrés de fracturation faible, moyen et élevé. Ces éprouvettes n'ont aucun point commun avec la stratigraphie d'une œuvre peinte ou d'un autre bien culturel

ni avec la nature des matériaux constitutifs d'une œuvre d'art. Il nous sera difficile d'envisager une véritable faisabilité sur un bien culturel.

Ces types de microscopes explorent le champ microscopique de l'ordre du micromètre. Les échelles d'observation vont de 5  $\mu\text{m}$  à 25  $\mu\text{m}$  avec une résolution variable (de l'ordre du milliers de nanomètre soit 1  $\mu\text{m}$  pour l'AFM). L'AFM est limité dans sa mesure des reliefs qui doivent être inférieurs à 13,5  $\mu\text{m}$  de hauteur.

Les auteurs comparent les avantages et inconvénients des trois instruments : l'AFM a la meilleure résolution. Le microscope confocale est le plus rapide au niveau temps et le profilomètre est le plus adapté pour les matériaux décohésifs.

Dans cet article, les auteurs se concentrent sur des matériaux simples, homogènes dont le comportement mécanique est standardisé. Leurs études ne prennent pas en compte l'hétérogénéité d'une surface : le microscope observe quelques micromètres carrés relativement à plusieurs centimètres voire mètres carrés de la surface d'une polychromie, d'une fresque ou d'un tableau. L'échelle de travail est tellement réduite à cause de la précision, qu'aucune cartographie représentative de la surface n'est possible. Une adaptation à une problématique de recherche en CRBC comme la détection du degré de pulvéulence d'une couche picturale semble compliquée.

## Apports de Reedy & Reedy à la présente recherche

Le canevas Reedy & Reedy nous a permis d'élaborer une grille de lecture standardisée et une liste de questions pour un décryptage des articles de notre bibliographie. La conception de la grille ci-dessous nous a aidé à créer du lien entre la problématique de ce mémoire et le corpus des articles sélectionnés. Elle nous a permis d'identifier l'originalité et la singularité de notre recherche par rapport à l'existant.

Statut de l'expérimentateur	<i>scientifiques / chercheurs / restaurateurs / étudiants</i>
Domaine concerné	<i>Peinture / sculpture / arts graphiques</i>
Nature de la problématique	<i>esthétique / structurelle / technologique</i>
Contexte	<i>Définition de la pulvérulence / description du phénomène / compréhension du mécanisme</i>
Unités de mesure	<i>A quelle échelle travaillent-ils ? Quels instruments utilisent-ils ? qu'observent-ils ?</i>
Analyses & Tests	<i>destructif ? Non invasif ? Éprouvettes ?</i>
Reproductibilité	
Résultats	<i>Comparaison avant / après</i>  <i>Quantification</i>

L'utilisation de cette grille dans les premiers temps de notre étude bibliographique a facilité la compréhension des protocoles et des recherches sur lesquels nous avons travaillé. Les paramètres listés par Reedy & Reedy constituent un canevas souple qui s'adapte à de nombreuses fonctions : grilles de lecture, conceptions d'un protocole expérimental, critiques d'articles, etc.

## Bibliographie

- ADAM, E., *Itinéraire d'un marchand de couleurs à Montparnasse*. Chêne, Paris, 2011.
- BALCAR, N., *Identification des pigments et liants des couches picturales, Sicile de Nicolas de Staël, 1954*, Rapport d'étude n°13453, 2 juillet 2008. Centre de documentation du Centre de Recherche et de Restauration des Musées de France, Versailles.
- BALL, P., *Histoire vivante des couleurs*. Hazan, Paris, 2005 (2001).
- BERGEAUD, C., Rapport d'intervention n°12111, juin 2007, Centre de documentation du Centre de Recherche et de Restauration des Musées de France, Versailles.
- BERGEAUD, C. & HOURRIERE, J., Rapport d'intervention n°12049, janvier 1993, Centre de documentation du Centre de Recherche et de Restauration des Musées de France, Versailles.
- BERGEAUD, C., HULOT, J.-F. & ROCHE, A., *La dégradation des peintures sur toile*, École Nationale du Patrimoine, Paris, 1997.
- BERGEON-LANGLE, S. & CURIE, P., *Peinture et dessin : vocabulaire typologique et technique* (2 VOL), Inventaire général des monuments et des richesses artistiques de la France, Éditions Du Patrimoine, Paris, 2009.
- BERNARD, G., « Du pigment bleu outremer à la mise au point de l'IKB : un homme, une couleur », *CRBC (revue ARAAFU)* n° 34, 2016, p. 41-47.
- BIERWAGEN, G., FISHMAN, R., STORSVED, T. & JOHNSON, J., « Recent studies of particules packing in organic coatings » in *Progress in Organic Coatings*, n° 35, 1999, p. 1-9.
- BIGAS, J.-P., & MARTINET, G. (dir.), *Pierre et Patrimoine, Connaissance et Conservation*, Actes Sud, Arles et Céfracor, Paris, 2009, p.166-175.
- BRANDI, C., *Théorie de la restauration*, École Nationale du Patrimoine, Monum Editions du Patrimoine, Paris, 2001.
- BUYDENS, M., *Sahara l'esthétique de Gilles Deleuze*, Vrin, Paris 2005.
- BRYDSON, J. A., *Plastic materials*, Butterworth Heinemann, (7th ed), Oxford (Royaume Uni), 1999.
- des CLOIZEAUX, C., *Constat d'état et compte rendu d'examen, Sicile de Nicolas de Staël, 1954*, Rapport n°15679, 16 mars 2008. Centre de documentation du Centre de Recherche et de Restauration des Musées de France, Versailles.
- des CLOIZEAUX, C., *Compte rendu d'intervention : refixage et consolidation, Sicile de Nicolas de Staël, 1954*, Rapport n°22947, juillet 2011. Centre de documentation du Centre de Recherche et de Restauration des Musées de France, Versailles.



- des CLOIZEAUX, C., *Compte rendu d'intervention : refixage et consolidation, Sicile de Nicolas de Staël, 1954*, Rapport n°25929, février 2013. Centre de documentation du Centre de Recherche et de Restauration des Musées de France, Versailles.
- COLOMBO, A., GHERARDI, F., GOIDANICH, S., DELANEY, J. K., R. de la RIE, E., UBALDI, M. C., TONIOLO, L. & SIMONUTTI, R. "Highly transparent poly(2-ethyl-2-oxazoline)-TiO<sub>2</sub> nanocomposite coating for the conservation of matte painted artworks" in *RSC Advances*, n°5, 2015, p. 84879-84888.
- CWAJNA, J. & ROSKOSZ, S., « Application of confocal laser scanning microscopy, atomic force microscopy, and the profilometric method in quantitative fractography » in *Materials characterization*, n°46, 2001, p. 183 – 187.
- CHIANTORE, O., & SCALARONE, D., "The macro- and microassessment of physical and aging properties in modern paints" in LEARNER, T. J. S., SMITHSEN, P., KRUEGER, J. W. & SCHILLING, M. R. (editors) *Modern Paints Uncovered: Proceedings from the Modern Paints Uncovered Symposium, May 16–19, 2006, Tate Modern, London*. Getty Publications, Los Angeles (E-U), 2006, p. 96 – 104.
- DELCROIX, G. & HAVEL, M., *Phénomènes physiques et peinture artistique*, EREC, Puteaux, 1988.
- DIK, J., et al. "Three-dimensional imaging of paint layers and paint substructures with synchrotron radiation computed  $\mu$ -laminography" in *Journal of the American Institute for Conservation*, n°48 (3), 2009, p. 185-197.
- DELEUZE, G., *Francis Bacon logique de la sensation*, Seuil Paris, 2002 (1981).
- EBERT, B., SINGER, B. & GRIMALDI, N. "Aquazol as a consolidant for matte paint on Vietnamese paintings" in *Journal of the Institute of Conservation*, n°35 (1), 2012, p. 62-76.
- EZRATI, J-J., *La microtopographie au service de l'étude des objets du patrimoine : par la microscopie confocale à codage chromatique et champ étendu*, Support du Séminaire donné au C2RMF, 2008 disponible en ligne, URL : <http://ezrati-eclairage.weebly.com/> consulté le 28 mars 2017.
- FELLER, R. L. and KUNZ, N., "The effect of pigment volume concentration on the lightness or darkness of porous paints » in *Preprints of papers presented at the ninth annual meeting: Philadelphia, Pennsylvania, 27-31 May 1981*. American Institute for Conservation of Historic and Artistic Works, Washington (E.-U.), 1981, p. 66-74.
- FERREIRA, J. L., MELO, M. J. & RAMOS, A. M., "Poly(vinyl acetate) paints in works of art: A photochemical approach. Part 1 " in *Polymer Degradation and Stability*, n°95, 2010, p. 453-461.
- FRATINI, F., RESCIC, S. & TIANO, P., "A new portable system for determining the state of conservation of monumental stones" in *Materials and structures*, n°39 (2), 2006, p. 139-147.
- FOURCADE, D., *Rêver à trois aubergines ...*, Centre Pompidou, Paris, 2012.
- GOLSTEIN, J. I & al., *Scanning electron microscopy and X-ray microanalysis*, Kluwer Academic/Plenum Publishers, New York (E-U), 2003. p. 145-173.

