

CATEGORIE TECHNIQUE

Formation de Master en Sciences de l'Ingénieur

Industriel –Packaging

1^{ère} année.

Campus ULg – Sart Tilman

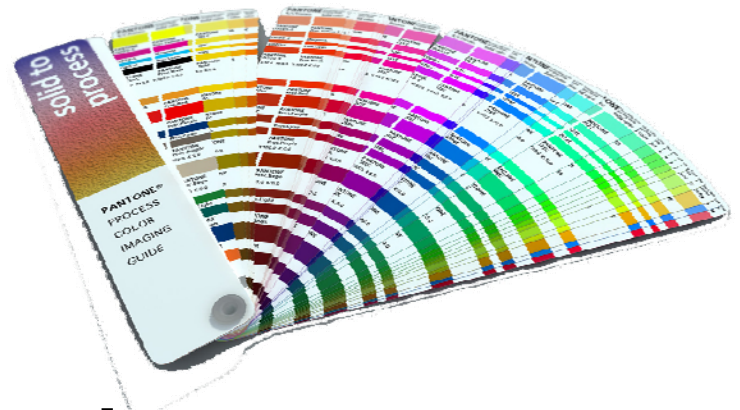
B5a(Physique) – bureau 4/57

6, Allée du 6 août, 4000 LIEGE

Tél. : 04 / 366 22 90

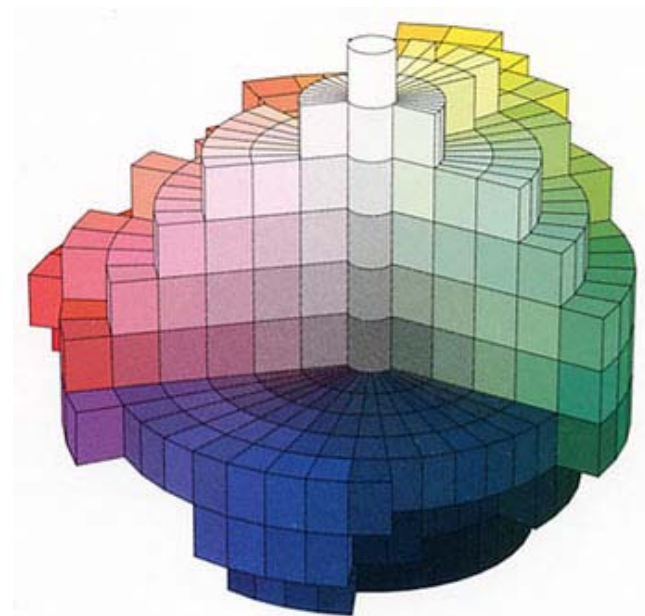
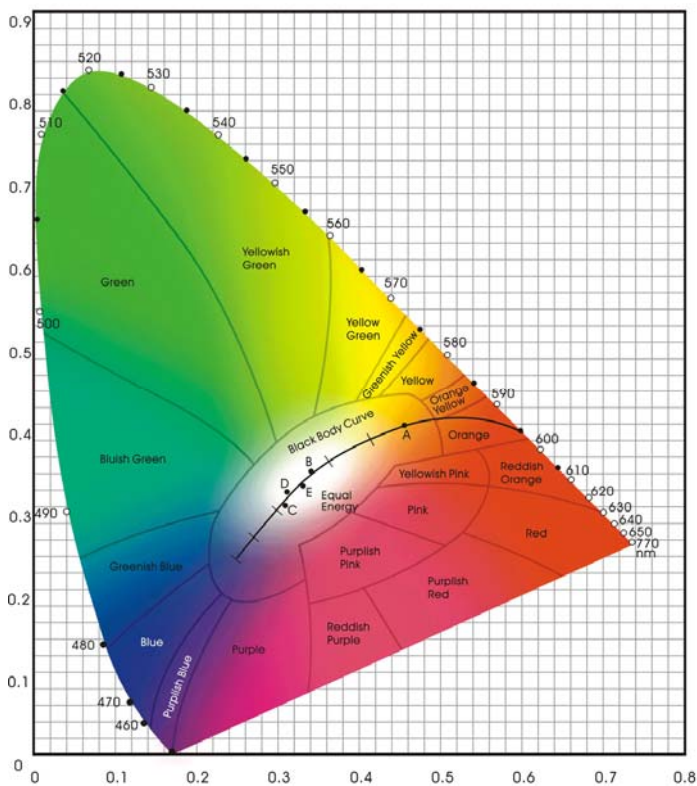
Email : secr.technique@hech.be

Website : www.isipack.be



Coloristique

2008-2009



Steve Gillet, D. Sc.

ChimieHE@yahoo.fr

<http://perso.latribu.com/shagar>

Coloristique.

4. Les colorants.

En colorimétrie, nous avons répété à plusieurs reprises que la couleur que nous percevions, d'un objet, dépendait de la combinaison du spectre de la lumière, de la courbe de facteur de diffusion ou de transmission de l'objet sur lequel la lumière tombe, et de la courbe de réponse spectrale de l'observateur. Nous le répétons une fois de plus, pour que nous ayons bien à l'esprit que la couleur est le fruit de trois facteurs, alors que, dans ce chapitre, nous n'allons considérer qu'un seul d'entre eux. En effet, nous considérerons que la source et l'observateur, sont deux constantes et n'examinerons que les substances utilisées pour modifier la courbe de facteur de réflexion ou de transmission d'un objet.

Nous désignerons ces substances par le terme général « colorant ». Nous ferons ultérieurement une distinction entre les teintures et les pigments, ainsi qu'entre les colorants chromatiques et achromatiques.

Teinture vs pigment.

