

Techniques de mesure
en colorimétrie



Techniques de mesure en colorimétrie

Dans les applications colorimétriques, la couleur est mesurée de manière objective ; la perception de la couleur visuelle devrait être simulée aussi précisément que possible avec les systèmes de mesure colorimétrique utilisés.

Le terme « couleur » se réfère ici à chaque fois à la spécification chromatique, c'est-à-dire la sensation perçue par l'œil en réaction à un stimulus de couleur. L'objectif de la mesure n'est pas le stimulus de couleur (physique, spectral), mais la spécification chromatique (production d'un effet).

Instruments de mesure

Deux types d'instruments sont utilisés pour la mesure colorimétrique : le spectrophotomètre et le colorimètre tristimulus. Ils utilisent différents équipements et méthodes et produisent divers types de descriptions numériques d'une couleur.

Le colorimètre tristimulus

Un colorimètre utilise des filtres afin d'enregistrer la quantité de lumière réfléchie dans 3 plages de longueurs d'onde du spectre visible. Ces filtres rouge, vert et bleu correspondent généralement aux fonctions de correspondance des couleurs 2° CIE 1931, x, y et z. Ils servent à simuler les détecteurs situés dans l'œil. Les correspondances de couleur représentées par les filtres dépendent de la lumière physique utilisée. Un colorimètre peut donc produire une notation des valeurs tristimulus uniquement pour une lumière (la lumière de mesure) et pour une condition observateur (simulée par les filtres de l'instrument).

Les colorimètres tristimulus effectuent des mesures dans un laps de temps très court, sont simples à utiliser et relativement peu coûteux. Ils sont utilisés principalement dans le contrôle de la qualité et permettent d'évaluer les différences de couleur.



Le spectrophotomètre

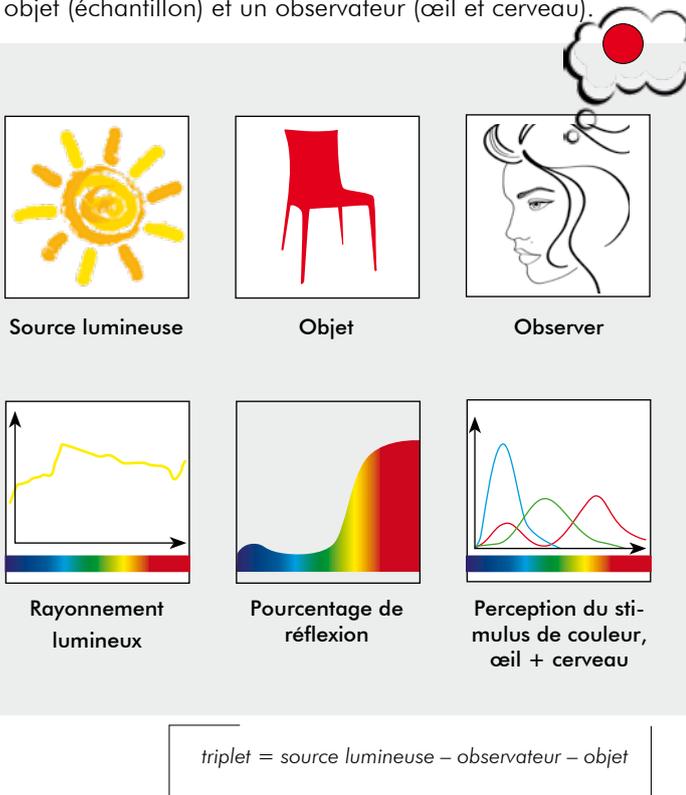
Les spectrophotomètres analysent la lumière réfléchie ou transmise par un échantillon à chaque longueur d'onde dans le spectre visible, par rapport à celle d'un échantillon de référence. Ils sont équipés d'un dispositif, en général un élément de diffraction, qui fractionne la lumière incidente en longueurs d'onde individuelles. Les spectrophotomètres mesurent la fraction de lumière réfléchie/transmise par l'objet à chaque longueur d'onde du spectre. Ces données représentent les caractéristiques photométriques de l'échantillon. Les données obtenues sont nommées données spectrales.