- GRACZYK, A., *A pleins tubes*, Mémoire de fin d'étude, Institut National du Patrimoine, 2016.
- HANSEN, E., LOWINGER, R. & SADOFF, E. "Consolidation of porous paint in a vapor-saturated atmosphere: a technique for minimizing changes in the appearance of powdering matte paint" in *Journal of the American Institute for Conservation*, n° 32 ( 1), 1993, p. 1-14.
- HANSEN, E., WALSTON, S., HEAMS BISHOP, M., (eds), *Matte Paint : Its history and technology, analysis, properties, and treatment, with special emphasis on ethnographic objects*, the Getty Conservation Institute, Los Angeles (E-U), 1994.
- HORIE, V., *Materials for conservation. Organic consolidants, adhesives and coatings*, Butterworth-Heinemann, Amsterdam (Pays-Bas), 2010.
- JONES, R., POLLOCK, H.M., GELDART, D. & VERLINDEN, A., « Inter-particle forces in cohesive powders studied by AFM: effects of relative humidity, particle size and wall adhesion » in *Powder Technology*, n°132, 2003, p. 196– 210.
- KANDINSKY, W., *Du spirituel dans l'art, et dans la peinture en particulier*, Denoël, Paris, 2010 (1989).
- KUNAVER, M., KLANSEK GUNDE M., MOZETIC, M. & HROVAT, A., « The degree of dispersion of pigments in powder coatings » in *Dyes and Pigments*, n°57, 2003, p. 235 – 243.
- LAFERRERE, M., « Histoire d'un site industriel : l'usine Rhône-Poulenc de Roussillon » in *Revue de géographie de Lyon*, n° 59 (4), 1984, p. 245-259.
- LOLLI, L., PISANI, M., RAJTERI, M., WIDLÓWSKI, J-L., BIALEK, A., GREENWELL, C. & FOX, N., « Phytos : a portable goniometer for in situ spectro-directional measurements of leaves » in *Metrologia*, n°51, 2014, p. S309-S313.
- LOLLI, L., GIOMI, S., TARALLI, E., PISANI, M. & RAJTERI, M., *Operation manuel of PHYTOS : a portable hyperspectral goniometer for BRF measurements*, INRIM technical report, 2015.
- LHOMME, S., *Les craquelures prématurées dans l'œuvre de Pierre Paul Prudhon*, Dossier Palette M1 CRBC, Université Panthéon-Sorbonne, 2016-2017.
- MECKLENBURG, M. F. & LOPEZ, L. F., « Failure mechanisms in canvas supported paintings: Approaches for developing consolidation protocols » in *Colour and Conservation, Materials and methods for consolidation, and scientific methods to evaluate their effectiveness, Proceedings of the Conference Milan - November 10-11, 2006*, Il Prato, Saonara (Italie), 2008, p. 49 – 58.
- MICHALSKI, S. & DIGNARD, C., "Ultrasonic misting. Part 1, experiments on appearance change and improvement in bonding" in *Journal of the American Institute for Conservation*, n°36 (2), 1997, p. 109-126.
- MICHEL, F., "Funori and JunFunori: two related consolidants with surprising properties" in *Adhesives and Consolidants for Conservation, CCI Symposium, Ottawa (Canada) 17 – 21 octobre 2011*. Proceedings of CCI Symposium, 2011.

- MICHEL, J.-M., *Contribution à l'histoire industrielle des polymères en France*, publication en ligne sur le site de la Société Chimique de France, URL : <http://www.societechimiquedefrance.fr/ressources.html> consulté le 30 mars 2017.
- MIELNICZEK, A., Rapport d'intervention n°12041, 1979, Centre de documentation du Centre de Recherche et de Restauration des Musées de France, Versailles.
- MOCK, J.-Y., *Catalogue d'exposition Yves Klein 3 mars – 23 mai 1983*. Centre George Pompidou, Paris, 1983.
- MOUTARD-MARTIN, T., *Outremer : broyage et formulation*, auto-édition, 2015.
- PAGE, M., BOUST, C., MELARD, N., ROBCIS, D., & OBEIN, G., «3D Surface Acquisition: Comparison of two Micro-topographic Equipments when measuring Materials of Cultural Heritage » in *4th CIE Expert Symposium on Colour and Visual Appearance, Prague, République Tchèque, 4-6 septembre 2016*.
- PAOLINI, C. & FALDI, M., *Glossario delle tecniche artistiche e del restauro*, Palazzo Spinelli, Firenze (Italie), 2005.
- PETIT, J., Rapport de la situation, Rapport d'étude n°12038, 28 octobre 1978, Centre de documentation du Centre de Recherche et de Restauration des Musées de France, Versailles.
- PETIT, J., ROIRE, J. & VALOT, H., *L'encyclopédie de la peinture - Formuler, fabriquer, appliquer*, (Vol III), EREC, Puteaux, 2001, p. 192-206.
- PHENIX, A., « The Swelling of Artists' Paints in Organic Solvents. Part 2, Comparative Swelling Powers of Selected Organic Solvents and Solvent Mixtures » in *Journal of the American Institute for Conservation*, n°41 (1), 2002, p. 61-90.
- PHILIPPON, J., JEANNETTE, D. & LEFÈVRE, R.-A., *La conservation de la pierre monumentale en France*, Presses du CNRS, Paris, 1992.
- PLESTERS, J., "Ultramarine Blue natural and artificial" in ROY, A. (editor), *Artists' Pigments: A Handbook of Their History and Characteristics*, Volume 2. National Gallery of Art, Wahsington, Archetype Publications, Londres (R.U.), 1997.
- POINTER, M. R., *Measuring the visual appearance – a framework for the future – Projet 2.3 Measurement of Appearance – National Physic Laboratory Report : COAM 19, 2003*, URL : [http://publications.npl.co.uk/npl\\_web/pdf/coam19.pdf](http://publications.npl.co.uk/npl_web/pdf/coam19.pdf) consulté le 30 avril 2017.
- PRUEHER, B., « Consolidants, Coatings and water-repellent treatments for historic Masonry : a selected annotated bibliography » in *Association for Preservation Technology Bulletin*, n° 26 (4), 1995, p. 58 -64.
- REEDY, T. J. & REEDY, C. L., *Principles of Experimental Design for Art Conservation Research*, GCI Scientific Program Report, J. Paul Getty Trust, Malibu (E.U), 1992.
- RESCIC, S., FRATINI, F. & TIANO P., « Evaluation of consolidant treatments on fresco walls using the DRMS method : preliminary tests with abrasive drill bits » in DELGADO RODRIGUES, J. D. & MIMOSO, J. M. (eds.), *Stone consolidation in cultural heritage : research and practice*, Proceedings of the international symposium Lisbon 6 – 7th may, 2008, p. 61-70.

- RIOUX, J-P., *Identification des constituants de la peinture , Recherche de l'origine de la pulvéulence de la matière picturale - Nature morte aux aubergines, Henri Matisse, vers 1911, MG 2161, Grenoble, musée de peinture et de sculpture, Rapport n°977a, 26 avril 1977. Centre de documentation du Centre de Recherche et de Restauration des Musées de France, Versailles.*
- ROCHE, A., *Comportement mécanique des peintures sur toile : dégradation et prévention*, CNRS éditions, Paris, 2003.
- de ROSNAY, J., *Le microscope : vers une vision globale*, Seuil, Paris, 2014 (1975).
- SANDOZ, P., TRIBILLON, G., GHARBI, T. & DEVILLERS, R. , « Roughness measurement by confocal microscopy for brightness characterization and surface waviness visibility evaluation in *Wear*, n°201, 1996, p.186-192.
- SONODA, N., RIOUX, J-P. & DUVAL, A. R., « Identification des matériaux synthétiques dans les peintures modernes II - Pigments organiques et matière picturale » in *Studies in Conservation*, n°38, 1993, p. 99 – 127.
- TARGOWSKI, P., ROUBA, B., WOJKOWSKI, M. & KOWALCZYK, A., « The Application of Optical Coherence Tomography to Non-Destructive Examination of Museum Objects » in *Studies in Conservation*, n° 49 (2), 2004, p. 107-114.
- TALBOT, R., FLIEDER, F. & LAROQUE, C. « Étude sur les méthodes de fixation des tracés pulvérulents » in Collectif, *Analyse et conservation des documents graphiques et sonores : travaux du centre de Recherches sur la conservation des Documents Graphiques 1982-1983*, Editions du CNRS, Paris, 1984. p. 65-119.
- WEI, W., « Surface micro-roughness, cleaning and perception » in *16th Triennial Meeting, Lisbon (Portugal), 19-23 September 2011*, Proceedings of the ICOM-CC, 2012.
- WOLBERS, R., MCGINN, M. & DUERBECK, D., “Poly(2-Ethyl-2-Oxazoline): A new conservation consolidant” in DORGE, V. & CAREY HOWLETT, F., *Painted Wood: History and Conservation. Proceedings of a symposium organized by the Wooden Artifacts Group of the American Institute for Conservation of Historic and Artistic Works and the Foundation of the AIC, held at the Colonial Williamsburg Foundation Williamsburg, Virginia 11–14 November 1994*. The Getty Conservation Institute, Los Angeles (E-U), 1998, p. 514-527.

## Webographie

Histoire de l'entreprise – Golden Paints,

URL : <http://www.goldenpaints.com/history> consulté le 29 mars 2017

A propos de nous – Liquitex,

URL : [https://www.liquitex.com/A\\_propos\\_de\\_nous/](https://www.liquitex.com/A_propos_de_nous/) consulté le 29 mars 2017

Peinture vinylique extra-fine Flashe – Lefranc-Bourgeois,

URL : <http://www.lefranc-bourgeois.com/beaux-arts/produits-acryliques-vinyliqueflashe.html> consulté le 30 mars 2017

Glossaire visuel des altérations – Centre de Conservation du Québec,

URL : <http://www.ccq.gouv.qc.ca> rubrique Centre de Ressources, consulté le 21 mars 2017

Base CarAtex – Institut National de Recherche et de Sécurité,

URL : <http://www.inrs.fr/publications/bdd/caratex.html> consulté le 22 mars 2017

Abstracts of international conservation literature – Getty Conservation Institute

URL : <http://aata.getty.edu/search> consulté le 26 mars 2017

Commission Internationale de l'Eclairage – CIE x032:2007,

URL : <http://www.cie.co.at> consulté le 26 avril 2017

Physique : STM, AFM, DUF -CEMES, CNRS,

URL : <http://www.cemes.fr/Physique-STM-AFM-DUF?lang=fr> consulté le 28 mars 2017

Cours de Gilles Deleuze,

URL : [http://www2.univ-paris8.fr/deleuze/article.php3?id\\_article=60](http://www2.univ-paris8.fr/deleuze/article.php3?id_article=60) consulté le 17 avril 2017

Conservation & Art Materials Encyclopedia Online (CAMEO),

URL : [http://cameo.mfa.org/wiki/Main\\_Page](http://cameo.mfa.org/wiki/Main_Page) consulté le 17 avril 2017

Base Palissy – Eglise Saint-Orien, Meslay-le-Grenet,

URL : [http://www.culture.gouv.fr/public/mistral/palissy\\_fr?](http://www.culture.gouv.fr/public/mistral/palissy_fr?)