Dans le passé, lorsque les choses étaient relativement simples, il était facile de faire la distinction entre une teinture et un pigment. Une teinture était une substance, soluble dans l'eau utilisée pour colorer des produits à partir de solutions aqueuses. Un pigment était une matière insoluble, sous forme de particules dispersées dans le milieu qu'il colorait. Bien que cette distinction soit toujours valable dans la plupart des cas, il existe de nombreuses exceptions, de sorte que des critères additionnels ont dû être imaginés pour faire une distinction entre ces deux types de colorants. Aucune définition n'est complètement satisfaisante, puisqu'un composé chimique donné peut être, soit un pigment, soit une teinture, en fonction de la façon dont il est utilisé. Dans les paragraphes suivants, nous allons examiner certains des critères les plus communs permettant de distinguer une teinture d'un pigment.

La solubilité.

Pendant de nombreuses années, il a été communément établi que les teintures sont solubles et les pigments insolubles. C'est généralement vrai : la plupart des teintures sont solubles dans l'eau. Il existe toutefois des exceptions, ou tout le moins, des cas limites.

Depuis un certain temps, dans le but de diminuer la pollution des eaux, l'industrie textile utilise parfois des bains de teinture à base de solvants. Dans ce cas, à l'exception qu'un solvant organique est substitué à l'eau, le critère de solubilité est satisfait, le solvant utilisé servant seulement à assurer un contact intime entre la teinture et le matériau devant être coloré.

Par contre, les pigments sont toujours insolubles dans le milieu dans lequel ils sont utilisés : tout caractère soluble est considéré comme un défaut dans l'industrie utilisant des pigments.

La nature chimique.

Une autre distinction traditionnelle entre pigment et teinture était que les teintures étaient des substances organiques, alors que les pigments étaient des substances inorganiques. Cette situation a évolué avec le temps. Si le nombre de teintures inorganiques est toujours pratiquement nul, il n'en va pas de même des pigments organiques, dont le nombre ne cesse de croître. Il est donc toujours vrai que la plupart des teintures sont organiques, mais il n'est plus exact que la plupart des pigments sont inorganiques.

La transparence.

Une autre distinction provient de l'utilisation de pigments ou de teintures pour colorer les polymères. Les colorants qui se dissolvent dans une résine et qui donnent donc un mélange transparent, sont appelés teintures, alors que les pigments, qui ne se dissolvent pas, mais diffusent la lumière, donnent un matériau trouble, translucide ou opaque.

Cette distinction est valable dans la plupart des cas, mais plusieurs pigments organiques (et quelques inorganiques) peuvent être si bien dispersés que la résine colorée qui en résulte, est pratiquement transparente. Dans plusieurs cas, il y a si peu de diffusion qu'il est impossible, à partir d'un simple examen visuel, de déterminer si le plastique est coloré avec une teinture soluble dans la résine, ou avec un pigment très dispersé.

Pour arriver à un tel degré de transparence, il est nécessaire, dans la plupart des cas, qu'outre une excellente dispersion, la résine et le pigment possèdent des indices de réfraction similaires. Avec des pigments organiques, cette condition est remplie. Quelques pigments inorganiques, tels que l'oxyde de fer, sont constitués de particules tellement petites qu'ils ne diffusent pas la lumière visible et sont dès lors transparents.

A contrario, une bonne opacité est obtenue plus facilement en utilisant un pigment dont l'indice de réfraction est très différent de celui de la résine. Les substances organiques sont donc en général des pigments à faible pouvoir opacifiant, à cause de leur indice de réfraction trop proche de celui de la résine, et ce, malgré leur insolubilité. Dans ce dernier cas, les particules du pigment organiques doivent être assez grandes pour permettre une bonne diffusion de la lumière.

Présence d'un liant.

Une dernière distinction, peut-être celle qui possède la plus grande validité et qui donne le moins lieu à des exceptions, est basée sur le mécanisme par lequel le colorant est fixé au substrat. Si le colorant a une affinité pour le substrat (textile, papier, etc.) et va devenir une partie de la matière colorée, sans nécessité d'un liant intermédiaire, on considère un tel colorant comme étant une teinture. Cette affinité pour le substrat permet de distinguer clairement les teintures des pigments. Les pigments n'ont pas d'affinité pour le substrat et requièrent un liant pour qu'ils se fixent au substrat. Un pigment appliqué à une surface, sans liant, n'adhèrera pas à cette surface.

Les teintures, quelles qu'elles soient, ne nécessitent pas de liant pour adhérer au matériel coloré (même si dans certains cas, un liant est utilisé lors de l'étape de fixation, au final, sa présence n'est plus nécessaire dans le cas d'une teinture).

D'un autre côté, les pigments doivent être incorporés à un liant pour être attaché au substrat, comme dans un film de peinture sur le mur d'une maison, par exemple. Dans le cas d'un plastique, qui est entièrement coloré par dispersion d'un colorant dans la résine, nous considérons le plastique lui-même, comme étant un liant, alors que si une teinture soluble est utilisée, nous considérons ce même plastique comme le substrat.

Résumé.

Il est évident que les critères que nous venons de discuter sont tous en accord, la plupart du temps. La majeure partie du temps, les mêmes colorants seront solubles, organiques, transparents et ne requerront aucun liant dans un système donné. Ils seront dès lors appelés teintures.

Colorants spéciaux : fluorescents et métallisés.