Les données spectrales sont une mesure relative indépendante d'un objet servant d'empreinte digitale de la couleur. Ces données ne changent jamais pour l'objet et peuvent être employées de différentes manières.

- Une seule mesure de l'objet peut servir à calculer les composantes trichromatiques d'une couleur pour diverses conditions d'illuminant/observateur.
- Comme elle peut projeter les composantes trichromatiques de plusieurs conditions d'illuminant/observateur, on peut l'utiliser pour identifier si les échantillons présentent des différences métamériques d'un échantillon à l'autre.
- Les données peuvent servir à l'évaluation des différences de couleur entre les échantillons et au calcul des recettes de couleurs pour les applications commerciales de correspondance des couleurs.

Les spectrophotomètres sont simples et rapides à utiliser. Grâce au développement technologique, ces instruments continuent à devenir plus légers, ce qui les rend portables. En outre, les prix des spectrophotomètres industriels sont devenus très compétitifs par rapport aux colorimètres à tristimulus qui sont traditionnellement moins chers.

Trois composants sont nécessaires pour créer une description numérique de la couleur : une lumière, un objet (échantillon) et un observateur (œil et cerveau).



Ce triplet se retrouve dans les instruments de mesure colorimétrique. L'objet reste le même. La source lumineuse est fournie par une lampe à laquelle on peut ajouter un filtre. L'œil et l'observateur sont simulés par un système ou un équipement dispersif avec un monochromateur et un détecteur de rayonnement connecté. L'objet est placé avec précision à l'aide d'un porte-échantillons. La géométrie de la mesure spécifie comment l'échantillon est éclairé et « observé » à partir de l'instrument de mesure. Chez un observateur humain, le cerveau convertit le stimulus de couleur en une perception de couleur. Lorsqu'on utilise un instrument de mesure, les calculs colorimétriques sont effectués par des appareils électroniques qui traitent les signaux ou un ordinateur (micro-ordinateur).



Source lumineuse

La source lumineuse est située dans l'instrument. Les instruments modernes de mesure colorimétrique utilisent généralement l'un des 3 types de sources lumineuses suivants : lampes halogènes, au xénon ou LED. Ils sont équipés d'un filtre simulant la puissance spectrale émise par la lumière du jour.

Le capteur

Le détecteur de lumière représente l'observateur. L'« œil » de l'instrument de mesure colorimétrique dépend du type d'instrument. La configuration du capteur dépend selon que l'on utilise un colorimètre ou un spectrophotomètre.

L'objet (la géométrie de la mesure)

La couleur perçue d'un objet dépend des conditions d'observation et d'éclairage utilisées. Le même objet peut créer différentes expériences perceptives colorimétriques en fonction de l'angle selon lequel un objet est éclairé ou observé. Les instruments de mesure colorimétrique sont configurés afin de simuler un angle fixe précis d'observation et d'éclairage d'échantillon. La géométrie de la mesure définit l'angle d'éclairage et l'angle d'observation simulés par l'instrument.

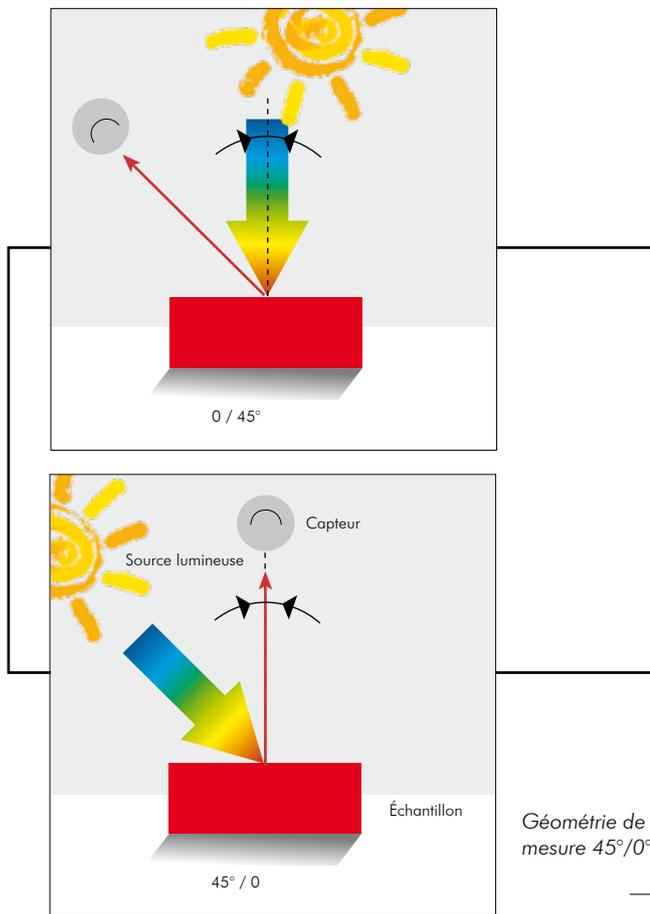
Elle utilise deux angles pour identifier les conditions, par exemple $d/8^\circ$. Le premier angle détermine l'angle d'éclairage et le second angle indique