[ACTION=CHERCHER&FIELD\\_1=REF&VALUE\\_1=PM28000418](http://www.culture.gouv.fr/public/mistral/palissy_fr?ACTION=CHERCHER&FIELD_1=REF&VALUE_1=PM28000418) consulté le  
19 avril 2017

Centre National de Ressources Textuelles et Lexicales – Ontologie, Axiologie,

URL : <http://www.cnrtl.fr/lexicographie/ontologie> consulté le 1e mai 2017

**Annexes**

## **Table des matières**

Annexe 1 : Fiche pigment Bleu outremer – Kremer.....	2
Annexe 2 : Fiche pigment Studio Pink – Kremer.....	3
Annexe 3 : Fiche de données sécurité médium acrylique mat – Liquitex®.....	4
Annexe 4 : Fiche de données sécurité liant polyacétate de vinyle – Kremer.....	5
Annexe 5 : Lettre de Maurice Besset, conservateur au Musée de Grenoble.....	6
Annexe 6 : Lettre de Maurice Besset, conservateur au Musée de Grenoble.....	7
Annexe n° 7 : Ressources matérielles, logicielles et intervenants scientifiques.....	8



## **Annexe 1 : Fiche pigment Bleu outremer – Kremer**

# Material Safety Data Sheet

According to regulation (EC) No. 1907/2006 (REACH)



## 27705 Kremer Color Paste - Ultramarine Blue (new)

Page 1

Revised edition: 13.02.2015

Version: 5

Printed: 23.11.2015

### 1. Identification of the Substance/Mixture and of the Company/Undertaking

#### 1.1. Product Identifier

*Product Name:* Kremer Color Paste - Ultramarine Blue (new)

*Article No.:* 27705

#### 1.2. Relevant identified Uses of the Substance or Mixture and Uses advised against

*Identified uses:*

*Pigment for the coloration of plastics, paper, food packaging, inks, paint, cosmetics.  
Industrial application.*

*Uses advised against:*

#### 1.3. Details of the Supplier of the Safety Data Sheet (Producer/Importer)

*Company:* Kremer Pigmente GmbH & Co. KG

*Address:* Hauptstr. 41-47, 88317 Aichstetten, Germany

*Tel./Fax.:* Tel +49 7565 914480, Fax +49 7565 1606

*Internet:* www.kremer-pigmente.de

*E-Mail:* info@kremer-pigmente.de

*Importer:* --

#### 1.4. Emergency No.

*Emergency No.:* +49 7565 914480 (Mon-Fri 8:00 - 17:00)

### 2. Hazards Identification

#### 2.1. Classification of the Substance or Mixture

*Classification according to EC  
Regulation 1272/2008*

*This product does not require classification and labelling as hazardous according to CLP/GHS.*

*Classification according to EC  
Regulation No. 67/548 or No. 1999/45*

*The material is not subject to classification according to EC lists.*

*Safety Phrases:*

*Possible Environmental Effects:*

#### 2.2. Label Elements

*Classification according to EC  
Regulation 1272/2008*

*This product does not require classification and labelling as hazardous according to CLP/GHS.*

*Hazard designation:*

*Signal word:*

*Hazard designation:*

*Safety designation:*

*Hazardous components for labelling:*

*Not applicable.*

next page: 2

# Material Safety Data Sheet

According to regulation (EC) No. 1907/2006 (REACH)



## 27705 Kremer Color Paste - Ultramarine Blue (new)

Page 2

Revised edition: 13.02.2015

Version: 5

Printed: 23.11.2015

### 2.3. Other Hazards

*Like with all mineral powders, long-term contact can cause respiratory problems.  
Contact with acids releases hydrogen sulfide, an easily flammable and very toxic gas.  
This risk is greatly reduced with this acid resistant grade.*

### 3. Composition/Information on Ingredients

#### 3.1. Substance

#### 3.2. Mixture

*Chemical Characterization:* Pigment Blue 29, C.I. 77007

*Hazardous Ingredients:*

Sodium aluminium sulfo silicate; REACH Reg. No. 01-2119488928-13-0002	50%	CAS-Nr: 57455-37-5 EINECS-Nr: 309-928-3 EC-Nr:
---	-----	--

*Additional information:*

### 4. First Aid Measures

#### 4.1. Description of the First Aid Measures

*General information:*

*Seek medical attention in case of complaints.*

*After inhalation:*

*Take affected person to fresh air.*

*After skin contact:*

*Wash with soap and rinse with plenty of water.*

*After eye contact:*

*Rinse open eyes with plenty of water for at least 15 minutes.  
Consult physician.*

*After ingestion:*

*The product is not toxic.*

#### 4.2. Most important Symptoms and Effects, both Acute and Delayed

*Symptoms:*

*No further information available.*

*Effects:*

*No further information available.*

#### 4.3. Indication of any Immediate Medical Attention and special Treatment needed

*Treatment:*

*Treat symptomatically.*

### 5. Fire-Fighting Measures

#### 5.1. Extinguishing Media

*Suitable extinguishing media:*

*All extinguishing agents suitable.*

*Unsuitable extinguishing media:*

next page: 3

# Material Safety Data Sheet

According to regulation (EC) No. 1907/2006 (REACH)



## 27705 Kremer Color Paste - Ultramarine Blue (new)

Page 3

Revised edition: 13.02.2015

Version: 5

Printed: 23.11.2015

---

*None known.*

### 5.2. Special Hazards arising from the Substance or Mixture

*Special hazards:*

*In case of fire: formation of carbon dioxide and sulfur dioxide.*

### 5.3. Advice for Firefighters

*Protective equipment:*

*Wear self-contained respiratory protective device.*

*Further information:*

---

## 6. Accidental Release Measures

### 6.1. Personal Precautions, Protective Equipment and Emergency Procedures

*Personal precautions:*

*Wear protective clothing.*

### 6.2. Environmental Precautions

*Environmental precautions:*

*Prevent contamination of soils, drains and surface water.*

### 6.3. Methods and Material for Containment and Cleaning Up

*Methods and material:*

*Take up mechanically and collect in suitable containers for disposal.*

### 6.4. Reference to other Sections

---

## 7. Handling and Storage

### 7.1. Precautions for Safe Handling

*Instructions on safe handling:*

*Avoid formation and deposition of dust. Provide adequate ventilation.*

*Provide adequate ventilation.*

*Hygienic measures:*

*Keep away from foodstuffs and drinks.*

### 7.2. Conditions for Safe Storage, including any Incompatibilities

*Storage conditions:*

*Store in tightly sealed containers in a cool and well ventilated location.*

*Requirements for storage areas and containers:*

*No special measures necessary.*

*Information on fire and explosion protection:*

*Do not store together with: acids and inflammable products.*

*Storage class (VCI):*

*No information available.*

*Further Information:*

next page: 4

# Material Safety Data Sheet

According to regulation (EC) No. 1907/2006 (REACH)



## 27705 Kremer Color Paste - Ultramarine Blue (new)

Page 4

Revised edition: 13.02.2015

Version: 5

Printed: 23.11.2015

---

### 7.3. Specific End Use(s)

*Further information:*

*No information available.*

---

## 8. Exposure Controls/Personal Protection

### 8.1. Parameters to be Controlled

*Parameters to be controlled (DE):*

*none known*

*Parameters to be controlled (EC):*

*Derived No-Effect Level (DNEL):*

*No values available.*

*Predicted No-Effect Concentration (PNEC):*

*No values available.*

*Additional Information:*

### 8.2. Exposure Controls

*Technical protective measures:*

*Provide adequate ventilation.*

*Personal Protection*

*General protective measures:*

*Keep away from foodstuffs and drinks. Do not eat, drink or smoke during work. Wash hands before breaks and at the end of work.*

*Respiratory protection:*

*Dust mask recommended when very dusty (with particle filter FFP1).*

*Hand protection:*

*Not required*

*Protective glove material:*

*Eye protection:*

*Safety glasses (EN 166)*

*Body protection:*

*Protective clothing.*

*Environmental precautions:*

*Do not allow entering sewerage system.*

---

## 9. Physical and Chemical Properties

### 9.1. Information on Basic Physical and Chemical Properties

*Form: paste*

*Color: blue*

*Odor: none*

*Odor threshold:*

*No information available.*

next page: 5

# Material Safety Data Sheet

According to regulation (EC) No. 1907/2006 (REACH)



## 27705 Kremer Color Paste - Ultramarine Blue (new)

Page 5

Revised edition: 13.02.2015

Version: 5

Printed: 23.11.2015

---

<i>pH-Value:</i>	8 - 10
<i>Melting temperature:</i>	not available
<i>Boiling temperature:</i>	not available
<i>Flash point:</i>	not flammable
<i>Evaporation rate:</i>	not applicable
<i>Flammability (solid, gas):</i>	not easily flammable
<i>Upper explosion limit:</i>	no information available
<i>Lower explosion limit:</i>	no information available
<i>Vapor pressure:</i>	not applicable
<i>Vapor density:</i>	No information available.
<i>Density:</i>	1.32 - 1.45 g/cm <sup>3</sup>
<i>Solubility in water:</i>	miscible
<i>Coefficient of variation (n-Octanol/Water):</i>	no information available
<i>Auto-ignition temperature:</i>	not applicable
<i>Decomposition temperature:</i>	400°C (750°F)
<i>Viscosity, dynamic:</i>	not applicable
<i>Explosive properties:</i>	Product does not present an explosion hazard.
<i>Oxidizing properties:</i>	not oxidizing
<i>Bulk density:</i>	not determined

### 9.2. Further Information

*Solubility in solvents:*

*Viscosity, kinematic*

*Burning class:*

*Solvent content:*

next page: 6

# Material Safety Data Sheet

According to regulation (EC) No. 1907/2006 (REACH)



