

LE CONTRETYPEPAGE INFORMATIQUE ADAPTÉ À LA RÉINTÉGRATION CHROMATIQUE DES LACUNES. APPLICATION DE LA MÉTHODE EN ATELIER POUR LIMITER LE MÉTAMÉRISME

Gaëlle Silvant, Adrien Lucca, Sarah Benrubi, Isabelle Garachon

Résumé

Le métamérisme est un phénomène optique qui décrit la variation de l'apparence colorée de deux couleurs de compositions différentes qui apparaissent identiques sous un certain éclairage. En conservation-restauration il se manifeste le plus souvent entre la teinte de l'original et celle du matériau de retouche. La formulation de couleurs par ordinateur est un procédé développé à des fins industrielles dans les années 60 pour pallier ce problème. Il s'agit de définir informatiquement la composition précise d'un mélange de colorants, pour reproduire une couleur de référence. Bien que prometteuse, l'utilisation du contretypage informatique en conservation-restauration est limitée car la méthode est chronophage et coûteuse et qu'elle repose sur l'utilisation d'algorithmes complexes. Partant de ce constat, l'étude a pour but d'adapter le procédé à une pratique d'atelier afin de faciliter la réintégration chromatique des céramiques émaillées, dont les décors bleus sont particulièrement sensibles au métamérisme.

Abstract Metamerism is an optical phenomenon that describes the variation in the coloured appearance of two differently composed colours that appear identical under a specific lighting. In conservation and restoration, it most often manifests between the hue of the original and that of the retouch material. Computer-based colour formulation is a process developed for industrial purposes in the 1960s to address this problem. It involves computationally defining the precise composition of a mixture of colorants in order to reproduce a reference colour. Although promising, the use of computerised colour matching in conservation and restoration is limited because the method is time-consuming and costly and relies on complex algorithms. Based on this observation, the study aims to adapt the process for workshop practice to facilitate the chromatic reintegration of glazed ceramics, whose blue decorations are particularly sensitive to metamerism.

Resumen El metamerismo es un fenómeno óptico que describe la variación en la apariencia de dos colores de diferentes composiciones que parecen idénticos bajo cierta iluminación. En conservación-restauración se manifiesta con mayor frecuencia entre el color del original y el del material de retoque. La formulación de color por la computadora es un proceso desarrollado con fines industriales en la década de 1960 para superar este problema. Se trata de definir informáticamente la composición precisa de una mezcla de colorantes, para reproducir un color de referencia. Aunque es prometedor, este uso de la computadora en restauración es limitado porque el método lleva mucho tiempo, es costoso y se basa en el uso de algoritmos complejos. Teniendo en cuenta esta observación, el estudio tiene como objetivo adaptar el proceso a una práctica de taller para facilitar la reintegración cromática de la cerámica esmaltada, cuyos azules son particularmente sensibles al metamerismo.

Mots-clés retouche, métamérisme, contretypage informatique, réintégration chromatique, spectrocolorimètre, couleurs

La réintégration chromatique des lacunes est une des dernières étapes d'un traitement de conservation-restauration et, de ce fait, conditionne sa réception par le public et/ou le commanditaire de l'intervention. Elle détermine l'aspect visuel final de l'objet traité et joue un rôle important dans la valorisation générale du traitement réalisé. Une des problématiques de la retouche en conservation-restauration est le métamérisme. Il décrit la variation de l'apparence colorée de deux couleurs de compositions différentes qui apparaissent identiques sous un certain éclairage. Il se manifeste généralement par une discordance de teinte entre l'original et le matériau de retouche. Lorsque le métamérisme se produit, l'apparence esthétique globale de l'objet restauré est bouleversée et les lacunes prennent visuellement le dessus sur la matière originale. Les tons bleus sont particulièrement sujets au phénomène et ont tendance à prendre une teinte plus violacée. Leur omniprésence dans les arts céramiques fait du métamérisme une problématique récurrente lors de la retouche de ces pièces (**fig. 1**).



Figure 1 La même retouche éclairée par deux sources de lumière différentes. Sur le détail à droite la retouche illusionniste à la même apparence colorée que la matière originale. Sur le détail à gauche la réintégration chromatique prend une teinte violacée à cause du métamérisme. Dans ce cas, le métamérisme est révélé par un changement d'éclairage entre les deux photographies. L'apparence colorée de cette retouche était similaire à celle de la céramique dans l'atelier de restauration. Assiette en faïence de Delft, premier quart du XVII^e siècle, Rijksmuseum, Amsterdam. © Isabelle Garachon.