Les colorants fluorescents comprennent les blanchissants fluorescents et les pigments et teintures fluorescents chromatiques. Toutes ces substances absorbent la lumière à une longueur d'onde et réémettent une partie de celle-ci à une longueur d'onde plus élevée. Les blanchissants fluorescents absorbent des radiations ultraviolettes (< 380nm) et réémettent dans la région du visible. Pour cette raison, la quantité de lumière à la longueur d'onde d'émission peut excéder 100 % de la lumière incidente à cette longueur d'onde. C'est la conversion de radiations invisibles en lumière visible qui donne aux agents blanchissants fluorescents la capacité de faire paraître un matériel « plus blanc que blanc ». L'explication en est qu'un tel matériel est capable d'irradier plus de lumière visible qu'il n'en tombe dessus, le rendant plus lumineux qu'un matériel non fluorescent, qui ne peut, au mieux, que réfléchir toute la lumière visible qui tombe sur lui. Pour obtenir cet effet, la source de lumière

doit contenir de l'énergie aux longueurs d'ondes appropriées, dans le domaine de l'ultraviolet, pour exciter les molécules, qui vont réémettre dans le visible. En absence du spectre adéquat, on ne peut obtenir de fluorescence. Il est évident qu'il ne peut être réémis, par un échantillon, plus de radiation qu'il n'en tombe sur lui.

La réémission des agents blanchissants fluorescents se situe dans la région bleue du spectre. Puisque les textiles souillés sont habituellement jaunâtres, la quantité de lumière bleue absorbée par le jaune est remplacée par la lumière bleue réémise. De la même façon, les agents blanchissants fluorescents peuvent diminuer l'aspect jaunâtre des résines.

Il est important de se rappeler qu'une source de lumière spéciale, contenant la quantité adéquate d'ultraviolet est nécessaire. La lumière du jour, aussi bien que plusieurs lampes fluorescentes populaires, contiennent suffisamment d'UV pour exciter les colorants fluorescents, mais en des quantités qui peuvent différer fortement d'une source à une autre.

Les matières « blanchies » de cette manière ne peuvent être mesurées correctement, excepté avec une source de lumière de spectre adéquat pour donner l'effet visuel désiré. Ce que nous avons vu, jusqu'à présent, sur la mesure des couleurs n'est donc pas d'application pour les éléments fluorescents.

Une autre classe de matériaux, les pigments métallisés, comme par exemple, l'aluminium utilisé dans les peintures métallisées, est fortement dépendante de la géométrie d'illumination et d'observation. Ces conditions doivent être spécifiées avec précisions pour l'examen visuel des peintures ou polymères contenant ces pigments. De l'équipement spécial est également nécessaire pour la mesure de la couleur de tels objets.

Sélection du colorant à utiliser.

La capacité à sélectionner les colorants appropriés, pour une utilisation spécifique, est bien plus importante, pour un utilisateur de pigments et de teintures, que la compréhension de leur chimie, ou de leurs autres propriétés. Nous ne pourrons, ici, qu'esquisser les prémices de ce problème, mais au moins aurons-nous au final une petite idée sur ce sujet.

Sources d'information.

Il y a trois sources majeures d'information sur la sélection des colorants.

Personnel expérimenté.

Le personnel le plus ancien, le plus expérimenté, du laboratoire ou de l'usine, représente souvent la meilleure source d'information sur le choix des colorants.

Malheureusement, cette situation peut également servir à perpétuer les mythes qui ont cru dans cette usine ou ce groupe de personnes.

Les fournisseurs de colorants.

Une source importante d'information pour la plupart des gens, est le fournisseur de colorants. Leur information est disponible via le web, des catalogues, ou même via le contact direct avec un représentant de la compagnie. Bien qu'il y ait un biais commercial dans les informations fournies, admettons-le, il peut être facilement identifié et pris en compte, et ce, même avec peu d'expérience. Habituellement leurs méthodes de test sont conformes aux standards internationaux (ISO, ASTM), ce qui permet une comparaison aisée d'une compagnie à une autre.

Les livres et périodiques.

Si les livres et les périodiques consacrés aux teintures et aux pigments sont relativement rares (comparés à ceux consacrés à la chimie), ils n'en sont pas moins souvent d'excellente qualité. Malheureusement, les informations qui y sont disponibles sont souvent les mêmes que celles qui peuvent être obtenues des fournisseurs (avec peut-être un peu plus d'objectivité).

L'expérience de l'utilisateur.

A mesure que le coloriste gagne de l'expérience, ses propres connaissances vont prendre le pas sur n'importe quelle source d'information. Il doit en être ainsi, puisqu'il est le seul à travailler dans les conditions exactes d'application dans son usine. Cela dit, si l'expérience d'un coloriste, relative à un problème particulier, est contraire à l'expérience générale, il convient de réexaminer cette question. Il se peut en effet, que quelque chose n'ait pas été fait correctement et, dans ce cas, des consultations fréquentes avec le fournisseur de pigments ou de teintures, peut être d'une grande aide. Cette remarque est également vraie lorsque, le protocole étant suivi « à la lettre », les résultats diffèrent pourtant de ce qui était prédit par le fournisseur du colorant impliqué.

Principes généraux dans le choix des colorants.

Dans la plupart des cas, le type de colorant à utiliser est dicté par la nature de la matière à colorer. Plus encore, c'est habituellement décidé par une autre personne que le coloriste dans le laboratoire. Chaque classe de textile, chaque type de plastique et chaque sorte d'encre ou de peinture, a ses propres nécessités.

Une des principales tâches du coloriste, dans l'industrie, est d'obtenir suffisamment d'informations de ses supérieurs et des vendeurs, pour sélectionner, de manière rationnelle, la méthode de coloration à utiliser, lorsqu'un choix est possible. Le recours aux sources d'information évoquées précédemment, donnera, en général, une réponse préliminaire au coloriste. Dans le cas où il faut choisir entre une teinture et un pigment, la décision peut être basée sur des aspects économiques, de disponibilité ou d'équipement, ou encore suivant des considérations d'ingénieries.