Les spectrophotomètres utilisent habituellement l'une des trois géométries de mesure suivantes :

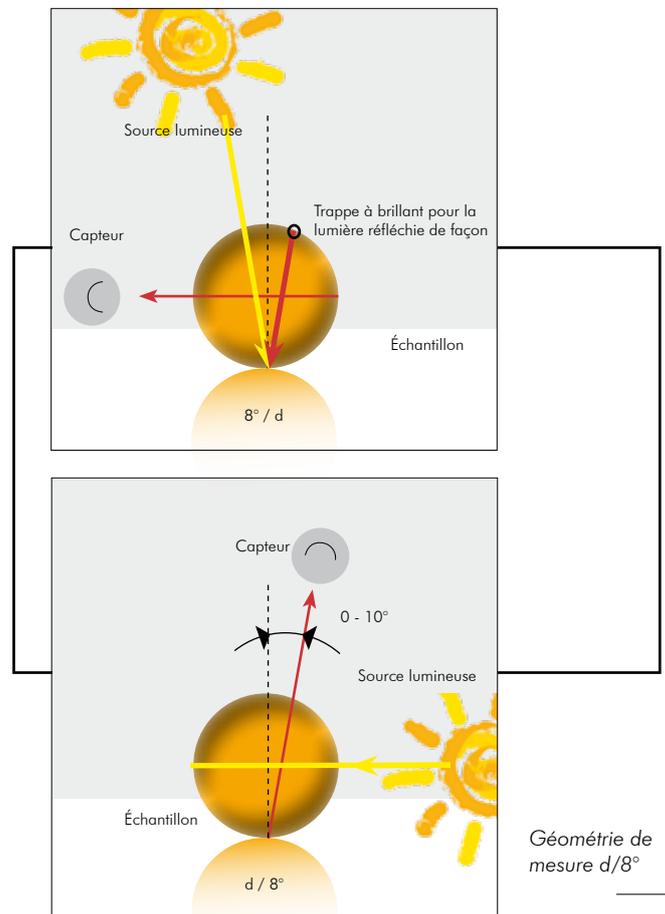
- Géométrie à sphère ($d/8^\circ$). La lumière réfléchie/transmise par l'objet est recueillie dans une sphère. Dans cet instrument, l'objet est éclairé par une lumière diffuse (d). Cette lumière provient de différents endroits de la sphère. Le détecteur est positionné à un angle de 8° par rapport à l'objet normal. Certains instruments inversent cette configuration à $8^\circ/d$. Dans cette configuration, la lumière est installée à 8° , et plusieurs détecteurs sont placés autour de la sphère.
- Géométrie angulaire. La lumière et le détecteur sont fixés à des angles spécifiques par rapport à l'objet (observation et éclairage ciblés à angles fixes). La géométrie la plus couramment utilisée est de $0^\circ/45^\circ$ ou $45^\circ/0^\circ$.
- Les instruments de mesure utilisant cette géométrie simulent les conditions d'observation naturelles chez les humains. Cette configuration est utile lorsqu'il existe des écarts de brillance entre les échantillons. Elle exclut le composant brillant et génère souvent une évaluation instrumentale qui s'accorde mieux avec l'évaluation visuelle. Cette géométrie sert fréquemment à examiner les différences de couleur entre deux produits qui n'ont pas été fabriqués à l'aide du même procédé ou avec le même matériau.
- Géométrie multi-angles. Certains spectrophotomètres permettent d'observer l'échantillon sous des angles variables. L'angle d'éclairage est fixe, mais les détecteurs sont placés à différents angles. Cette géométrie de la mesure est utile dans les procédures servant à évaluer les pigments à effet tels que les colorants métalliques et nacrés.