L'apparition du métamérisme est intrinsèquement liée à la composition pigmentaire de la retouche. L'objectif de l'étude est donc d'optimiser la sélection de ces pigments grâce à un procédé informatique s'appuyant sur la colorimétrie, appelé formulation de couleur par ordinateur. La recherche s'inscrit dans la continuité de celles effectuées depuis le début des années 2000 par Norman Tennent et James Nobbs (Tennent, Nobbs *et al.*, 2005, 2006, 2007, 2018). Elle tente de solutionner la question du métamérisme en développant une nouvelle méthodologie de contretypage informatique adaptée spécifiquement à la retouche des céramiques émaillées dans le cadre d'une pratique d'atelier.

Définition du métamérisme

L'apparence colorée d'un objet dépend de la distribution spectrale de la source qui l'éclaire et de sa réflectance propre, liée à la nature du matériau. Cela signifie qu'un changement de l'une ou l'autre de ces deux variables peut conduire à un changement d'apparence : c'est ce qu'on appelle le métamérisme. Deux couleurs sont dites métamères si elles ont la même apparence colorée, c'est-à-dire les mêmes valeurs *tristimulus*, sous certaines conditions d'observation, mais que leurs couleurs diffèrent lorsqu'une de ces conditions est modifiée. Dans le cas du métamérisme de l'illuminant, majoritairement en cause, on entend par « conditions d'observation » l'environnement lumineux, soit la ou les sources d'éclairage (fig. 2). D'un point de vue physique, le métamérisme est lié à une différence de réflectance¹ entre les deux surfaces colorées métamères. Chaque couleur possède une infinité d'autres métamères, puisque la vision humaine fonctionne par un système de sensibilité énergétique. Deux *stimuli* avec une distribution spectrale différente peuvent donner la même réponse s'ils excitent de la même façon les cônes photorécepteurs.

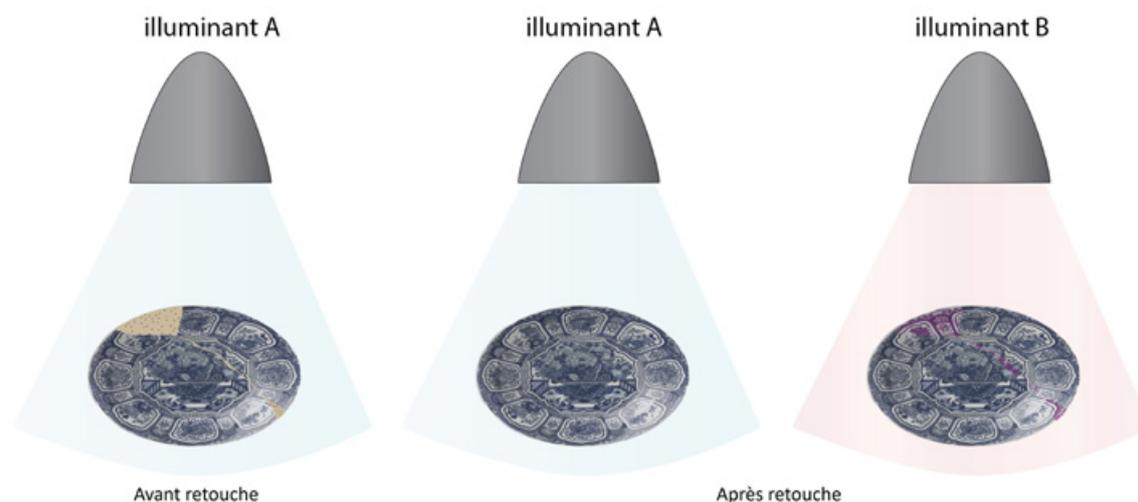


Figure 2 Schéma représentant l'apparition du métamérisme lorsque les conditions d'éclairage sont modifiées. © Isabelle Garachon.

¹ La réflectance décrit le pourcentage de lumière réfléchi par un objet en fonction de la longueur d'onde.

Certaines couleurs et, en particulier, les teintes vives comme les bleus sont plus sensibles aux variations du fait de leurs propriétés spectrales. Les spectres ayant des valeurs maximales élevées, c'est-à-dire des pics de forte intensité et une amplitude importante, réagissent plus facilement aux changements d'éclairage (**fig. 3**).