## 27705 Kremer Color Paste - Ultramarine Blue (new)

Page 6

Revised edition: 13.02.2015

Version: 5

Printed: 23.11.2015

---

*Solid content:*

*Particle size:*

*Other information:*

---

### 10. Stability and Reactivity

#### 10.1. Reactivity

*Loss of sulphur above 400°C.*

#### 10.2. Chemical Stability

*This product is extremely stable up to 350°C.*

#### 10.3. Possibility of Hazardous Reactions

*Reacts with acids: development of hydrogen sulfide.*

#### 10.4. Conditions to Avoid

*Conditions to avoid:*

*Protect from heat.*

*Thermal decomposition:*

*> 400°C*

#### 10.5. Incompatible Materials

*Acids*

#### 10.6. Hazardous Decomposition Products

*Hydrogen sulfide in case of contact with strong acids.*

*Sulphur dioxide in case of fire.*

*Carbon dioxide in case of fire.*

#### 10.7. Further Information

---

### 11. Toxicological Information

#### 11.1. Information on Toxicological Effects

*Acute Toxicity*

*LD50, oral: > 4000 mg/kg (rat)*

*LD50, dermal: not determined*

*LC50, inhalation: No information available.*

*Primary effects*

*Irritant effect on skin: Non irritating (rabbit)*

*Irritant effect on eyes: No information available.*

*Inhalation: No information available.*

*Ingestion: No information available*

*Sensitization:*

next page: 7

# Material Safety Data Sheet

According to regulation (EC) No. 1907/2006 (REACH)



## 27705 Kremer Color Paste - Ultramarine Blue (new)

Page 7

Revised edition: 13.02.2015

Version: 5

Printed: 23.11.2015

---

*No sensitizing effects known.*

*Mutagenicity:*

*Not mutagenic.*

*Reproductive toxicity:*

*No data available.*

*Cancerogenity:*

*No data available.*

*Teratogenicity:*

*No information available.*

*Specific target organ toxicity (STOT):*

*No data available.*

*Additional toxicological information:*

---

## 12. Ecological Information

### 12.1. Aquatic Toxicity

*Fish toxicity:*

*No data available.*

*Daphnia toxicity:*

*No information available.*

*Bacteria toxicity:*

*no information available*

*Algae toxicity:*

*No information available.*

### 12.2. Persistency and Degradability

*No information available.*

### 12.3. Bioaccumulation

*No bioaccumulation.*

### 12.4. Mobility

*No information available.*

### 12.5. Results of PBT- und vPvP Assessment

*No data available.*

### 12.6. Other Adverse Effects

*Water hazard class:*

*Not hazardous.*

*Behaviour in sewage systems:*

*Further ecological effects:*

*Ultramarines are synthetic products, similar to the natural rock Lapislazuli. They are extremely stable, except in acid environment which releases sulphur hydrogen.*

*Not considered to be environmentally harmful.*

*AOX Value:*

---

next page: 8



# Material Safety Data Sheet

According to regulation (EC) No. 1907/2006 (REACH)



## 27705 Kremer Color Paste - Ultramarine Blue (new)

Page 8

Revised edition: 13.02.2015

Version: 5

Printed: 23.11.2015

---

### 13. Disposal Considerations

#### 13.1. Waste Treatment Methods

*Product:*

*Dispose of according to official national and local regulations.  
Ultramarines cannot be disposed of were contact with acids is possible.*

*European Waste Code (EWC):*

*Uncleaned packaging:*

*Packaging may be disposed of in the same manner as the product.*

*Waste Code No.:*

---

### 14. Transport Information

#### 14.1. UN Number

*ADR, IMDG, IATA*

#### 14.2. UN Proper Shipping Name

*ADR/RID:*

*No hazardous goods according to ADR (land transportation).*

*IMDG/IATA:*

*No hazardous goods according to IMDG.*

#### 14.3. Transport Hazard Classes

*ADR Class:*

*not applicable*

*Hazard no.:*

*Classification code:*

*Tunnel no.:*

*IMDG Class (sea):*

*Hazard no.:*

*EmS No.:*

*IATA Class:*

*not applicable*

*Hazard no.:*

#### 14.4. Packaging Group

*ADR/RID:*

*not applicable*

*IMDG:*

*IATA:*

#### 14.5. Environmental Hazards

*None*

next page: 9

# Material Safety Data Sheet

According to regulation (EC) No. 1907/2006 (REACH)



## 27705 Kremer Color Paste - Ultramarine Blue (new)

Page 9

Revised edition: 13.02.2015

Version: 5

Printed: 23.11.2015

---

### 14. 6. Special Precautions for User

*none known*

### 14. 7. Transportation in Bulk according to Annex II of MARPOL 73/78 and IBC-Code

*not applicable*

### 14. 8. Further Information

*Not classified as a dangerous good under transport regulations.*

---

## 15. Regulatory Information

### 15. 1. Safety, Health and Environmental Regulations/Legislation specific for the Substance or Mixture

*Water hazard class:*

*0, not hazardous*

*Local regulations on chemical accidents:*

*Employment restrictions:*

*Restriction and prohibition of application:*

*Keep away from acids.*

*Technical instructions on air quality:*

### 15. 2. Chemical Safety Assessment

*A Chemical Safety Assessment is not necessary for this product.*

### 15. 3. Further Information

---

## 16. Other Information

*This product should be stored, handled and used in accordance with good hygiene practices and in conformity with any legal regulations. This information contained herein is based on the present state of knowledge and is intended to describe our product from the point of view of safety requirements. It should be therefore not be construed as guaranteeing specific properties.*

## **Annexe 2 : Fiche pigment Studio Pink – Kremer**

# Material Safety Data Sheet

According to regulation (EC) No. 1907/2006 (REACH)



## 55470 Studio Pigment Pink

Page 1

Revised edition: 14.10.2014

Version: 1

Printed: 15.10.2014

---

### 1. Identification of the Substance/Mixture and of the Company/Undertaking

#### 1.1. Product Identifier

*Product Name:* Studio Pigment Pink

*Article No.:* 55470

#### 1.2. Relevant identified Uses of the Substance or Mixture and Uses advised against

*Identified uses:*  
Coloring agent

*Uses advised against:*

#### 1.3. Details of the Supplier of the Safety Data Sheet

*Company:* Kremer Pigmente GmbH & Co. KG

*Address:* Hauptstr. 41-47, 88317 Aichstetten, Germany

*Tel./Fax.:* Tel +49 7565 914480, Fax +49 7565 1606

*Internet:* www.kremer-pigmente.de

*E-Mail:* info@kremer-pigmente.de

#### 1.4. Emergency No.

*Emergency No.:* +49 7565 914480 (Mon-Fri 8:00 - 17:00)

---

### 2. Hazards Identification

#### 2.1. Classification of the Substance or Mixture

*Classification according to EC Regulation 1272/2008*

*This product is not classified as hazardous according to the CLP/GHS Directive.*

*Classification according to EC Regulation No. 67/548 or No. 1999/45*

*The material is not subject to classification according to EC lists.*

*Safety Phrases:*

*Possible Environmental Effects:*

#### 2.2. Label Elements

*Classification according to EC Regulation 1272/2008*

*This product does not require classification and labelling as hazardous according to CLP/GHS.*

*Hazard designation:*

*Not applicable.*

*Signal word:*

*Hazard designation:*

*Safety designation:*

*Hazardous components for labelling:*

#### 2.3. Other Hazards

---

### Composition/Information on Ingredients

# Material Safety Data Sheet

According to regulation (EC) No. 1907/2006 (REACH)



## 55470 Studio Pigment Pink

Page 2

Revised edition: 14.10.2014

Version: 1

Printed: 15.10.2014

### 3.

#### 3.1. Substance

#### 3.2. Mixture

*Chemical Characterization:* Pigment Red 122 (C.I. 73915; CAS 980-26-7) fixed on a mineral base (CAS 471-34-1).

*Hazardous Ingredients:*

*Additional information:*

### 4. First Aid Measures

#### 4.1. Description of the First Aid Measures

*General information:*

*No special measures required.*

*After inhalation:*

*Take affected person to fresh air.*

*After skin contact:*

*Wash with soap and rinse with plenty of water.*

*After eye contact:*

*Rinse open eyes with plenty of water. In case of discomfort seek medical help.*

*After ingestion:*

*If symptoms persist consult physician.*

#### 4.2. Most important Symptoms and Effects, both Acute and Delayed

*Symptoms:*

*No further information available.*

*Effects:*

#### 4.3. Indication of any Immediate Medical Attention and special Treatment needed

*Treatment:*

*No special first-aid measures necessary.*

### 5. Fire-Fighting Measures

#### 5.1. Extinguishing Media

*Suitable extinguishing media:*

*Use extinguishing media for surrounding fire.  
Product itself does not burn.*

*Unsuitable extinguishing media:*

#### 5.2. Special Hazards arising from the Substance or Mixture

*Special hazards:*

*Do not inhale fumes.*

#### 5.3. Advice for Firefighters

*Protective equipment:*

*Wear self-contained respiratory protective device.*

*Further information:*

# Material Safety Data Sheet

According to regulation (EC) No. 1907/2006 (REACH)



## 55470 Studio Pigment Pink

Page 3

Revised edition: 14.10.2014

Version: 1

Printed: 15.10.2014

---

### 6. Accidental Release Measures

#### 6.1. Personal Precautions, Protective Equipment and Emergency Procedures

*Personal precautions:*

*Avoid formation of dust.*

#### 6.2. Environmental Precautions

*Environmental precautions:*

*No special measures required.*

#### 6.3. Methods and Material for Containment and Cleaning Up

*Methods and material:*

*Clean up mechanically. Avoid dust formation.*

#### 6.4. Reference to other Sections

---

### 7. Handling and Storage

#### 7.1. Precautions for Safe Handling

*Instructions on safe handling:*

*Avoid formation and deposition of dust. Provide adequate ventilation.*

*Hygienic measures:*

*Wash hands at the end of work. Preventive skin protection recommended.*

#### 7.2. Conditions for Safe Storage, including any Incompatibilities

*Storage conditions:*

*Store in a cool and dry place.*

*Requirements for storage areas and containers:*

*No special measures necessary.*

*Information on fire and explosion protection:*

*Do not store together with: foodstuffs, beverages and feed.*

*Storage class (VCI):*

*10-13*

*Further Information:*

#### 7.3. Specific End Use(s)

*Further information:*

---

### 8. Exposure Controls/Personal Protection

#### 8.1. Parameters to be Controlled

*Parameters to be controlled (DE):*

*TLV-TWA: 10 mg/m<sup>3</sup>*

*Parameters to be controlled (EC):*

*Derived No-Effect Level (DNEL):*

*Predicted No-Effect Concentration*

# Material Safety Data Sheet

According to regulation (EC) No. 1907/2006 (REACH)