Il devrait apparaître, après cette longue discussion sur les colorants et la comparaison entre pigments et teintures, qu'il n'y a en fait, que peu de choix, entre eux.

La couleur en tant que matériel d'ingénierie.

Propriétés d'ingénieries des colorants.

Considérons les choix disponibles pour un designer, qui est appelé à spécifier le matériel et les colorants, pour un objet spécifique devant être coloré. Idéalement, il voudrait avoir une liberté illimitée à la fois au niveau des matériaux de construction et des couleurs. Cette situation idéale, n'est malheureusement jamais réalisée et le coloriste interprétant les demandes du styliste, peut immédiatement dresser une série de limitations dans lesquelles le projet devra s'inclure. Ces limitations comprendront, entre autre, des considérations de prix de colorants, de méthodes de coloration et de solidité du produit.

La capacité à être coloré d'un matériau est donc l'une des nombreuses propriétés, qu'il convient de considérer lors de sa sélection pour un travail particulier. Bien entendu, l'importance qui peut être placée dans le facteur « colorabilité » varie fortement d'un cas à l'autre. Dans de nombreux cas, le choix du matériau n'est pas libre et le coloriste doit alors faire du mieux qu'il peut. Dans ce dernier cas, il lui est quand même souvent loisible de choisir la méthode de coloration. Plus le choix de la couleur intervient tard dans la fabrication, plus le producteur dispose d'une grande flexibilité. Par contre, plus tôt le choix de la couleur intervient dans la fabrication, plus importants sont le contrôle et l'uniformité qui en résultent. Ces deux extrêmes sont rencontrés dans l'industrie.

Avec tant de paramètres dont il faut tenir compte dans le monde industriel, le choix du colorant et de la méthode de coloration est, habituellement, un compromis entre les désirs du designer et le monde réel des colorants disponibles et des considérations économiques qui gouvernent la coloration de l'objet en question. Dans un monde idéal, il n'y aurait pas de restrictions dues au coût, et il y aurait des colorants disponibles pour chaque teinte, dans chaque substrat au niveau de solidité désiré. Mais malheureusement, cette situation n'existe pas. Pour cette raison, le coloriste, qui doit adapter les projets des

designers au monde réel de l'industrie, doit disposer, lors de la planification de la couleur, d'une liste complète des propriétés d'ingénierie qui sont nécessaires.

Gammes de couleurs.

Une gamme de couleurs représente l'ensemble des couleurs perceptibles, qui peuvent être obtenues dans des conditions déterminées. Elle est le fruit de limitations qui peuvent être discutées en terme de système CIE. Par ordre croissant de sévérité, il y a :

1. Les limites de toutes les couleurs réalisables, comme indiquées par le lieu spectral du diagramme de chromaticité CIE.
2. Les limites de toutes les couleurs possibles, ayant un coefficient de luminosité donné (valeur Y), comme défini par les limites de MacAdam (figure 4.1.).

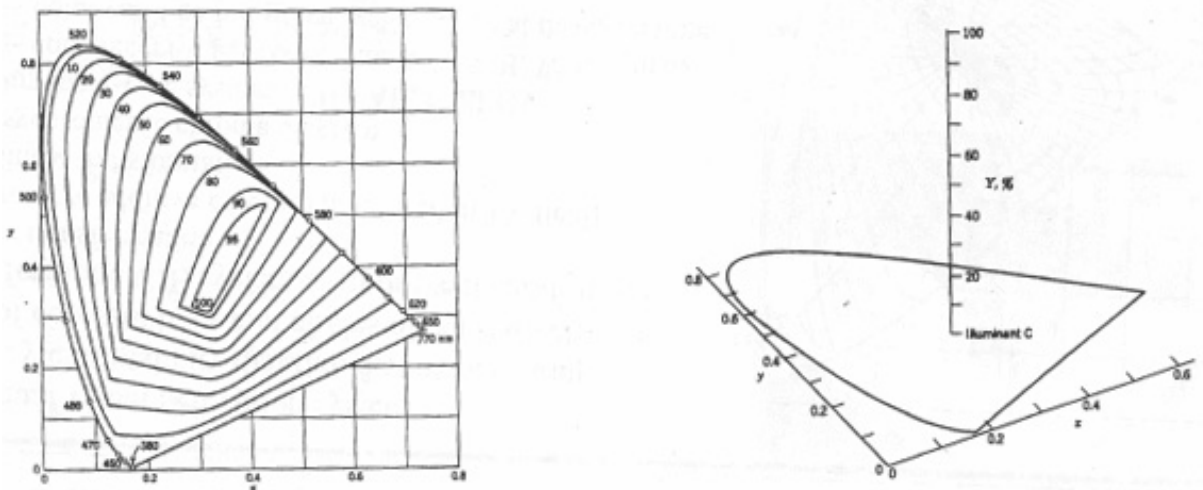


Figure 4.1. : Limites de MacAdam : définissent toutes les surfaces possibles, possédant des couleurs de coefficient de luminosité donné.

3. Une limitation supplémentaire provient du fait que, même les couleurs les plus foncées reflètent un peu de lumière, indépendamment du degré d'absorption. Cette quantité de réflexion varie avec le « brillant » et peut varier de teinte en teinte. Elle peut représenter approximativement 4 % de la lumière incidente. Lorsque cette correction est appliquée, on obtient une nouvelle série de limites.
4. Les limitations dictées par les propriétés et réactivités du substrat, ainsi que les performances requises pour le matériau au terme de sa fabrication, contribuent également à limiter la gamme de couleurs disponibles, mais d'une façon qu'il n'est pas aisé de calculer, contrairement aux trois premiers paramètres décrits.
5. Il faut également tenir compte du fait qu'en pratique, on travaille à réaliser physiquement des couleurs, à partir des matières colorantes existantes, ce qui

habituellement, résulte en une limite encore plus petite que celle qui est théoriquement réalisable (figure 4.2.).