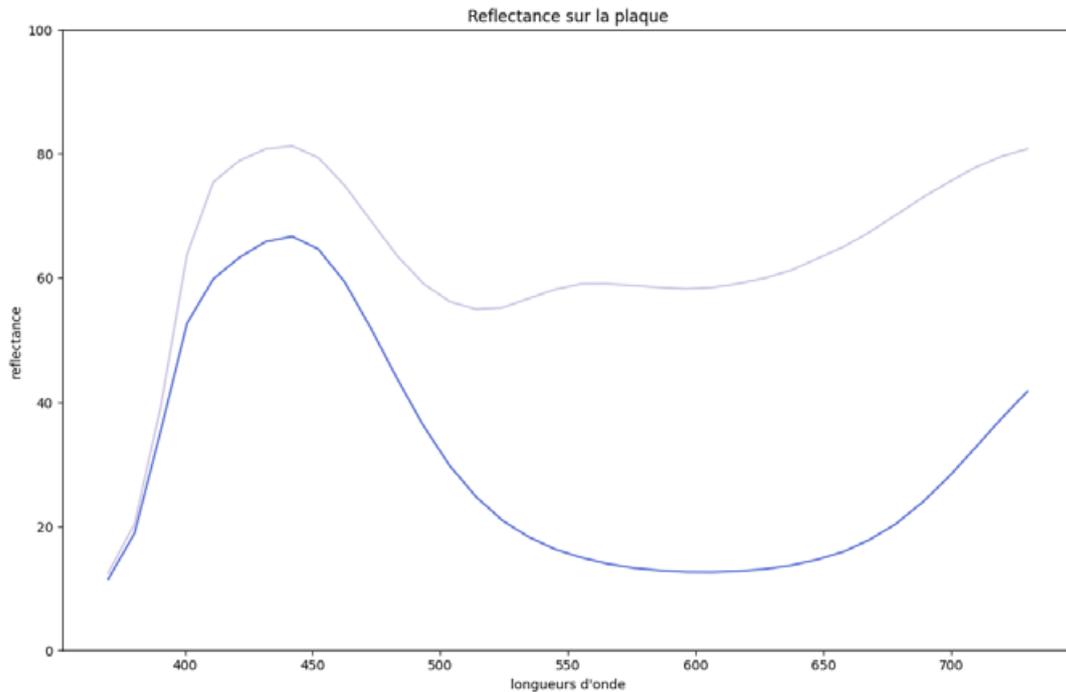


Figure 3 Le diagramme présente la réflectance (en %) de deux pigments en fonction de la longueur d'onde (en nm). Le spectre violet correspond au pigment violet outremer, le spectre bleu à celui du bleu outremer. Le bleu d'outremer est beaucoup plus vif et chromatique que le violet d'outremer, son spectre a également une amplitude beaucoup plus importante. Il est possible de penser qu'il réagira davantage aux variations d'éclairage et sera donc plus sujet au métamérisme.

Métamérisme et éclairage des collections patrimoniales

Le métamérisme est mis en évidence par un changement des conditions lumineuses entre le moment de la réintégration chromatique, dans l'atelier de restauration, et le moment de l'exposition de la pièce. De façon générale, en plus de la lumière naturelle, il existe trois types de sources artificielles de lumière blanche utilisées pour l'éclairage des collections patrimoniales. Elles se regroupent selon leur mode de fonctionnement : l'incandescence, la fluorescence et l'électroluminescence (LED). La lumière a une composition spectrale singulière, en fonction de son mode de production et des propriétés propres à chaque dispositif : fabricant, modèle de l'ampoule, qualité, etc. (**fig. 4**).