## 55470 Studio Pigment Pink

Page 4

Revised edition: 14.10.2014

Version: 1

Printed: 15.10.2014

---

(PNEC):

*Additional Information:*

### 8.2. Exposure Controls

*Technical protective measures:*

*Provide adequate ventilation.*

*Personal Protection*

*General protective measures:*

*Do not inhale dust. Do not eat, drink or smoke while working.  
Wash hands before breaks and at the end of work.*

*Respiratory protection:*

*In case of formation of dust.*

*Hand protection:*

*Protective gloves (EN 374)*

*Protective glove material:*

*Eye protection:*

*Safety glasses (EN 166)*

*Body protection:*

*Environmental precautions:*

---

## 9. Physical and Chemical Properties

### 9.1. Information on Basic Physical and Chemical Properties

*Form:* powder

*Color:* red

*Odor:* odorless

*Odor threshold:*  
*No information available.*

*pH-Value:* 6 - 9

*Melting temperature:*  
*not available*

*Boiling temperature:*  
*not applicable*

*Flash point:*  
*not combustible*

*Evaporation rate:*  
*not applicable*

*Flammability (solid, gas):*  
*not applicable*

*Upper explosion limit:*  
*no information available*

*Lower explosion limit:*

# Material Safety Data Sheet

According to regulation (EC) No. 1907/2006 (REACH)



## 55470 Studio Pigment Pink

Page 5

Revised edition: 14.10.2014

Version: 1

Printed: 15.10.2014

---

*no information available*

*Vapor pressure:*

*not applicable*

*Vapor density:*

*No information available.*

*Density:*

*0.800 g/cm<sup>3</sup>*

*Solubility in water:*

*insoluble*

*Coefficient of variation (n-Octanol/Water):*

*no information available*

*Auto-ignition temperature:*

*not applicable*

*Decomposition temperature:*

*No data available.*

*Viscosity, dynamic:*

*not applicable*

*Explosive properties:*

*not applicable*

*Oxidizing properties:*

*no information available*

*Bulk density:*

*not determined*

### 9.2. Further Information

*Solubility in solvents:*

*Viscosity, kinematic*

*Burning class:*

*Solvent content:*

*Solid content:*

*Particle size:*

*Other information:*

*No further information.*

---

## 10. Stability and Reactivity

### 10.1. Reactivity

*Stable if used according to specifications.*

### 10.2. Chemical Stability

*Stable if used according to specifications.*

### 10.3. Possibility of Hazardous Reactions

*None if handled and stored according to specifications.*

### 10.4. Conditions to Avoid

*Conditions to avoid:*



# Material Safety Data Sheet

According to regulation (EC) No. 1907/2006 (REACH)



## 55470 Studio Pigment Pink

Page 6

Revised edition: 14.10.2014

Version: 1

Printed: 15.10.2014

---

*No information available.*

*Thermal decomposition:*

*No further information available.*

### 10.5. Incompatible Materials

*No information available.*

### 10.6. Hazardous Decomposition Products

*No information available.*

### 10.7. Further Information

---

## 11. Toxicological Information

### 11. 1. Information on Toxicological Effects

*Acute Toxicity*

*LD50, oral: > 5000 mg/kg (rat)*

*LD50, dermal:*

*No information available.*

*LC50, inhalation:*

*No information available.*

*Primary effects*

*Irritant effect on skin:*

*No irritant effect known.*

*Irritant effect on eyes:*

*Dust may irritate eyes.*

*Inhalation:*

*No information available.*

*Ingestion:*

*No information available*

*Sensitization:*

*No information available.*

*Mutagenicity:*

*No data available.*

*Reproductive toxicity:*

*No data available.*

*Carcinogenicity:*

*No data available.*

*Teratogenicity:*

*No information available.*

*Specific target organ toxicity (STOT):*

*No data available.*

*Additional toxicological information:*

*Acute or chronic effects are not expected.*

# Material Safety Data Sheet

According to regulation (EC) No. 1907/2006 (REACH)



## 55470 Studio Pigment Pink

Page 7

Revised edition: 14.10.2014

Version: 1

Printed: 15.10.2014

---

### 12. Ecological Information

#### 12.1. Aquatic Toxicity

*No toxicity expected.*

*Fish toxicity:*

*Daphnia toxicity:*

*Bacteria toxicity:*

*Algae toxicity:*

#### 12.2. Persistency and Degradability

*No information available.*

#### 12.3. Bioaccumulation

*No information available.*

#### 12.4. Mobility

*Insoluble.*

#### 12.5. Results of PBT- und vPvP Assessment

*No data available.*

#### 12.6. Other Adverse Effects

*Water hazard class:*

*Behaviour in sewage systems:*

*Further ecological effects:*

*Natural product. Environmentally not hazardous.*

*AOX Value:*

---

### 13. Disposal Considerations

#### 13.1. Waste Treatment Methods

*Product:*

*Dispose of according to official national and local regulations.*

*European Waste Code (EWC):*

*Uncleaned packaging:*

*Uncontaminated packaging may be recycled.*

*Waste Code No.:*

---

### 14. Transport Information

#### 14.1. UN Number

*ADR, IMDG, IATA*

#### 14.2. UN Proper Shipping Name

*ADR/RID:*

*No hazardous goods according to ADR (land transportation).*

*IMDG/IATA:*

*No hazardous goods according to IMDG.*

#### 14.3. Transport Hazard Classes

*ADR Class:*

# Material Safety Data Sheet

According to regulation (EC) No. 1907/2006 (REACH)



## 55470 Studio Pigment Pink

Page 8

Revised edition: 14.10.2014

Version: 1

Printed: 15.10.2014

---

*not applicable*

*Hazard no.:*

*Classification code:*

*Tunnel no.:*

*IMDG Class (sea):*

*Hazard no.:*

*EmS No.:*

*IATA Class:*

*not applicable*

*Hazard no.:*

### 14. 4. Packaging Group

*ADR/RID:*

*not applicable*

*IMDG:*

*IATA:*

### 14. 5. Environmental Hazards

*None*

### 14. 6. Special Precautions for User

*Not classified as a dangerous good under transport regulations.*

### 14. 7. Transportation in Bulk according to Annex II of MARPOL 73/78 and IBC-Code

### 14. 8. Further Information

---

## 15. Regulatory Information

### 15. 1. Safety, Health and Environmental Regulations/Legislation specific for the Substance or Mixture

*Water hazard class:*

*0, not hazardous*

*Local regulations on chemical accidents:*

*Employment restrictions:*

*Restriction and prohibition of application:*

*Technical instructions on air quality:*

### 15. 2. Chemical Safety Assessment

*Exempted from the mandatory REACH Registration (Annex V).*

### 15. 3. Further Information

---

## 16. Other Information

*This product should be stored, handled and used in accordance with good hygiene practices and in conformity with any legal regulations. This information contained herein is based on the present state of knowledge and is intended to describe our product from the point of view of safety requirements. It should be therefore not be construed as guaranteeing specific properties.*

## **Annexe 3 : Fiche de données sécurité médium acrylique mat – Liquitex®**

# FICHE DE DONNÉES DE SÉCURITÉ

## LIQUITEX MATTE MEDIUM

### 1. IDENTIFICATION DE LA SUBSTANCE/PRÉPARATION ET DE LA SOCIÉTÉ/ENTREPRISE:

**NOM DU PRODUIT:** LIQUITEX MATTE MEDIUM

**APPLICATIONS:** Médium pour la peinture acrylique

**FOURNISSEUR:** ColArt International SA  
5 Rue Rene Panhard  
Z.I .Nord  
72021 Le Mans Cedex 2  
Tel: +33 2 43 83 83 00

### 2. COMPOSITION/INFORMATIONS SUR LES COMPOSANTS:

**COMMENTAIRES SUR LA COMPOSITION:** Tous les ingrédients dangereux sont au-dessous de la limite de classification

### 3. IDENTIFICATION DES DANGERS:

### 4. PREMIERS SECOURS:

**INHALATION:** Emmener la victime immédiatement à l'air frais. Consulter un médecin si les troubles persistent.

**INGESTION:** PERSONNE INCONSCIENTE: NE JAMAIS FAIRE VOMIR OU BOIRE UN LIQUIDE!  
Rincer soigneusement la bouche. Donner à boire de l'eau en abondance. Consulter un médecin si les troubles persistent.

**PEAU:** Retirer la victime de la source de contamination. Consulter un médecin si l'irritation persiste après le lavage.

**YEUX:** Prendre soin d'ôter les lentilles de contact des yeux avant de rincer. Laver rapidement avec beaucoup d'eau en soulevant les paupières. Continuer à rincer pendant au moins 15 minutes. Consulter un médecin si un trouble subsiste.

### 5. MESURES DE LUTTE CONTRE L'INCENDIE:

**MOYENS D'EXTINCTION:** Ce produit n'est pas inflammable. Utiliser le moyen approprié pour maîtriser un feu.

### 6. MESURES À PRENDRE EN CAS DE DISPERSION ACCIDENTELLE:

**MÉTHODES DE NETTOYAGE:** Arrêter la fuite si cela est possible sans risque. Absorber avec de la vermiculite, du sable sec ou de la terre, puis placer en conteneur. Déverser beaucoup d'eau pour

nettoyer la zone. Ne doit pas contaminer les sources d'eau ou les égouts.

## 7. MANIPULATION ET STOCKAGE:

<b>PRÉCAUTIONS D'USAGE:</b>	Éviter les fuites de produit, ainsi que le contact avec la peau et les yeux.
<b>PRÉCAUTIONS DE STOCKAGE:</b>	Conserver dans le récipient initial. Entreposer à température modérée dans endroit sec et bien aéré.

## 8. CONTRÔLE DE L'EXPOSITION/PROTECTION INDIVIDUELLE:

<b>DESCRIPTION DES INGRÉDIENTS:</b>	OES = Occupational Exposure Standard (Limites d'exposition UK) MEL = Maximum Exposure Limit. (Limites d'exposition UK).
<b>VENTILATION:</b>	Pas d'instruction particulière de ventilation.
<b>GANTS DE PROTECTION:</b>	Pas de protection spécifique des mains notée.
<b>PROTECTION DES YEUX:</b>	Si risque de projection, porter des lunettes de sécurité ou un écran facial.
<b>AUTRES PROTECTIONS:</b>	Pas d'équipement de protection spécifique noté, mais peut être requis de toute manière.
<b>MESURES D'HYGIÈNE DU TRAVAIL:</b>	Se laver après le travail et avant de manger, de fumer et d'utiliser les toilettes. Retirer rapidement tout vêtement contaminé. Utiliser une crème pour prévenir le dessèchement de la peau. Ne pas boire ni manger pendant le travail avec ce produit chimique.