La zone d'application détermine la géométrie de mesure utilisée.

Les instruments de mesure avec géométrie angulaire ($45^\circ/0^\circ$) utilisent l'éclairage ciblé de l'échantillon à un ang-



Géométrie de mesure 45°/0°



Géométrie de mesure d/8°

le de 45° et mesurent la lumière réfléchiée par l'échantillon dans une direction à 0° (ou inversement à 0°/45°).

Les systèmes de mesure fonctionnant avec cette géométrie de mesure observent l'échantillon dans des conditions similaires à celles de l'observation naturelle chez un humain. Cela signifie que les mesures obtenues avec la géométrie angulaire (45°/0° ou 0°/45°) sont toujours recueillies en excluant la brillance ; cela se traduit donc par une correspondance plus proche de l'impression visuelle de l'œil. Cette géométrie est employée principalement dans le contrôle des couleurs pour les produits finis.

Les instruments de mesure utilisant la géométrie à sphère (d/8°) éclairent l'échantillon de manière diffuse et mesurent la lumière réfléchiée par l'échantillon dans une direction à un angle de 8° par rapport à la position verticale de l'échantillon.

Lorsqu'un instrument à géométrie à sphère est employé, la composante spéculaire peut être incluse ou exclue de la mesure. Le terme spéculaire signifie « effet miroir ». La réflexion spéculaire est régulière ; l'angle de réflexion est égal à l'angle d'incidence. La condition de mesure choisie dépend de votre objectif en ce qui concerne les différences entre les surfaces des échantillons. L'éclairage composante spéculaire incluse (SCI, Specular Component Included) dissimule les différences de surface. L'éclairage composante spéculaire exclue (SCE, Specular Component Excluded) les accentue.

Lorsqu'un objet est mesuré composante spéculaire incluse, la mesure comprend la totalité de la lumière réfléchiée quel que soit son angle. Une paire d'échantillons qui diffèrent uniquement à leur surface donnent des mesures SCI (composante spéculaire incluse) égales.

Une surface lisse reflète davantage de lumière aux angles spéculaires qu'une surface rugueuse. L'exclusion de la composante spéculaire à partir de la mesure d'un échantillon aux surfaces lisses rejette davantage de lumière que l'exclusion de la composante spéculaire d'une surface rugueuse. Les mesures de l'échantillon varient donc en fonction des différentes quantités de lumière exclues. Les surfaces peuvent toutefois refléter la lumière de façon régulière ou diffuse, de sorte que l'exclusion de la réflexion spéculaire n'exclut pas toute réflexion à la surface.

La géométrie d/8° est utilisée presque exclusivement dans des applications nécessitant des calculs de formulation des couleurs. La plupart des instruments fonctionnant avec la géométrie d/8° permettent également de mesurer le comportement en termes de transmission des échantillons transparents ou translucides.

Conclusion

Au cours de la dernière décennie, des avancées considérables ont été enregistrées dans le développement et la production de systèmes de mesure colorimétrique. Comparés aux instruments disponibles auparavant, les systèmes modernes d'aujourd'hui permettent des mesures fiables avec une exactitude et une précision plus élevées. Ils sont également plus petits, plus légers et plus rapides. Ils servent à mesurer différents types d'échantillons, offrent un traitement des données plus souple, sont faciles à utiliser et souvent moins coûteux que jamais.

Les dernières innovations techniques en matière de mesure colorimétrique permettent la communication avec les normes numériques ; ces instruments de mesure offrent donc un niveau de précision si élevé que pratiquement aucune déviation valable ne peut être détectée d'un appareil à l'autre.

Préparation des échantillons présentation des échantillons

Général

Les instruments de mesure colorimétrique sont des instruments scientifiques qui fournissent des résultats très précis et reproductibles. Lorsque vous utilisez ces instruments, assurez-vous que l'échantillon est correctement préparé et en parfait état. Si vous n'avez aucun contrôle sur les procédures de préparation et de présentation des échantillons, vous ne tirerez pas pleinement parti des avantages de l'utilisation d'un instrument de mesure colorimétrique.