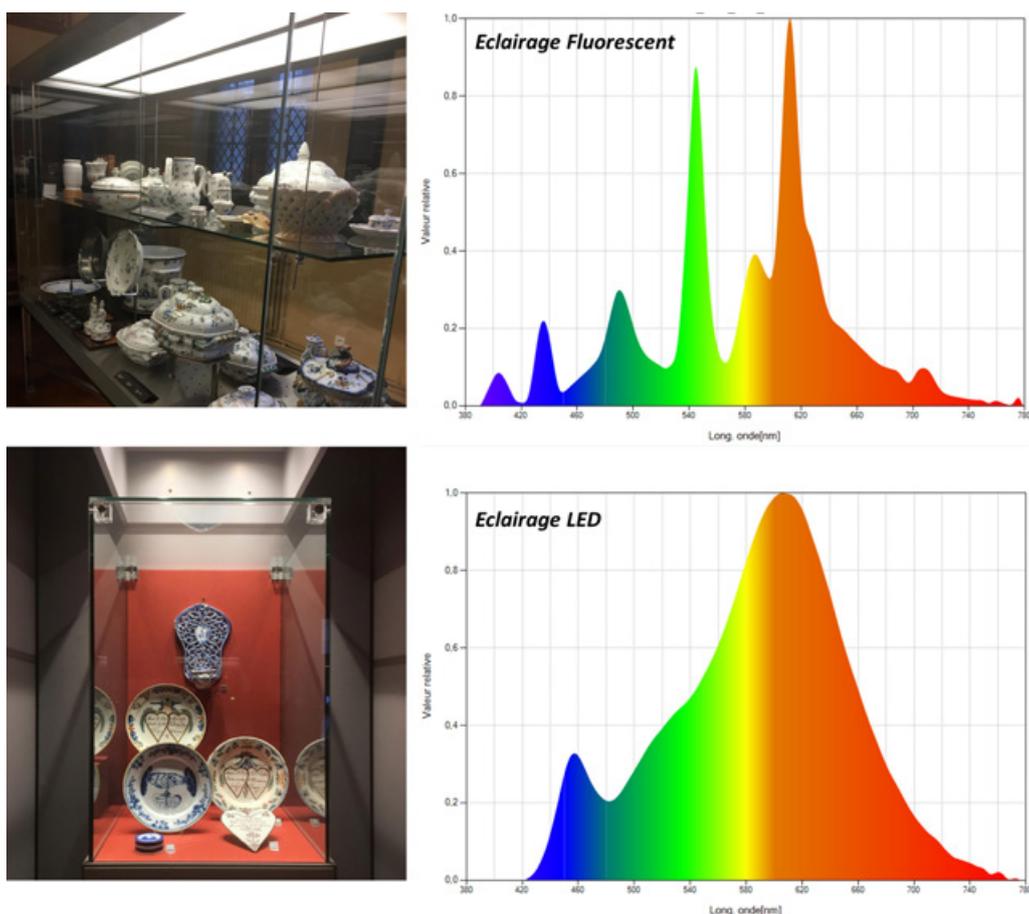


Figure 4 La composition spectrale de la lumière varie selon la source. Les éclairages fluorescents ont un spectre continu sur lequel se superposent des raies plus marquées à certaines longueurs d'ondes. Le spectre des ampoules électroluminescentes est quasi-continu mais possède toujours des pics caractéristiques selon le type de LED. Les deux graphiques proviennent d'une enquête réalisée dans le cadre de cette recherche sur les politiques d'éclairage dans les lieux d'exposition. © Gaele Silvant.

Dans les musées, les galeries, ou tout autre lieu d'exposition, l'éclairage est souvent une combinaison de lumière diffuse et de lumière directe. Il provient de plusieurs sources qui sont parfois de nature différente. L'éclairage a un rôle majeur puisqu'il permet de moduler l'environnement d'exposition pour correspondre aux normes de conservation préventive, mais aussi pour mettre en avant les valeurs conceptuelles et artistiques des œuvres d'art.

La variété des options d'éclairage est nécessaire à la bonne perception des objets, mais constitue un défi majeur pour les restaurateurs puisque leur multiplicité et leur non-uniformité accroît le risque d'apparition du métamérisme.

Subjectivité de la réintégration chromatique des lacunes

Outre la question de l'éclairage, l'apparition du métamérisme est liée à la composition du mélange utilisé pour la retouche des lacunes. Dans le cas de la retouche des céramique émaillées, plusieurs problèmes se posent. D'une part les matériaux de retouche ont une nature très différente des oxydes métalliques cuits, de compositions variables, utilisés pour les décors émaillés. Il est donc impossible de réaliser une retouche ayant les mêmes caractéristiques

spectrales que l'original. Ceci explique notamment la forte proportion de retouches métamères visibles sur des céramiques, comparativement à d'autres matériaux.

D'autre part, la réintégration chromatique des lacunes est une étape de restauration subjective. Elle traduit la sensibilité des restaurateurs et s'inscrit dans un processus d'habitude singulier. C'est-à-dire que si certains paramètres comme le niveau de réintégration, les matériaux ou la technique employés sont déterminés en adéquation avec les principes de la conservation-restauration, le choix des pigments relève quant à lui d'avantage d'une affection particulière qui n'est pas forcément motivée par des considérations déontologiques. Autrement dit, pour arriver à une même teinte, une multitude de recettes sont possibles et aucune n'est objectivement « meilleure » qu'une autre.

Le contretypage informatique

La formulation de couleur par ordinateur, ou contretypage informatique, est un procédé développé dans les années 1960 à des fins industrielles. Elle permet de définir la composition d'un mélange de colorants dans des concentrations précises, afin de reproduire une couleur de référence. On parle de formulation par ordinateur puisque le procédé est informatisé, et basé sur un algorithme fonctionnant par calculs informatiques. Le contretypage informatique permet théoriquement de gagner du temps par rapport à un échantillonnage manuel et de garantir un contretypage non métamérique.

Le contretypage informatique repose sur la théorie de Kubelka-Munk à deux constantes (K) et (S). La peinture utilisée pour la retouche est un matériau hétérogène dont les propriétés optiques sont déterminées par deux paramètres : le coefficient d'absorption (K) et le coefficient de diffusion (S) ; les deux en fonction de la longueur d'onde. Chacun de ces coefficients dépend des propriétés physiques et chimiques du feuillet considéré. Kubelka et Munk considèrent que la lumière qui frappe un feuillet de peinture n'est diffusée que dans deux directions : vers le haut ou le bas. Partant de cela, la lumière réfléchie par la surface dépend de l'épaisseur du film de peinture, des coefficients de diffusion et d'absorption du matériau colorant, et de la réflectance du fond sur lequel la peinture est appliquée. Dans un film opaque, la concentration relative des pigments détermine la réflectance. Un mélange de plusieurs peintures donne donc une réflectance caractéristique qui dépend des constantes (K) et (S) de chacun des pigments qui la compose, et communique de ce fait des informations sur la composition du mélange. Pour un film de peinture composé d'un mélange de pigments, l'absorption totale du feuillet est égale à la somme des constantes (K) de chacun des pigments proportionnellement à leur concentration dans le mélange, tout comme la constante (S) et, ce, en fonction de la longueur d'onde.