## 9. PROPRIÉTÉS PHYSIQUES ET CHIMIQUES:

<b>ASPECT:</b>	Liquide.		
<b>COULEUR:</b>	Blanc.		
<b>ODEUR/GOÛT:</b>	Caractéristique.		
<b>TEMPÉRATURE D'ÉBULLITION (°C, intervalle)</b>	> 100	<b>Pression:</b>	760mmHg
<b>DENSITÉ/GRAVITÉ SPÉCIFIQUE (g/ml):</b>	1.1	<b>Température (°C):</b>	20
<b>DENSITÉ DE VAPEUR (air=1):</b>	> 1		
<b>VALEUR DU pH, SOLUTION CONCENTRÉE</b>	8.5-9.5		
<b>DESCRIPTION DE LA SOLUBILITÉ:</b>	Miscible avec l'eau.		

## 10. STABILITÉ ET RÉACTIVITÉ:

<b>STABILITÉ:</b>	Habituellement stable.
<b>CONDITIONS À ÉVITER:</b>	Éviter les températures excessives pendant de longues périodes.
<b>DÉCOMPOSITION EN PRODUITS DANGEREUX:</b>	Un feu créé: Monoxyde de carbone (CO). Gaz carbonique (CO <sub>2</sub> ).

---

## 11. INFORMATIONS TOXICOLOGIQUES:

---

<b>DANGERS POUR LA SANTÉ, GÉNÉRALITÉS:</b>	Ce produit a une faible toxicité. Seuls de grands volumes peuvent avoir un effet néfaste sur la santé humaine.
<b>INHALATION:</b>	Peut irriter le système respiratoire.
<b>INGESTION:</b>	Peut causer des troubles s'il est ingéré.
<b>PEAU:</b>	Irritant faible.
<b>YEUX:</b>	Irritant pour les yeux.
<b>MISES EN GARDE SUR LA SANTÉ</b>	Pas de mises en garde spécifiques pour la santé.
<b>VOIE D'EXPOSITION</b>	Inhalation. Contact avec la peau et/ou les yeux.
<b>SYMPTÔMES:</b>	Irritation des yeux et des muqueuses.

---

## 12. INFORMATIONS ÉCOLOGIQUES:

---

**INFORMATION SUR L'ÉCOLOGIE:** Non reconnu comme dangereux pour l'environnement.

---

## 13. CONSIDÉRATIONS RELATIVES À L'ÉLIMINATION:

---

**MÉTHODES D'ÉLIMINATION:** Agir en accord avec les consignes des autorités locales.

---

## 14. INFORMATIONS RELATIVES AU TRANSPORT:

---

<b>NOTES POUR LE TRANSPORT PAR RAIL:</b>	Non classé.
<b>NOTES POUR LE TRANSPORT MARITIME:</b>	Non classé.
<b>NOTES POUR LE TRANSPORT AÉRIEN:</b>	Non classé.

---

## 15. INFORMATIONS RÉGLEMENTAIRES:

---

NC Non classé

<b>PHRASES DE RISQUE</b>	Non classé.
<b>CONSEILS DE PRUDENCE:</b>	Non classé.
<b>DIRECTIVES EUROPÉENNES:</b>	Directive sur les préparations dangereuses DPD 88\379. Système d'informations

---

spécifiques relatives aux préparations dangereuses SDP 91\155.

**INSTRUMENTS DE CONTRÔLE:** Réglementations des produits chimiques (Information sur les dangers et emballage). CR

**CODE D'UTILISATION CERTIFIÉ:** Classification et étiquetage de Substances et Préparations Dangereuses à fournir.

---

## **16. AUTRES INFORMATIONS:**

---

**RÉFÉRENCES LITTÉRAIRES:** Material Safety Data Sheet, Misc. manufacturers

**DATE DE REVISION** 05/11/2003

**DATE DE PRINT:** 2004-05-28



## **Annexe 4 : Fiche de données sécurité liant polyacétate de vinyle – Kremer**

# Material Safety Data Sheet

According to regulation (EC) No. 1907/2006 (REACH)



## 67020 Polyvinyl Acetate 30

Page 1

Revised edition: 21.10.2011

Version: 1

Printed: 11.11.2014

### 1. Identification of the Substance/Mixture and of the Company/Undertaking

#### 1.1. Product Identifier

*Product Name:* Polyvinyl Acetate 30

*Article No.:* 67020

#### 1.2. Relevant identified Uses of the Substance or Mixture and Uses advised against

*Identified uses:*

*Industrial application.*

*Uses advised against:*

#### 1.3. Details of the Supplier of the Safety Data Sheet (Producer/Importer)

*Company:* Kremer Pigmente GmbH & Co. KG

*Address:* Hauptstr. 41-47, 88317 Aichstetten, Germany

*Tel./Fax.:* Tel +49 7565 914480, Fax +49 7565 1606

*Internet:* www.kremer-pigmente.de

*E-Mail:* info@kremer-pigmente.de

*Importer:* --

#### 1.4. Emergency No.

*Emergency No.:* +49 7565 914480 (Mon-Fri 8:00 - 17:00)

### 2. Hazards Identification

#### 2.1. Classification of the Substance or Mixture

*Classification according to EC Regulation 1272/2008*

*This product is not classified as hazardous according to the CLP/GHS Directive.*

*Classification according to EC Regulation No. 67/548 or No. 1999/45*

*The material is not subject to classification according to EC lists.*

*Safety Phrases:*

*Possible Environmental Effects:*

#### 2.2. Label Elements

*Classification according to EC Regulation 1272/2008*

*This product does not require classification and labelling as hazardous according to CLP/GHS.*

*Hazard designation:*

*Not applicable.*

*Signal word:*

*Hazard designation:*

*Safety designation:*

*Hazardous components for labelling:*

**Other Hazards**

next page: 2

# Material Safety Data Sheet

According to regulation (EC) No. 1907/2006 (REACH)



## 67020 Polyvinyl Acetate 30

Page 2

Revised edition: 21.10.2011

Version: 1

Printed: 11.11.2014

2.3.

*Do not inhale dust.*

### 3. Composition/Information on Ingredients

3.1. Substance

3.2. Mixture

*Chemical Characterization:* Solid vinyl acetate-homopolymer (CAS 9003-20-7): > 99 %

*Hazardous Ingredients:*

*Additional information:*

### 4. First Aid Measures

4.1. Description of the First Aid Measures

*General information:*

*Seek medical attention in case of complaints.*

*After inhalation:*

*Supply fresh air. Consult physician if symptoms persist.*

*After skin contact:*

*Wash with soap and rinse with plenty of water.*

*After eye contact:*

*Rinse open eyes with plenty of water. In case of discomfort seek medical help.*

*After ingestion:*

*Rinse mouth thoroughly with plenty of water. Do not induce vomiting. Consult physician immediately.*

4.2. Most important Symptoms and Effects, both Acute and Delayed

*Symptoms:*

*Swallowing: may cause stomach irritation, nausea, vomiting and diarrhea.*

*Causes eye irritation.*

*Effects:*

4.3. Indication of any Immediate Medical Attention and special Treatment needed

*Treatment:*

*No information available.*

### 5. Fire-Fighting Measures

5.1. Extinguishing Media

*Suitable extinguishing media:*

*Foam, carbon dioxide (CO<sub>2</sub>), extinguishing powder, water spray.*

*Unsuitable extinguishing media:*

*None known.*

5.2. Special Hazards arising from the Substance or Mixture

*Special hazards:*

*In case of fire: formation of CO, CO<sub>2</sub> and fumes.*

next page: 3

# Material Safety Data Sheet

According to regulation (EC) No. 1907/2006 (REACH)



## 67020 Polyvinyl Acetate 30

Page 3

Revised edition: 21.10.2011

Version: 1

Printed: 11.11.2014

---

### 5.3. Advice for Firefighters

*Protective equipment:*

*Wear self-contained respiratory protective device.*

*Further information:*

*Do not inhale explosion and fire gases.*

---

## 6. Accidental Release Measures

### 6.1. Personal Precautions, Protective Equipment and Emergency Procedures

*Personal precautions:*

*Ensure adequate ventilation.*

*Wear protective clothing.*

### 6.2. Environmental Precautions

*Environmental precautions:*

*Keep spills and cleaning runoff out of municipal sewers and open bodies of water.*

### 6.3. Methods and Material for Containment and Cleaning Up

*Methods and material:*

*Take up mechanically and collect in suitable containers for disposal. Avoid dust formation.*

### 6.4. Reference to other Sections

*Protective clothing, see Section 8.*

---

## 7. Handling and Storage

### 7.1. Precautions for Safe Handling

*Instructions on safe handling:*

*Wear adequate protective clothing (see para. 8).*

*Avoid contact with eyes, skin and clothing.*

*Avoid formation of dust. Do not inhale dust.*

*Hygienic measures:*

*Do not eat or drink during work. Do not smoke.*

### 7.2. Conditions for Safe Storage, including any Incompatibilities

*Storage conditions:*

*Store product in a cool, dry and well ventilated area.*

*Store between 5 - 25°C.*

*Protect against heat, ignition sources and direct sunlight.*

*Requirements for storage areas and containers:*

*Storage: In the original container.*

*Information on fire and explosion protection:*

*Keep away from sources of ignition - do not smoke.*

*Do not store together with: strong alkalis and oxidants.*

*Storage class (VCI):*

10-13

next page: 4

# Material Safety Data Sheet

According to regulation (EC) No. 1907/2006 (REACH)



## 67020 Polyvinyl Acetate 30

Page 4

Revised edition: 21.10.2011

Version: 1

Printed: 11.11.2014

---

*Further Information:*

### 7.3. Specific End Use(s)

*Further information:*

*The technical guidelines for the application of this product/mixture should be followed.*