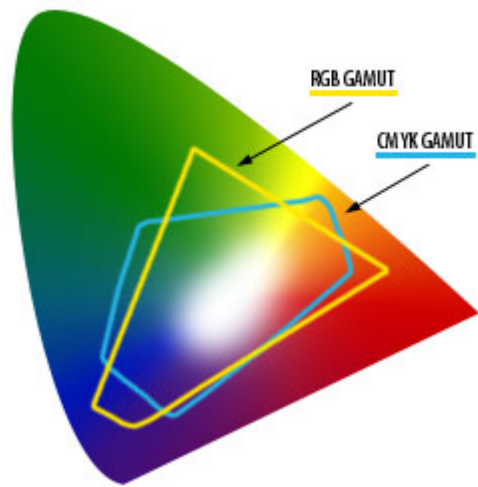


Figure 4.2. : Gammes RGB et CMYK :

ces deux gammes sont sans doute parmi les plus connues des infographistes. La gamme RGB (rouge/vert/bleu) correspond aux couleurs qu'il est possible d'obtenir avec un moniteur, alors que la gamme CMYK (cyan, jaune, magenta, noir) correspond aux couleurs que l'on obtient avec une imprimante. La première correspond donc à des mélanges de lumières et la seconde à des mélanges de matière.

6. La dernière limitation réside dans le fait que seuls certains colorants, parmi ceux disponibles pour chaque problème, sont économiquement rentables. Si nous pouvions ignorer ce point, cela augmenterait considérablement le nombre de matières colorantes qui pourraient être utilisées pour n'importe quelle substance. Malheureusement, les conditions financières ne peuvent être ignorées et le coût d'obtention de certaines couleurs est de loin trop substantiel. Cela diminue donc à nouveau le nombre de colorants pouvant être utilisés et la gamme résultante se trouve encore réduite.

La sélection des colorants.

La sélection d'un colorant est toujours le fruit d'un compromis entre les propriétés désirées par le designer et le coût nécessaire pour donner la bonne teinte, la bonne saturation et la bonne luminosité à un objet. Il y a peu de colorants qui conviennent à tous les matériaux et ceux qui le sont, sont rarement les plus avantageux au niveau du prix. Il faut également souligner que tous les colorants sont des substances chimiques et qu'en tant que telles, ils réagissent plus ou moins avec les autres substances chimiques. Ce qui peut paraître n'être qu'une modification mineure au niveau de l'ajout d'un additif, par exemple, peut se révéler avoir une impacte majeure lorsque entre en jeu le colorant. Un matériau adapté à une formulation, par exemple, peut se révéler totalement inadapté si la résine et les catalyseurs d'un autre fournisseur sont utilisés. Il est donc important de toujours réfléchir sur l'ensemble du système plutôt que sur un colorant spécifique ou un certain matériau seul. Tout ce qui est ajouté au système peut l'influencer dans sa totalité. Ainsi, outre les paramètres dont nous avons parlé lors de la construction des gammes, il convient d'ajouter,

lors du choix du colorant, des facteurs tels que la réactivité de ce colorant, sa résistance à la lumière, au lavage et à d'autres traitements, sa stabilité aux températures élevées, sa facilité d'incorporation ou d'utilisation et, surtout, son coût.

5. La coloration en industrie.

Ce chapitre concerne le travail que doit effectuer un coloriste industriel, la personne responsable de produire les matériaux, dont la couleur correspondra à un échantillon physique, ou à la description verbale que lui en fera une autre personne. Il sera conscient que la couleur perçue est un phénomène qui peut être approximativement décrit par une combinaison de spectre de lumière, courbe de facteur de réflexion ou de transmission d'un objet, et courbe de réponse spectrale de l'œil d'un observateur. Il réalisera également que de tous ces paramètres, il ne peut en modifier qu'un seul, puisqu'il n'a pas d'influence sur la source de lumière qui sera utilisée pour illuminer l'objet et encore moins sur la réponse spectrale d'un œil. Son travail consistera donc à utiliser des colorants, que nous venons de classer en pigments et teintures dans le chapitre 4, pour modifier la courbe de facteur de réflexion ou de transmission de l'objet, jusqu'à ce que la couleur désirée soit obtenue.

Notre coloriste doit également être attentif au fait qu'il change plus que la couleur perçue de l'objet. Beaucoup d'autres propriétés du matériau doivent être modifiées et contrôlées si l'on veut que l'article final soit fonctionnel. Certaines de ces propriétés sont influencées par les colorants utilisés, ce qui peut résulter en diverses limitations, qui doivent être bien identifiées. Cet aspect d'ingénierie du processus de coloration a été partiellement discuté dans le chapitre précédent.

Lois des mélanges de couleurs.

Si l'on veut espérer pouvoir retrouver une couleur en mélangeant des colorants et si le coloriste veut pouvoir déduire quelque chose des résultats obtenus en faisant de tels mélanges, il faut que certaines lois de mélange de couleurs existent et soient raisonnablement respectées. C'est le cas et, même si ces lois sont assez complexes, dans certains cas, elles fournissent à la fois la base qualitative de la compétence du coloriste à pouvoir retrouver une couleur, mais aussi la base quantitative des techniques de calcul, qui peuvent aider ce même coloriste dans de nombreux cas. Nous allons jeter un œil à ces lois avant de considérer les techniques de concordance de couleurs en détail.

Mélange additif.