Pour paramétrer la formulation, une base de données est sélectionnée, de laquelle sont extraites les constantes (K) et (S) de chacun des pigments qui la composent. Des contraintes de formulation sont ensuite définies en fonction des exigences requises par la recherche.

Adaptation du procédé pour une utilisation en conservation-restauration

Pour être utile aux conservateurs-restaurateurs, la méthode doit s'ancrer dans la pratique de la conservation-restauration et s'adapter à la spécificité de la réintégration chromatique des céramiques émaillées. Pour ce faire, la méthodologie mise en place s'appuie sur quatre axes correspondant à des objectifs distincts.

Développer une méthode reproductible et standardisée

La formulation de couleur par ordinateur repose sur le calcul informatique de recettes dans le but de correspondre à un standard défini préalablement. La première étape est d'établir à partir de quelles couleurs de référence le contretypage doit être effectué, grâce à l'étude spectro-colorimétrique d'un panel prédéfini. Nous sélectionnons un ensemble de céramiques formant un groupe cohérent et partageant les mêmes caractéristiques spectrales. Il s'agit de douze plaques en faïence de Delft (musées royaux d'Art et d'Histoire de Bruxelles) provenant majoritairement de Delft, mais aussi de Arnhem, Rotterdam, Amsterdam et Utrecht; datées entre la première moitié du XVII^e siècle et le XIX^e siècle. Ces plaques ont une apparence colorée très variable, avec aussi bien des bleus contrastés et chromatiques, que des bleus clairs plus gris (fig. 5 et 6).



Figure 5 Ensemble du panel de plaques en faïence de Delft ayant servi pour l'étude spectro-colorimétrique et la détermination des bleus de référence. © Gaelle Silvant.

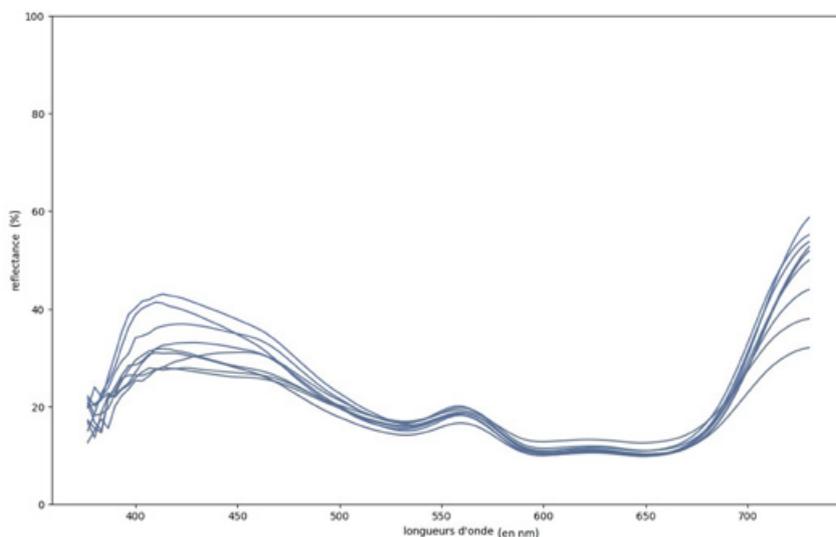


Figure 6 Pour chacune des douze plaques, vingt points de mesure sont réalisés avec le spectrocolorimètre (5x4 zones de mesures : fond blanc, décor bleu clair, moyen et foncé). Sur le diagramme chaque spectre correspond à la moyenne des cinq mesures réalisées dans les tons moyens pour une plaque. Le graphique souligne la grande similarité des spectres de l'ensemble des plaques du panel.

Correspondre à la pratique réelle de la retouche en atelier

Le contretypage informatique repose sur l'utilisation d'une base de données qui doit être adaptée à l'objectif de la formulation, ici la réintégration chromatique des faïences stannifères à décor bleu. La revue de la littérature et l'enquête réalisée² à ce sujet permettent de sélectionner la gamme de peintures acryliques de la marque Golden Artist Colors®, largement utilisée par les conservateurs-restaurateurs de céramique. Quarante-cinq pigments, soit la quasi-totalité de la gamme, sont sélectionnés. Cela permet à l'algorithme d'avoir une plus grande liberté de formulation, d'être plus efficace et, ceci, sans être restreint aux combinaisons traditionnellement utilisées par les restaurateurs.

La caractérisation spectro-colorimétrique du panel de plaques souligne l'influence des fonds blancs sur la chromaticité et la réflectance des décors peints. Les décors bleus ne sont pas complètement opaques mais plutôt fondus dans l'émail : plus les couleurs sont claires et plus elles sont concentrées en émail blanc. Cet émail ne correspond pas à un blanc parfait, totalement réfléchissant, mais plutôt à un gris coloré tirant vers le rouge, le jaune ou le vert (fig. 7).