---

## 8. Exposure Controls/Personal Protection

### 8.1. Parameters to be Controlled

*Parameters to be controlled (DE):*

*The product does not contain any relevant amounts of substances with critical values that require monitoring at the workplace.*

*Parameters to be controlled (EC):*

*Derived No-Effect Level (DNEL):*

*Predicted No-Effect Concentration (PNEC):*

*Additional Information:*

### 8.2. Exposure Controls

*Technical protective measures:*

*Ensure adequate ventilation, especially in confined areas.  
Facilities storing or utilizing this material should be equipped with an eyewash and shower facility.*

*Personal Protection*

*General protective measures:*

*Wear adequate protective clothing.  
Do not inhale dust. Do not eat, drink or smoke while working.  
Wash hands before breaks and at the end of work.*

*Respiratory protection:*

*In case of formation of dust.  
Respiration protection (EN 141).*

*Hand protection:*

*Protective gloves (EN 374)*

*Protective glove material:*

*Eye protection:*

*Tightly fitting safety goggles (EN 166).*

*Body protection:*

*Environmental precautions:*

*Prevent contamination of open water ways and sewage system.  
Avoid contamination of ground water.*

---

## 9. Physical and Chemical Properties

### 9.1. Information on Basic Physical and Chemical Properties

*Form:* solid

*Color:* colorless

next page: 5

# Material Safety Data Sheet

According to regulation (EC) No. 1907/2006 (REACH)



## 67020 Polyvinyl Acetate 30

Page 5

Revised edition: 21.10.2011

Version: 1

Printed: 11.11.2014

---

Odor:	<i>ester-like</i>
Odor threshold:	<i>No information available.</i>
pH-Value:	<i>not applicable</i>
Melting temperature:	<i>not determined</i>
Boiling temperature:	<i>not determined</i>
Flash point:	<i>not applicable</i>
Evaporation rate:	<i>not applicable</i>
Flammability (solid, gas):	<i>non-combustible</i>
Upper explosion limit:	<i>not determined</i>
Lower explosion limit:	<i>not determined</i>
Vapor pressure:	<i>not applicable</i>
Vapor density:	<i>No information available.</i>
Density:	<i>not determined</i>
Solubility in water:	<i>insoluble</i>
Coefficient of variation (n-Octanol/Water):	<i>not determined</i>
Auto-ignition temperature:	<i>not applicable</i>
Decomposition temperature:	<i>not determined</i>
Viscosity, dynamic:	<i>not applicable</i>
Explosive properties:	<i>not applicable</i>
Oxidizing properties:	<i>none</i>
Bulk density:	<i>not applicable</i>

next page: 6

# Material Safety Data Sheet

According to regulation (EC) No. 1907/2006 (REACH)



## 67020 Polyvinyl Acetate 30

Page 6

Revised edition: 21.10.2011

Version: 1

Printed: 11.11.2014

---

### 9.2. Further Information

*Solubility in solvents:*

*Viscosity, kinematic*

*Burning class:*

*Solvent content:*

*Solid content:*

*Particle size:*

*Other information:*

*No further information.*

---

### 10. Stability and Reactivity

#### 10.1. Reactivity

*Stable if used according to specifications.*

#### 10.2. Chemical Stability

*The product is chemically stable.*

#### 10.3. Possibility of Hazardous Reactions

*Unknown.*

#### 10.4. Conditions to Avoid

*Conditions to avoid:*

*Protect from heat and direct sunlight.*

*Thermal decomposition:*

#### 10.5. Incompatible Materials

*Strong alkalis.*

*Oxidizing agents.*

#### 10.6. Hazardous Decomposition Products

*In case of fire: formation of carbon oxides, fumes and other toxic gases.*

#### 10.7. Further Information

---

### 11. Toxicological Information

#### 11.1. Information on Toxicological Effects

*No toxicity expected.*

*Acute Toxicity*

*LD50, oral:*

*LD50, dermal:*

*LC50, inhalation:*

*Primary effects*

*Irritant effect on skin:*

*No irritant effect known.*

*Irritant effect on eyes:*

*May irritate eyes.*

next page: 7

# Material Safety Data Sheet

According to regulation (EC) No. 1907/2006 (REACH)



## 67020 Polyvinyl Acetate 30

Page 7

Revised edition: 21.10.2011

Version: 1

Printed: 11.11.2014

---

*Inhalation:*

*No irritant effect known.*

*Ingestion:*

*Harmful if swallowed.*

*Sensitization:*

*No information available.*

*Mutagenicity:*

*No data available.*

*Reproductive toxicity:*

*No data available.*

*Cancerogenicity:*

*No data available.*

*Teratogenicity:*

*No information available.*

*Specific target organ toxicity (STOT):*

*No data available.*

*Additional toxicological information:*

*When used and handled according to specifications, the product does not have any harmful effects. The product is not subject to classification according to latest version of the General EU Classification Guidelines for Preparations.*

---

## 12. Ecological Information

### 12.1. Aquatic Toxicity

*No information available.*

*Fish toxicity:*

*Daphnia toxicity:*

*Bacteria toxicity:*

*Algae toxicity:*

### 12.2. Persistency and Degradability

*Biodegradable.*

### 12.3. Bioaccumulation

*Bioaccumulation is not to be expected.*

### 12.4. Mobility

*Not expected to adsorb on soil.*

### 12.5. Results of PBT- und vPvP Assessment

*This substance is not classified as PBT (persistent, bioaccumulative, toxic), nor as vPvB (very persistent, very bioaccumulative).*

### 12.6. Other Adverse Effects

*Water hazard class:*

*Not hazardous.*

*Behaviour in sewage systems:*

next page: 8



# Material Safety Data Sheet

According to regulation (EC) No. 1907/2006 (REACH)



## 67020 Polyvinyl Acetate 30

Page 8

Revised edition: 21.10.2011

Version: 1

Printed: 11.11.2014

---

*Further ecological effects:*

*Not considered to be environmentally harmful.*

*No special effects or hazards known.*

*AOX Value:*

---

### 13. Disposal Considerations

#### 13.1. Waste Treatment Methods

*Product:*

*Dispose of according to official national and local regulations.*

*European Waste Code (EWC):*

*Uncleaned packaging:*

*Dispose of according to official local regulations.*

*Waste Code No.:*

---

### 14. Transport Information

#### 14.1. UN Number

*ADR, IMDG, IATA*

#### 14.2. UN Proper Shipping Name

*ADR/RID:*

*No hazardous goods according to ADR (land transportation).*

*IMDG/IATA:*

*No hazardous goods according to IMDG.*

#### 14.3. Transport Hazard Classes

*ADR Class:*

*not applicable*

*Hazard no.:*

*Classification code:*

*Tunnel no.:*

*IMDG Class (sea):*

*Hazard no.:*

*EmS No.:*

*IATA Class:*

*not applicable*

*Hazard no.:*

#### 14.4. Packaging Group

*ADR/RID:*

*not applicable*

*IMDG:*

*IATA:*

#### 14.5. Environmental Hazards

next page: 9

# Material Safety Data Sheet

According to regulation (EC) No. 1907/2006 (REACH)



## 67020 Polyvinyl Acetate 30

Page 9

Revised edition: 21.10.2011

Version: 1

Printed: 11.11.2014

---

*None*

**14. 6. Special Precautions for User**

*Not classified as a dangerous good under transport regulations.*

**14. 7. Transportation in Bulk according to Annex II of MARPOL 73/78 and IBC-Code**

*not applicable*

**14. 8. Further Information**

---

**15. Regulatory Information**

**15. 1. Safety, Health and Environmental Regulations/Legislation specific for the Substance or Mixture**

*Water hazard class:*

*0, not hazardous*

*Local regulations on chemical accidents:*

*Employment restrictions:*

*Restriction and prohibition of application:*

*Technical instructions on air quality:*

**15. 2. Chemical Safety Assessment**

*Polymer: exempted from the mandatory REACH Registration.*

**15. 3. Further Information**

---

**16. Other Information**

*This product should be stored, handled and used in accordance with good hygiene practices and in conformity with any legal regulations. This information contained herein is based on the present state of knowledge and is intended to describe our product from the point of view of safety requirements. It should be therefore not be construed as guaranteeing specific properties.*

## **Annexe 5 : Lettre de Maurice Besset, conservateur au Musée de Grenoble**

plusieurs experts pour étudier les problèmes qu'elle pose sa conservation.

le 6 avril 1970

Croyez que je regrette vivement de ne pouvoir vous donner satisfaction et de ne pouvoir associer notre musée à l'effort si intéressant que vous entreprenez.

Madame Margaret POTTER  
Associate Curator  
The Museum of Modern Art  
11 West, 53 Street  
NEW-YORK, N. Y. 10019

MB/CM/232

Avec mes salutations distinguées.

(U.S.A.)

March 19, 1970

Mr. Maurice Besset, Director  
Musée de Peinture et de Sculpture  
Place de Verdun  
Grenoble, France

Maurice BESSET  
Conservateur

Dear Mr. Besset:

Madame et Chère Collègue,

I am writing to ask your assistance in a forthcoming exhibition of great significance to this Museum.

C'est seulement au retour d'une absence prolongée que je trouve votre lettre du 19.03, à laquelle je vous prie de m'excuser de n'avoir pas répondu plus tôt.

Your project of exhibition "Stein" est passionnant et intervient à une date particulièrement heureuse, après le mystérieux départ de Paris du reste de la collection. J'ai moi-même, enfant, vers 1930/35, pu admirer, rue de Fleurus, une partie de la Collection Stein, et cela a été une de mes premières impressions d'art. Depuis, j'ai vainement tenté, en tant qu'exécuteur testamentaire de Le Corbusier, de sauver la villa de Garches.

Je vous remercie du tirage photographique que vous avez l'amabilité de nous envoyer, et qui nous éclaire sur la présentation primitive de la composition. Les textes de Barr figurent dans le dossier documentaire de celle-ci.