Préparation des échantillons

La préparation des échantillons doit être cohérente. Pour évaluer des échantillons de couleur, tous les échantillons évalués doivent présenter les mêmes caractéristiques, sauf en ce qui concerne la couleur. Les échantillons doivent être préparés à l'aide des procédures et des équipements standard. Vous devez identifier toutes les variables du processus et prendre des mesures pour maîtriser chacune d'entre elles. L'instrument de mesure colorimétrique permet d'évaluer la cohérence de votre processus. La première étape consiste à définir les limites de répétabilité et de reproductibilité de votre système.

La répétabilité consiste à obtenir une cohérence de l'échantillon lors de sa préparation, en utilisant les mêmes matières premières ainsi que le même équipement et le même personnel. Une étude de répétabilité est simple à réaliser. Il suffit de produire le même échantillon à plusieurs reprises, avec le même personnel, au moyen des mêmes matières premières et des mêmes équipements. Les échantillons réalisés pour l'étude sont ensuite mesurés et comparés. La différence la plus marquée entre les couleurs calculée à partir de ces échantillons représente la meilleure performance que vous pouvez attendre de votre processus. Si vous n'êtes pas satisfait de la répétabilité, vous devez analyser chaque étape de la procédure de fabrication des échantillons. Vous devrez, par exemple, augmenter la taille du lot, ou nettoyer l'équipement après chaque lot et recalibrer régulièrement les machines que vous utilisez.

La reproductibilité de votre processus doit également être établie. Elle mesure la cohérence de l'échantillon obtenue lorsque vous modifiez un élément dans le processus de traitement de l'échantillon. Il est fréquent que des changements soient apportés aux matières premières, à l'équipement de traitement ou au personnel d'un lot

à l'autre. Dans une étude de reproductibilité, la même formule est utilisée pour réaliser une série d'échantillons. Pour chacune, il suffit d'effectuer une substitution et d'évaluer les différences de couleur entre les échantillons. Vous pouvez remplacer un lot de matières premières, un équipement ou un technicien. Il s'agit d'une méthode d'évaluation pratique car elle reflète vos conditions d'opération quotidiennes. Tout comme dans l'étude de répétabilité, il vous faudra peut-être modifier vos procédures afin d'améliorer la cohérence des couleurs d'un lot à l'autre. Au cours des deux phases de cette évaluation, vous pouvez utiliser votre instrument de mesure colorimétrique afin d'évaluer l'efficacité des modifications effectuées sur le processus.

Présentation des échantillons

Les échantillons doivent être présentés de manière uniforme à l'instrument afin d'assurer la qualité et la cohérence. L'idéal serait d'utiliser un échantillon plat, de couleur et texture uniformes. Inspectez toujours soigneusement la zone de l'échantillon qui sera observée par l'instrument. Les sources de variation peuvent inclure ce qui suit:

- Les impuretés présentes à la surface de l'échantillon. La surface doit être exempte de toute contamination. Les échantillons doivent être nettoyés de toutes traces de poussière, graisse ou dépôt. Les traces de doigts faussent souvent les mesures, notamment lorsqu'on travaille avec des échantillons brillants.
- La température et l'humidité. [L'instrument doit être installé dans une salle climatisée.](#) La température et
- l'humidité affectent généralement la qualité de la mesure. Certains pigments et colorants (notamment de couleur jaune, orange et rouge) sont thermochromatiques. [Ces échantillons changent de couleur lorsque la température de la surface évolue.](#) La température doit donc être constante lors de la mesure de ces échantillons. L'humidité influe également sur les résultats de mesure, surtout pour les échantillons textiles.
- La pression, l'épaisseur, les contraintes, les facteurs mécaniques, etc. Il est particulièrement important de présenter l'échantillon de manière précise pour la mesure des poudres (p.ex. le carbonate de calcium, le talc, etc.). L'humidité et la pression ont un grand impact sur la couleur obtenue lorsque ces matériaux sont comprimés.