Le type de mélange de couleurs, qui est peut-être le plus simple, en terme d'actions physique, ne fait pas intervenir de mélange de colorants, mais plutôt le mélange de lumières

colorées. Ce peut être réalisé de différentes façons. Des lumières colorées de différentes lampes peuvent être superposées sur un écran blanc. La couleur réfléchi sur, ou traversant, différentes portions colorées d'un disque qui tourne, peut donner la sensation d'une seule couleur. Finalement, une autre alternative consiste à mettre des points colorés tellement proches les uns des autres, qu'à une certaine distance, l'œil ne soit pas capable de les distinguer (comme dans les téléviseurs cathodiques). Dans les deux derniers cas, l'addition des couleurs se déroule au niveau de l'esprit et l'observateur et doit donc être un effet psychologique ou physiologique ; quoiqu'il en soit, le résultat est le même que lorsque des lumières colorées sont directement additionnées sur un écran blanc.

Comme nous l'avons décrit dans le chapitre 2, une grande variété de couleurs peut être réalisée par mélange additif de lumières à partir de trois lampes. Par commodité, nous appellerons le choix le plus pratique de couleurs pour ces lampes « couleurs primaires » pour mélange additif, ou encore « primaires additives ». Il s'agit du rouge, du vert et du bleu. Elles n'ont rien de magique, ou d'unique, si ce n'est qu'elles permettent d'obtenir une plus grande variété de couleurs par mélange, que n'importe quel autre choix. Un mélange de rouge et de vert donne du jaune, un mélange de vert et de bleu donne du cyan et un mélange de rouge et de bleu donne du pourpre ou du magenta. Si les trois primaires sont correctement choisies et mélangées, dans les bonnes proportions, elles s'additionnent pour donner du blanc, ou dans le cas de lumières réfléchies, du gris clair. L'action de ces primaires est représentée à la figure 5.1.

Comme le système CIE a été dérivé d'expériences de mélange de lumières colorées, le résultat d'un tel mélange peut être très facilement déterminé avec l'aide d'un diagramme de chromaticité CIE x, y . Il faut, dans un premier temps, spécifier la couleur des lumières par leurs coordonnées x, y et Y . Cela fait, Grassmann a montré que la luminosité (Y) d'un mélange de lumières est la somme des luminosités de chacune d'elles, quels qu'en soient les spectres. Les lois de Grassmann montrent également que, sur un diagramme de chromaticité, la chromaticité (coordonnées x et y) d'un mélange de deux lumières se trouve sur le segment de droite reliant les chromaticités des deux primaires utilisées. Avec trois primaires, toutes les couleurs se trouvant à l'intérieur du triangle formé en reliant les chromaticités des trois primaires, peuvent être produites. La raison pour laquelle le rouge, le vert et le bleu ont été choisis comme couleurs primaires additives devient dès lors évident : ils forment le triangle le plus grand qui puisse être inclus dans le diagramme de chromaticité et permettent donc la formation de plus de couleurs que n'importe quel autre choix.

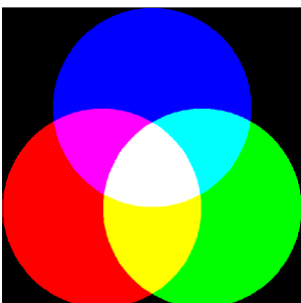


Figure 5.1. : Mélange additif (sensations) : Les primaires additives rouges, vert et bleu peuvent s'additionner pour donner du magenta, du jaune, du cyan et du blanc, par exemple.

Mélange soustractif simple.

Tout comme le terme mélange additif est descriptif du processus d'addition de lumières colorées, le mélange soustractif se réfère à l'enlèvement, par un objet, d'une partie de la lumière provenant d'une source. Les façons dont cette lumière peut être enlevée comprennent l'absorption et la diffusion. Nous appellerons le cas qui n'inclut que l'absorption, sans diffusion « mélange soustractif simple » et nous appellerons la situation plus complexe, où il y a à la fois absorption et diffusion « mélange soustractif complexe ». Nous parlerons de ce dernier cas ultérieurement.

Les primaires les plus utiles pour les mélanges soustractifs sont le jaune, le cyan et le magenta. L'action de ces primaires est représentée à la figure 5.2.

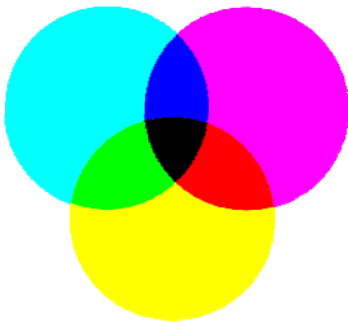


Figure 5.2. : Mélange soustractif (matière) : Les primaires soustractives magenta, jaune et cyan peuvent s'additionner pour donner du rouges, du vert, du bleu et du noir, par exemple.

Le vert résulte du mélange de jaune et de cyan, le bleu du mélange de cyan et de magenta et le rouge du mélange de magenta et de jaune. Lorsque les primaires soustractives sont balancées en couleur et en quantité, leur mélange absorbe toute la lumière provenant de la source, produisant, bien entendu, du noir. La relation entre les mélanges additifs et soustractifs est joliment illustrée par l'arrangement en « roue chromatique » illustré à la figure 5.3. Chaque primaire additive a une primaire soustractive comme couleur complémentaire, se trouvant directement à l'opposé sur la roue.

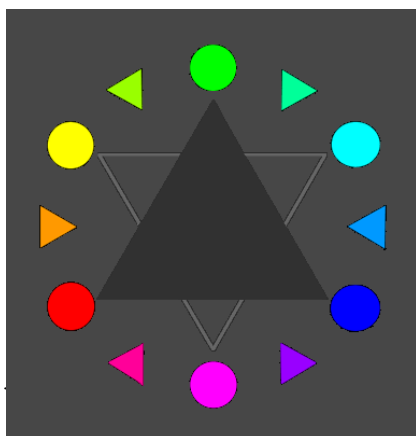


Figure 5.3. : Roue chromatique : La complémentaire de chaque couleur primaire additive est une couleur primaire soustractive.