Figure 7 La comparaison de ces revers d'assiettes en faïence de Delft illustre l'hétérogénéité de l'émail blanc d'une manufacture ou d'un objet à l'autre. L'émail stannifère n'est pas parfaitement blanc mais a une sous-teinte colorée variable. Photo d'une vitrine du Kunstmuseum Den Haag. © Gaelle Silvant.

Ce constat amène à considérer le blanc et le bleu comme des paramètres distincts, ce qui se rapproche de la pratique d'atelier. L'aspect vitrifié, extrêmement lisse et avec une certaine profondeur des décors émaillés, est souvent imité au moment de la retouche par la superposition de couches plus ou moins transparentes, appliquées sur un comblement préalablement teinté dans la masse ou sur une teinte de fond opaque reproduisant l'émail stannifère « blanc ». D'un point de vue méthodologique, cette dissociation blanc/bleu permet d'obtenir un bleu de Delft « universel » faisant office de référence pour le contretypage informatique.

² Un questionnaire a permis de recueillir les habitudes de retouche de 21 restauratrices exerçant dans différents pays d'Europe et aux Etats-Unis.

Autrement dit, on considère un bleu tout à fait transparent apposé sur un fond blanc variable (fig. 8). De cette façon la notion de transparence est introduite dans l'étude et l'algorithme est optimisé puisque les deux couleurs sont considérées indépendamment.



Figure 8 Comparaison de la chromaticité des bleus en fonction du fond pour la plaque (tableau rectangulaire représentant une kermesse, Anonyme, d'après une gravure de Nicolas de Bruyn ou Boetius Adam Bolswert d'après Vinckboons, 1640, 62x58cm, Delft, Inv.EV319, MRAH, Bruxelles). Le dégradé de gauche correspond à l'apparence colorée réelle du bleu. Le dégradé de droite montre l'apparence colorée du bleu une fois dissocié de l'émail blanc et appliqué sur un fond parfaitement réfléchissant (blanc parfait).

Proposer une méthode facilement applicable

Traditionnellement, le contretypage informatique permet d'obtenir des recettes où chaque pigment est introduit dans une concentration précise afin de garantir un résultat non métamérique. Dans le cas de la réintégration chromatique des lacunes il n'est pas envisageable d'utiliser de telles recettes, trop contraignantes pour les restaurateurs. Celles-ci impliquent de peser d'infimes quantités de peinture, et de réitérer le processus à la moindre variation de teinte au niveau de l'original à reproduire. La méthode mise en place vise plutôt à repérer, à l'issue de la formulation, les combinaisons de pigments les plus efficaces pour limiter le métamérisme. Et à l'inverse, d'identifier celles qui donnent les moins bons résultats en fonction de la tolérance choisie.

Il est possible de s'intéresser uniquement à la nature des matériaux plutôt qu'à leurs concentrations en limitant l'algorithme à deux pigments par recette. Diminuer le nombre de pigments permet de prédire précisément leur comportement sous différents éclairages, et d'avoir une amplitude plus importante concernant leurs proportions dans le mélange.

Correspondre à la multiplicité des modes d'éclairage

Le choix des illuminants de référence pour la formulation de couleur est primordial puisqu'il définit les conditions dans lesquelles l'ordinateur doit produire une recette métamère. L'objectif est de formuler des couleurs faiblement métamères, dont l'apparence colorée ne tranche pas avec celle de la céramique sous un maximum de sources de lumière, c'est-à-dire des couleurs dont l'indice de métamérisme est inférieur à la tolérance de la vision humaine, à son seuil de perception. La méthode développée permet de prendre en considération les réflexions théoriques sur l'éclairage des collections patrimoniales en soumettant les recettes à quatre illuminants différents :

- l'illuminant A (CIE);
- l'illuminant D65 (CIE);
- un tube fluorescent Philips Graphica 965 à 6000K ayant un IRC de 95. Il représente un éclairage fluorescent de bonne qualité, qui pourrait être utilisé dans un atelier de restauration;
- une LED haut de gamme à 3200K, ayant un IRC de 97. Cette LED correspond aux recommandations actuelles en matière d'éclairage muséal.