Les recommandations suivantes vous aideront à obtenir un meilleur contrôle des variables dans la préparation et la présentation des échantillons.

- Établissez une méthode de préparation des échantillons répétable et reproductible.
- Mettez en place une procédure de présentation des échantillons à l'instrument.
- Sélectionnez des échantillons représentatifs. Rejetez les échantillons qui présentent des aberrations en termes d'apparence visuelle.
- Lorsque vous travaillez avec des surfaces non uniformes, vous pouvez réaliser plusieurs analyses et produire une mesure moyenne. La plupart des instruments de mesure colorimétrique peuvent être facilement configurés afin d'effectuer plusieurs mesures d'un seul échantillon.
- Documentez une procédure d'assurance de la qualité pour la préparation et la présentation des échantillons. Ces procédures doivent être adoptées et référencées par toutes les parties impliquées dans la chaîne d'approvisionnement.

Observations finales

Les systèmes d'évaluation colorimétrique mécanisés sont largement utilisés pour concevoir, fabriquer et contrôler la couleur du produit. Ces systèmes sont basés sur les principes fondamentaux de la science de la mesure des couleurs. Cependant, la perception des couleurs étant une expérience psychophysique, ces systèmes présentent certaines limites pratiques. L'association œil/cerveau est de loin supérieure à n'importe quel système informatique en termes de traitement et d'interprétation des données constituant la perception de la couleur. Un coloriste doit saisir toutes les subtilités de la science ainsi que les limites de l'application de l'interface instrument/machine afin d'évaluer l'acceptabilité des couleurs.

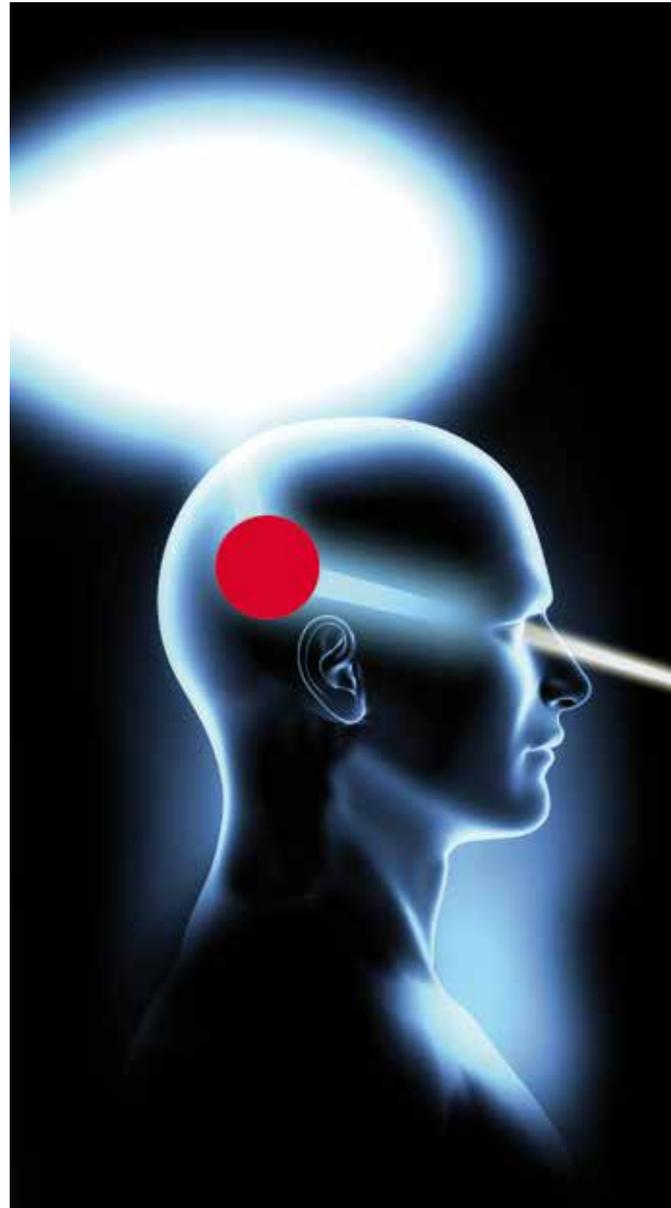
Pour utiliser efficacement les instruments de contrôle colorimétrique, vous devez contrôler minutieusement le processus servant à préparer et évaluer les échantillons. Si vous n'uniformisez pas vos outils, vos méthodes de traitement et de mesure, vous ne tirerez pas pleinement bénéfice de ces instruments.