Le mélange soustractif simple est largement utilisé en photographie et pour la teinte des plastiques transparents.

La prédiction des couleurs résultant du mélange soustractif simple de colorants est plus complexe que dans le cas des mélanges additifs. La loi fondamentale du mélange soustractif simple est la loi de Beer, qui est plus complexe que les lois de Grassmanns, parce qu'elle ne s'applique qu'à une seule longueur d'onde à la fois (cfr. page 8). Pour calculer la couleur résultant du mélange soustractif simple, il faut donc appliquer la loi de Beer au maximum de longueurs d'onde à travers tout le spectre pour obtenir la courbe de transmission spectrale du mélange et obtenir les coordonnées CIE par les techniques d'intégration décrites dans le chapitre 2. Pour cette raison, les courbes de transmission des primaires soustractives ont une influence importante sur les couleurs résultant d'un mélange soustractif.

Heureusement, avec l'aide de l'informatique, les calculs de la loi de Beer, puis les intégrations subséquentes, nécessaires à la prédiction des couleurs résultant d'un mélange soustractif, ne posent plus le moindre problème.

Mélange soustractif complexe.

Le type le plus commun, et malheureusement, le plus complexe de mélange de couleur que nous rencontrons est celui pour lequel les colorants, non seulement absorbent la lumière, mais la diffusent également. Comme diffusion et absorption interviennent toutes deux dans ce phénomène, ces deux paramètres sont pris en compte dans les lois régissant le mélange soustractif complexe. Les équations mathématiques qui correspondent à ces lois sont bien trop complexes que pour être décrites dans le cadre de ce cours. Par contre, nous pouvons décrire des équations simplifiées, qui en fournissent une bonne approximation. Les plus utilisées de ces équations simplifiées, sont celles de Kubelka et Munk. Le cas que nous allons envisager, le plus simple, consiste en un échantillon totalement opaque.

Plusieurs des principales suppositions dans le traitement de Kubelka-Munk sont les suivantes :

1. Il doit y avoir suffisamment de diffusion pour que la lumière à l'intérieur de l'échantillon soit entièrement diffuse. Ce qui est habituellement vrai pour les textiles et les films ou plastiques peints, qui sont complètement opaques.
2. Il n'y a pas de modification d'indice de réfraction entre les différentes couches de l'échantillon. Cette condition est remplie dans certains cas, mais ne l'est pas pour la plupart des mélanges communs de pigments. Saunderson a toutefois réussi à

modifier les équations de Kubelka-Munk pour inclure les effets dus aux modifications d'indice de réfraction aux interfaces.

3. Comme c'est le cas pour la loi de Beer, décrite dans le mélange soustractif simple, Les calculs avec les équations de Kubelka-Munk doivent être réalisés à chaque longueur d'onde du spectre.

Les équations de Kubelka-Munk forment les bases de pratiquement tous les calculs d'appariement de couleurs dans les systèmes opaques. Un travail de préparation considérable est nécessaire avant de pouvoir utiliser efficacement les équations de Kubelka-Munk. Il doit être établi que le système de production de la couleur est complètement sous contrôle et que les colorants suivent les lois de mélange dans le système utilisé. L'établissement de ces faits et la détermination de toutes les valeurs nécessaires de K et S, les coefficients d'absorption et de diffusion de Kubelka-Munk, pour chaque colorant, à de nombreuses longueurs d'onde, requièrent de nombreuses et rigoureuses préparations et analyses d'échantillons.

Les couleurs résultant d'un mélange soustractif complexe, sont déterminées, d'une façon générale, par des calculs similaires à ceux des mélanges soustractifs simples. Des calculs basés sur les équations de Kubelka-Munk sont réalisés à travers le spectre, pour donner une courbe spectrale de facteur de réflexion, et sont suivis par une intégration pour obtenir les coordonnées CIE correspondantes.

La gamme de couleurs qu'il est possible d'obtenir par mélange soustractif d'un petit nombre de pigments colorés est bien plus limitée que celle résultant d'un mélange additif ou soustractif simple. Il est dès lors nécessaire de disposer de beaucoup de pigments colorés pour pouvoir obtenir une grande gamme de couleurs si on envisage le cas de mélanges soustractifs complexes.

Appariement de couleurs.

La première fonction d'un coloriste industriel est de préparer un matériau coloré qui réponde aux exigences de son industrie, ce qui peut correspondre à réaliser les vœux d'un designer, ou à "copier" un produit concurrent. Le travail du coloriste consiste à sélectionner les colorants appropriés et à ajuster leurs quantités jusqu'à ce qu'un résultat satisfaisant soit obtenu.

En industrie, le processus de détermination, de la quantité adaptée du colorant désiré, est divisé en deux étapes :

1. La préparation d'un premier essai d'appariement, qui, en pratique, peut inclure la sélection des colorants.

2. L'ajustement de cet appariement pour qu'il soit adapté au processus standard (passage de l'échelle du laboratoire à l'échelle de production, par exemple), ou pour maintenir l'uniformité du produit coloré.

Puisque les techniques, comme les objectifs, de la formulation initiale et de l'ajustement subséquent, sont relativement différents, nous les considérerons séparément. Il est, plus que tout, important de donner à la sélection des colorants, l'importance qu'elle mérite et qui est malheureusement trop souvent bâclée.

Types d'appariement.