Résultats et discussion

À l'issue de la formulation, le programme³ nous propose cent-vingt-deux recettes. L'analyse statistique des résultats permet de réduire progressivement ce nombre à sept recettes et huit pigments. La sélection se compose de trois bleus : bleu d'antraquinone, bleu d'outremer, bleu de phtalocyanine (teinte verte); trois rouges : rouge de quinacridone, magenta de quinacridone, violet de quinacridone; ainsi que deux violets : violet d'outremer et violet de dioxazine (fig. 9). À noter que le bleu d'antraquinone est présent dans six recettes sur les sept proposées. Nous pouvons aisément supposer qu'il peut être considéré comme base pour la retouche des bleus de Delft.

	pigment 1	pigment 2
1	bleu d'antraquinone	bleu d'outremer
2	bleu d'antraquinone	dioxazine violet
3	bleu d'antraquinone	violet d'outremer
4	bleu de phtalocyanine (teinte verte)	violet d'outremer
5	bleu d'antraquinone	magenta de quinacridone
6	bleu d'antraquinone	rouge de quinacridone
7	bleu d'antraquinone	violet de quinacridone

Figure 9 Liste des recettes sélectionnées à l'issue de la formulation de couleur par ordinateur.

La liste des pigments retenus est surprenante, puisque la gamme est restreinte et comprend essentiellement des teintes vives et chromatiques, avec une majorité de pigments organiques.

³ Un algorithme spécifique a été écrit et programmé par Adrien Lucca.

Après une expérimentation en atelier les doutes sont levés. Chacune des sept recettes permet de contretyper efficacement chacune des douze plaques dans les tons bleu clair, moyen et foncé (fig.10).



Plaque n°4



Contretype recette n°1, ton foncé

Figure 10 Exemple du contretype de la plaque n° 4 pour le ton bleu foncé réalisé avec la recette n° 1 (anthraquinone bleu et outremer bleu). L'ensemble des échantillons est réalisé de la même façon : une plaquette correspond à une recette et trois tons bleu clair, moyen et foncé pour une plaque. La couleur est appliquée sur un fond blanc imitant l'émail stannifère identique pour l'ensemble des échantillons. © Gaelle Silvant.

L'ensemble des échantillons est ensuite soumis à des analyses spectrales et colorimétriques. Ces tests expérimentaux attestent que les recettes sont des métamères du bleu de Delft, mais aussi qu'elles donnent un résultat satisfaisant sous les quatre illuminants sélectionnés. Parallèlement, le contretypage informatique nous permet aussi de mettre en exergue les pigments en présence dans les recettes les plus métamères. Les résultats sont déconcertants puisqu'ils révèlent que les pigments à base de cobalt (bleu de cobalt et de cæruleum) sont les plus sensibles au métamérisme, alors même que l'émail est composé d'oxyde de cobalt. Les observations réalisées tout au long de l'étude et les résultats obtenus permettent de formuler des recommandations générales afin d'appréhender plus facilement la retouche des bleus de Delft. Premièrement il est indispensable de réaliser la retouche sous un éclairage de qualité. L'obsolescence de l'éclairage fluorescent doit ouvrir la voie à une généralisation de l'éclairage LED de haute qualité dans les ateliers de restauration. Ces derniers utilisent encore souvent des dispositifs anciens dont les performances ne sont pas optimales. L'étude souligne également l'intérêt de se doter de lampes munies de variateurs de température de

couleur intégrés. Celles-ci permettent de visualiser facilement d'éventuelles variations de teintes liées au métamérisme.

Concernant la retouche en elle-même, nous préconisons la réalisation d'une retouche en deux temps avec d'un côté la réintégration du fond « blanc » (opaque) et de l'autre celle des décors bleus (superposition de couches transparentes). Ce procédé permet à la fois de se rapprocher de la matérialité des faïences stannifères mais aussi de limiter le nombre de pigments utilisés en jouant avec la transparence des couleurs. En effet, la recherche insiste sur la nécessité de réduire la palette pour limiter le métamérisme. De façon générale nous considérons qu'en plus du blanc de titane et du noir de carbone, deux pigments seulement suffisent pour reproduire une couleur. Le noir et le blanc permettent de moduler les teintes sans influencer l'emprunte spectrale des mélanges. Dans le cas des bleus de Delft, les deux autres pigments doivent être choisis parmi les sept recettes identifiées grâce à la formulation de couleur : bleu anthraquinone/bleu outremer, bleu anthraquinone/violet de dioxazine, bleu anthraquinone/violet d'outremer, bleu de phtalocyanine (teinte verte)/violet d'outremer, bleu d'anthraquinone/magenta de quinacridone, bleu d'anthraquinone/rouge de quinacridone, ou bleu d'anthraquinone/violet de quinacridone. Il est possible de choisir l'une ou l'autre recette en fonction de la pièce traitée ou sur la base de la simple préférence personnelle en fonction des propriétés d'un pigment (transparence, pouvoir tinctorial, etc.). Dans chaque mélange on retrouve un pigment primaire, ici majoritairement le bleu d'anthraquinone, et un pigment secondaire. C'est ce second pigment qui détermine la sous-teinte de la retouche.