- **Outils.** Sélectionnez soigneusement le matériel (instrument/système informatique), l'espace colorimétrique et les systèmes de tolérance colorimétrique à utiliser. Il est possible que vous deviez effectuer des sélections pour différents produits et/ou clients.
- **Traitement.** Vous devez donner des indications très précises concernant l'échantillon, les techniques de mélange, de traitement et de durcissement et la maintenance de l'équipement. Le processus doit être reproductible.
- **Mesure.** La surface de l'échantillon doit être uniforme et exempte de tout contaminant.

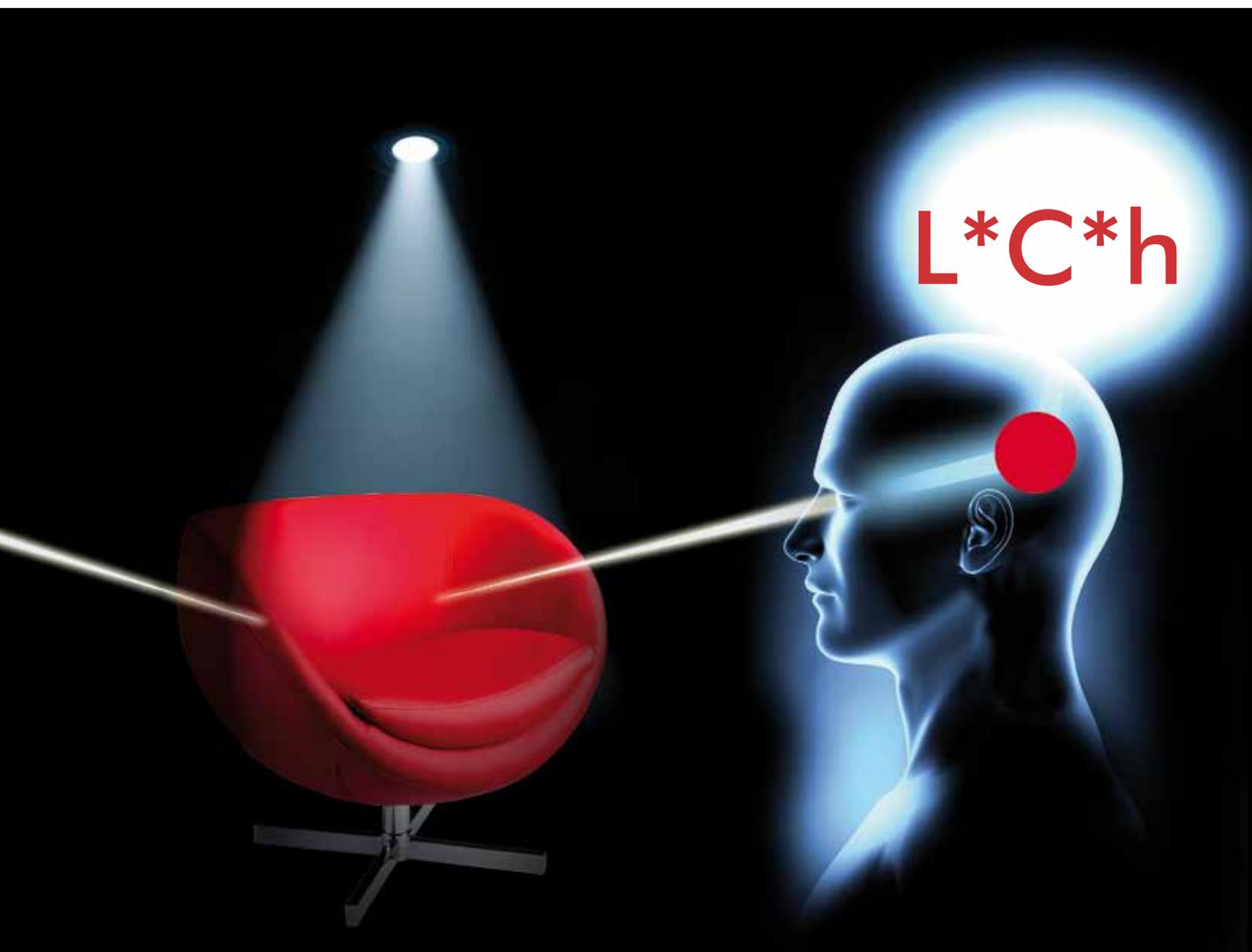
Une fois que vous avez établi ces normes, vous devez les utiliser de manière cohérente.