Malheureusement, l'état des "Aubergines", n'en permet pas le transport. Déjà Matisse, dans une lettre adressée au Conservateur de l'époque, Monsieur Andry-Farcy, au moment de l'entrée des "Aubergines" dans les Collections du Musée, précisait que le tableau était très fragile et qu'il fallait éviter de le faire voyager : la pellicule de peinture est extrêmement mince et adhère mal à la toile. De plus, depuis quelques mois, apparaissent des phénomènes inquiétants d'altération des couleurs. Ce tableau ne figurera même pas à la grande rétrospective "Matisse" qui doit avoir lieu incessamment à Paris, et je pense réunir à l'automne

group of the Stein apartment on the rue Madame in Paris, showing the painting hanging among several other Matisse's which we shall be displaying to our exhibition.

The relationship between the Michael Steins and the Matisse's remained very close, and the Steins were the only guests at the wedding in 1922 of Henrietta Matisse. Apparently the painting was given back to Matisse and, in .../... presented to the Grenoble Museum in the name of Matisse's wife and daughter.

plusieurs experts pour étudier les problèmes que pose sa conservation.

Croyez que je regrette vivement de ne pouvoir vous donner satisfaction et de ne pouvoir associer notre musée à l'effort si intéressant que vous entreprenez.

Avec mes salutations distinguées.

Department of Painting and Sculpture

March 19, 1970

Mr. Maurice Besset, Director  
Musée de Peinture et de Sculpture  
Place de Verdun  
Grenoble, France

Maurice BESSET  
Conservateur

Dear Mr. Besset:

I am writing to ask your assistance in a forthcoming exhibition of great significance to this Museum.

Last year several Trustees of the Museum were able to acquire thirty-eight paintings and drawings by Picasso and nine paintings by Juan Gris which had once belonged to the noted American writer, Gertrude Stein. This substantial and magnanimous effort on the part of our Trustees was made to enable the Museum to approach its second half century with a program commensurate with its distinguished history and the demands now being made upon it by a rapidly increasing international audience.

Of primary importance to the Museum's continuing program of historic loan exhibitions will be the major exhibition of the coming season, **FOUR AMERICANS IN PARIS: THE COLLECTIONS OF GERTRUDE STEIN AND HER FAMILY**, to open on December 15, 1970. This exhibition will attempt to reassemble around the nucleus recently acquired the many other highly important paintings which once belonged to Gertrude Stein and her brothers, Leo and Michael. These have found their way over the years to major public and private collections throughout the world.

We very much hope that it might be possible to include in this important exhibition the superb large decorative painting, "Interior with Eggplants" of 1911, by Henri Matisse. This complex masterpiece was acquired late in 1911 by Michael and Sarah Stein, among Matisse's first and most devoted patrons. At that time, Michael Stein wrote that its acquisition "has necessitated rearranging our rooms entirely" (cf. Alfred Barr, Matisse, His Art and His Public, p. 143). I enclose a photostat of an old photograph of the Stein apartment on the rue Madame in Paris, showing the painting hanging among several other Matisse's which we shall be displaying in our exhibition.

The relationship between the Michael Steins and the Matissees remained very close, and the Steins were the only guests at the wedding in 1923 of Marguerite Matisse. Apparently the painting was given back to Matisse and, in 1922, presented to the Grenoble Museum in the name of Matisse's wife and daughter.

## **Annexe 6 : Lettre de Maurice Besset, conservateur au Musée de Grenoble**

le 15 juillet 1974

qui nous a permis à la fois d'établir avec certitude la technique dans laquelle il a été exécuté et de constater l'étendue des dégâts. Il semble que, pour l'essentiel, le tableau ait tout simplement été exécuté à la gouache sur une toile non préparée. Dans le Département de Peinture Occidentale Moderne du Musée de l'Ermitage à Leningrad (U.R.S.S.), il s'agit sans doute de l'état de conservation à peu près satisfaisant, tout le tableau tombe en poussière, s'effrite, s'écaille ou se boursoufle. Le tableau a dû, avant d'entrer au Musée de Leningrad, séjourner assez longtemps dans un endroit humide : en effet, dans le bas de la toile, des dégâts plus importants que dans la partie supérieure. On peut donc penser que l'humidité, en remontant de bas en haut, a dissous le faible encollement de la tempera. X

MB/CM/546

D'après M. Dominique Fourcade, dont les travaux sur Matisse vous sont sans doute et que j'ai chargé d'une étude sur notre fonds Matisse, le "Café Maure" vous aurait posé un problème analogue, que votre atelier de restauration aurait résolu élégamment. Serait-il indiscret de vous demander si ce renseignement est exact et si, dans l'affirmative, vous accepteriez de nous indiquer le principe de la méthode employée ? Etant donné l'importance de l'enjeu et la gravité des dégâts, si elle est exceptionnelle, nous vous serions infiniment reconnaissants de bien vouloir nous faire part de votre expérience et des observations que vous voudrez bien nous adresser.

Monsieur le Conservateur et Cher Collègue, Je me permets de m'adresser à vous pour vous demander si vous accepteriez de nous accorder votre aide pour résoudre un problème technique particulièrement délicat. En vous remerciant à l'avance, si vous voudrez bien nous donner, je vous prie d'agréer, Monsieur le Conservateur et Cher Collègue, l'assurance de ma haute estime et de mon profond respect.

Ainsi que vous le savez sans doute, le Musée de Grenoble possède un fonds d'oeuvres de Matisse, qui, bien que beaucoup moins important que celui de l'Ermitage, a un intérêt considérable. Mis à part celui du Musée National de Copenhague, ce fonds est en effet le seul en Europe Occidentale à présenter des oeuvres maîtresses pour la période antérieure à 1914 : la "Liseuse" et les "Tapis rouges" de 1906, le "Nu assis" de 1909 et, plus important encore, l'"Intérieur aux aubergines" de 1911.

Maurice BESSET

X L'état de conservation de ce tableau nous cause les plus graves soucis. Il semble que Matisse lui-même ait eu conscience des risques que comportait la technique qu'il a employée puisque, dès 1922, lorsque l'oeuvre est entrée dans les collections du Musée, il aurait averti mon prédécesseur qu'elle ne devrait jamais voyager. Depuis, et surtout depuis quelques années, l'état du tableau n'a fait qu'empirer. Muni depuis très longtemps d'un verre de protection, le tableau vient d'être sorti de son cadre, ce

.../...

MB/CM/546

le 15 juillet 1974  
qui nous a permis à la fois d'établir avec certitude la technique dans laquelle il a été exécuté et de constater l'étendue des dégâts. Il semble que, pour l'essentiel, le tableau ait tout simplement été exécuté à la gouache sur une toile non préparée. Dans certaines de ses parties, il s'agit sans doute d'une tempera mal encollée, seuls les empâtements présentent un état de conservation à peu près satisfaisant, tout le reste du tableau tombe en poussière, s'effrite, s'écaille ou se boursoffle. Le tableau a dû, avant d'entrer au Musée, séjourner assez longtemps dans un endroit humide : on constate, en effet, dans le bas de la toile, des dégâts plus importants que dans la partie supérieure. On peut donc penser que l'humidité, en remontant de bas en haut, a dissous le faible encollement de la tempera. X

D'après M. Dominique Fourcade, dont les travaux sur Matisse vous sont sans doute et que j'ai chargé d'une étude sur notre fonds Matisse, le "Café Maure" vous aurait posé un problème analogue, que votre atelier de restauration aurait résolu élégamment. Serait-il indiscret de vous demander si ce renseignement est exact et si, dans l'affirmative, vous accepteriez de nous indiquer le principe de la méthode employée ? Etant donné l'importance de l'enjeu et la gravité des dégâts subis par cette toile exceptionnelle, nous vous serions infiniment reconnaissants de bien vouloir nous faire part de votre expérience et des observations que vous avez pu faire à propos de ce tableau.

Je me permets de m'adresser à vous pour vous demander si vous accepteriez de nous accorder votre aide pour résoudre un problème technique particulièrement délicat. En vous remerciant à l'avance de la réponse que vous voudrez bien nous donner, je vous prie d'agréer, Monsieur le Conservateur et Cher Collègue, l'expression de mes sentiments les meilleurs.

Ainsi que vous le savez sans doute, le Musée de Grenoble possède un fonds d'oeuvres de Matisse, qui, bien que beaucoup moins important que celui de l'Ermitage, a un intérêt considérable. Mis à part celui du Musée National de Copenhague, ce fonds est en effet le seul en Europe Occidentale à présenter des oeuvres maitresses pour la période antérieure à 1914 : la "Liseuse" et les "Tapis rouges" de 1906, le "Nu assis" de 1909 et, plus important encore, l'"Intérieur aux aubergines" de 1911.

Maurice BESSET  
Conservateur

X L'état de conservation de ce tableau nous cause les plus graves soucis. Il semble que Matisse lui-même ait eu conscience des risques que comportait la technique qu'il a employée puisque, dès 1922, lorsque l'oeuvre est entrée dans les collections du Musée, il aurait averti mon prédécesseur qu'elle ne devrait jamais voyager. Depuis, et surtout depuis quelques années, l'état du tableau n'a fait qu'empirer. Muni depuis très longtemps d'un verre de protection, le tableau vient d'être sorti de son cadre, ce



**Annexe n° 7 : Ressources matérielles, logicielles et intervenants  
scientifiques**

	Type d'instruments et leurs caractéristiques	Logiciels utilisés	Opérateurs et Intervenants
Expérimentation			
Préparation des éprouvettes	Acculab ALC 210.4, Sartorius		Gabriel BERNARD
Goniophotomètre			
Acquisition	Prototype PHYTOS		Lapo LOLLI (ingénieur de recherche ayant participé à la conception de l'instrument à l'INRIM)
Traitement des données		MatLab édité par MathWorks®	Lapo LOLLI
Interprétation			Mauro RAJTERI (chercheur en métrologie à l'INRIM)  Tiziana CAVALERI (ingénieure de recherche en colorimétrie au CCR)  Clotilde BOUST (chercheuse en optique et en colorimétrie au C2RMF)
Micro-topographie			
Acquisition	microscope confocal  Station AltiSurf™ 50	Phénix v.2	Marine PAGE (doctorante, ingénieure en optique au C2RMF)  Gabriel BERNARD
Traitement des données		Mountains Maps 5 diffusé par Digital Surf	Gabriel BERNARD
Analyse mathématique		MatLab édité par MathWorks®	Marine PAGE
Interprétation			Clotilde BOUST
Microscope à force atomique			
	Informations non disponibles		Istituto Nazionale di Ricerca Metrologica, Torino