Conclusion

Le contretypage informatique est un bon outil pour aider les conservateurs-restaurateurs dans le cadre de la réintégration chromatique des lacunes. Son efficacité est cependant conditionnée par sa méthodologie d'utilisation. C'est-à-dire que la formulation de couleur par ordinateur doit être utilisée dans le cadre d'études globales, comme celle menée ici, plutôt que pour l'analyse ponctuelle d'un objet. En effet, l'avantage de ce type de procédé informatique réside dans le traitement simultané et quasi-instantané d'un grand nombre de données afin de pouvoir réaliser des comparaisons statistiques et mieux comprendre des phénomènes récurrents.

L'étude a établi une nouvelle méthodologie pour l'utilisation de la formulation de couleur par ordinateur appliquée à la retouche des bleus de Delft. Celle-ci a permis de tirer des recommandations facilement utilisables par les restaurateurs au moment de leurs retouches, dans leur atelier.

Si l'état actuel de la recherche se limite à la réintégration chromatique des bleus de Delft, nous ne pouvons que souligner l'intérêt de poursuivre la caractérisation colorimétrique d'autres groupes cohérents de céramiques dans le but d'appliquer la méthodologie de retouche développée ici. Une brève recherche préliminaire a notamment permis de constater la constance de la réflectance des bleus à travers plusieurs productions européennes de faïence et de porcelaine tendre. Parallèlement nous avons pu observer que les porcelaines chinoises possédaient des caractéristiques spectrales différentes, motivant de poursuivre l'étude dans ce sens.

Références bibliographiques

Allen E. (1980), « Colorant formulation and shading », dans Grum F., Bartleson C. J. (éd.), *Optical radiation measurements*, Vol. 2 : *Color measurement*, New York, Academic Press, p. 290.

Berns Roy S. (2005), *A retouching palette that minimize metamerism*, Rochester, New York, USA, Rochester Institute of technology, 15 p.

Berns Roy S. (2016), *Color science and the visual arts. A guide for conservators, curators, and the curious*, Los Angeles, The Getty conservation institute, 264 p.

Garside D., Curran K., Korenberg C., Macdonald L., Teunissen K. (2017), « How is museum lighting selected? An insight into current practice in UK museums », *Journal of the Institute of conservation*, Vol. 40, N° 1, p. 3-14.

Johnston-Feller R. (2001), *Color science in the examination of museum object. Non-destructives procedures*, Los Angeles, The J.P. Getty trust, 384 p.

Kettler W. et al. (2016), *Color technology of coatings*, Vincentz Network GmbH & Co.KG, Hanovre, p. 19-20.

Kirchner E. (Juillet 2019), « Instrumental color mixing to guide oil paint artist », *Journal of the international colour association*, N° 24, p. 24-34.

Michalsky S., Druzik J. R. (2012), *Guidelines for selecting solid-state lighting for museums*, Los Angeles, Ottawa, J.P. Getty trust, Canadian conservation institute, 58 p.

Staniforth S. (Août 1985), « Retouching and color-matching : the restorer and metamerism », *Studies in conservation*, Vol. 30, N° 3, p. 101-111.

Tennent N. H. (2005), « The use of computer-colour prediction in the restoration of ceramics », dans ICOM-CC (éd.), *Conférence : ICOM-CC 14th Triennial Meeting*, La Haye, London, James & James/Earthscanp, p. 146-153.

Tennent N. H., Nobbs J. H., Lawton S., Pugh S. L. (2006), « Developments in color measurements for the restoration of blue and white dutch tiles », dans SFIIIC (éd.), *Conférence : SFIIIC, International institute for conservation of historic and artistic works*, Paris, SFIIIC, p. 259-265.

Tennent N. H., Lamain B., Nobbs J. H., Pugh S. L., Lawton S., Van Elteren J. T. (2008), « The restoration of two blue and white Chinese porcelain plates : new application of colour science and analytical chemistry », dans *Conservation science conference, Milan*, London, Éd Archetype Publications Ltd, p. 110-115

Tennent N. H., Garachon I., Nobbs J. H., Slager M. (2018), « The implementation of computer-match pigment selection for overcoming metamerism in ceramic glaze reinstatement », dans *GlazeArt2018 International conference, Glazed ceramics in cultural heritage*, Lisbonne, LNEC, p. 227-237.

Walowit E. (1988), « Spectrophotometric color-matching based on two-constant Kubelka-Munk theory », *Color research and application*, Vol. 13, N°6, p. 358-362.

Les auteurs

Gaëlle Silvant Conservatrice-restauratrice indépendante de céramique et verre, Bruxelles et Paris, gaelle.silvant@lacambre.be

Adrien Lucca Artiste plasticien et chercheur indépendant, Bruxelles.

Sarah Benrubi Conservatrice-restauratrice indépendante de céramique et verre et professeure de restauration dans l'atelier de conservation-restauration de céramique et verre de l'ENSAV La Cambre, Bruxelles, sarah.benrubi@lacambre.be

Isabelle Garachon Conservatrice-restauratrice de céramique, verre et matériaux pierreux, Rijksmuseum, Amsterdam, I.Garachon@rijksmuseum.nl