Enfin, vous devez également comprendre les limites de cette technologie. Les machines peuvent mesurer et calculer, mais ne peuvent rivaliser avec la puissance de l'association œil/cerveau pour évaluer une couleur. N'oubliez pas ces recommandations lorsque vous évaluez quantitativement des échantillons colorés :

- Observez sans cesse vos échantillons.
- Lorsqu'il existe un écart entre les évaluations numériques et visuelles, ne vous arrêtez pas à l'analyse DE afin de trouver une réponse. Si vous observez attentivement les composants de l'évaluation numérique, vous pouvez trouver la source de l'écart.



- Si vous ne pouvez pas confirmer l'évaluation visuelle au moyen de l'évaluation numérique, l'évaluation visuelle prévaut. L'utilisateur final n'accepte/ne rejette pas un produit coloré en fonction d'un ensemble de chiffres. Au bout du compte, ils examinent les échantillons pour décider de l'acceptabilité.



*La mesure colorimétrique
permet de communiquer*

Bien que la science de la mesure des couleurs ait fait passer la spécification, la fabrication et l'évaluation de la couleur de l'art à la science, les coloristes les plus chevronnés essaient en permanence de mieux saisir les subtilités de la science et les limites de l'application. Nous espérons que ce document a fourni un aperçu utile des outils fondamentaux de la colorimétrie et qu'il a permis de mieux comprendre l'application de cette technologie dans l'évaluation des produits colorés.

Liste de références

- Farbe sehen, Corinna Watschke, 01.2009 [www.planet-wissen.de],
- Farbmanagement in der Digitalfotografie (ISBN 3-8266-1645-6), 2006, Redline GmbH, Heidelberg
- Beschreibung und Ordnung von Farben, Farbmétrie, Farbmodelle, DMA Digital Media for Artists – Archiv 2006-2011, Kunstuniversität Linz, Gerhard Funk
- Messen – Kontrollieren – Rezeptieren, Dr. Ludwig Gall [www.farbmétrie-gall.de]
- Farbabstandsformeln, 2012, Fogra Forschungsgesellschaft Druck e.V. [www.fogra.org]
- Wikipedia, divers articles sur la couleur et la mesure de la couleur [<http://de.wikipedia.org/wiki/Farbe>]
- Diverses représentations de modèles de couleurs et d'espaces de couleurs [http://www.chemie-schule.de/chemieWiki_120]
- Praktische Farbmessung, Anni Berger-Schunn, 2. überarbeitete Auflage, 1994, Muster-Schmidt Verlag, Göttingen – Zürich
- Farbabstandsformeln in der Praxis, SIP 01.2011
- Schläpfer, K.: Farbmétrie in der grafischen Industrie, 3. Aufl. St. Gallen; UGRA 2002 (Tabelle S. 48)

Données de publication:

Editeur:

Datacolor, Inc. 5 Princess Road, Lawrenceville, NJ 08648, USA

Téléphone: 1-800-982-6497 | Fax: 609-895-7472 | marketing@datacolor.com | www.datacolor.com

Texte:

Gabriele Hiller, Hiller Direct Marketing, Stühren 41, 27211 Bassum, Allemagne

www.hiller-direct-marketing.de

Août 2019

© Copyright Datacolor. Tous les droits sont réservés

EUROPE

Datacolor AG Europe

6343 Rotkreuz

Téléphone: +41 44.835.3800

AMERICA

Datacolor Headquarters

Lawrenceville, NJ

Téléphone: +1 609.924.2189

ASIA

Datacolor Asia Pacific Limited

Hong Kong

Téléphone: +852 24208283