Avant de préparer un appariement de couleur, la première question à poser, est de savoir si les deux échantillons devront être identiques pour tous les observateurs, sous tous les types de sources lumineuses. Comme nous l'avons vu dans le chapitre 1, si tel est le cas, cela nécessite que les deux objets aient des courbes de facteur de réflexion identiques, ou presque. On appelle ce type d'appariement un appariement invariable.

Appariements invariables.

La condition *sine qua non*, que deux objets doivent avoir des courbes spectrophotométriques identiques pour former un appariement invariable, est sévère, mais O combien vraie ! Cela nécessite différentes choses.

La première de toutes, l'appariement doit être réalisé avec des colorants identiques à ceux utilisés dans l'échantillon qui doit être apparié. Ceci nous conduit directement à la question de savoir comment identifier ces colorants et ce point sera abordé ultérieurement.

Deuxièmement, principalement à cause des limitations liées aux propriétés des colorants, le même type de matériau doit être coloré. Il est par exemple, presque impossible qu'un tissu teinté puisse être formulé de sorte qu'il soit un appariement invariable d'un film pigmenté. Un appariement proche peut être obtenu, mais, comme il est nécessaire d'utiliser des colorants différents et que les propriétés optiques du tissu et du film sont différentes, un appariement invariable ne peut être obtenu (à moins d'un miracle).

Troisièmement, un processus de coloration identique, ou au moins très semblable, doit être mis en œuvre. Ceci est particulièrement important dans les appariements soustractifs complexes, où la couleur d'un pigment dépend de sa dispersion dans le milieu dans lequel il est utilisé. D'autres aspects, comme le « brillant » peuvent être de grande importance.

Finalement, si des instruments doivent être utilisés comme aide à la formulation d'appariements invariable, il sera nécessaire d'utiliser un spectrophotomètre plutôt qu'un colorimètre.

Même si un véritable appariement invariable ne peut être réalisé, il est possible, par une sélection judicieuse de colorants, de produire une couleur qui sera appariée lorsque les échantillons seront soumis à de nombreuses sources de lumières communes. Cela peut constituer un substitut satisfaisant à un appariement spectral exact. Pour arriver à un tel appariement, il est habituellement nécessaire d'utiliser un nombre assez important de colorants pour rapprocher au maximum les deux courbes spectrales. Des appariements de ce type peuvent être bien plus complexes à reproduire en production, à cause du nombre plus important de variables devant être contrôlées.

L'appariement des couleurs dans différents matériaux est un grand défi pour les coloristes et la fréquence avec laquelle ils y parviennent est la récompense à leur talent.

Appariements conditionnels.

Dans les nombreux cas où un appariement invariable ne peut être obtenu, il est nécessaire, pour le coloriste, de se contenter d'un appariement proche, dans un nombre limité de conditions de vision et d'illumination. Nous définissons cela comme un appariement conditionnel. Certaines des raisons pour lesquelles un appariement invariable ne peut toujours être obtenu ont déjà été développées. Si les mêmes colorants, que ceux utilisés dans l'échantillon qui doit être apparié, ne peuvent être utilisés, il en résulte presque inévitablement un appariement conditionnel. Ce peut être le cas lorsque des matériaux ou des procédés de coloration différents sont impliqués.

Même si des matériaux ou des procédés de coloration identiques sont impliqués, le client peut demander à ce que le nouvel échantillon ait une meilleure résistance, soit moins cher, ou diffère, par d'autres propriétés, de l'échantillon soumis. Dans ce cas également, le problème ne peut être facilement résolu. Il est important d'en être conscient avant d'entamer quoique ce soit pour éviter de perdre inutilement, énergie et temps.

Dès qu'un accord est intervenu sur le fait qu'un appariement conditionnel est nécessaire, il est important de savoir sous quelles conditions (source de lumière) l'appariement doit être jugé, puisqu'il sera nécessairement métamérique et variera donc suivant la source et l'observateur.

Il est pratiquement impossible de contrôler les caractéristiques de vision de la couleur des observateurs qui vont juger ces appariements conditionnels (sauf cas extrêmes). Il est important, par contre, que les appariements conditionnels soient jugés visuellement sous des sources de lumière standard qui correspondent le plus possible aux conditions d'utilisation anticipées. Des cabinets de lumière disposant de sources standard sont largement utilisés (cfr. pg. 45). Le fournisseur et le client doivent utiliser les mêmes modèles de cabinets, avec les mêmes sources et les mêmes filtres, si possible. Les qualités des lampes peuvent

différer de façon importante suivant ces paramètres et des échantillons qui pourraient sembler identiques dans un cabinet pourraient paraître différents dans un autre.

En dépit de toutes les précautions que l'on peut prendre au niveau du contrôle de l'éclairage, il est de loin plus difficile, visuellement, d'arriver à apparier deux couleurs de façon conditionnelle que de façon invariable. Cela s'explique par le fait qu'il faut trouver le meilleur compromis sous différentes sources d'éclairage.

Quoiqu'il en soit, il faut également garder à l'esprit qu'utiliser d'autres colorants, que ceux utilisés dans l'échantillon à apparier, va non seulement conduire à du métamérisme, mais également à des modifications d'autres propriétés importantes.

Sélection des colorants.

La nécessité d'équilibrer les propriétés coloristiques, les propriétés de travail et le coût pour fournir une formulation spécifique de couleur demande une approche systématique de sélection des colorants. Dans cette section, nous allons développer une telle approche en considérant les objectifs du processus d'appariement des couleurs.

Les objectifs de l'appariement de couleur.

Il y a, grosso modo, deux raisons pour lesquelles on produit une couleur spécifique : pour créer un style original, ou pour copier un produit concurrent ; ce dernier point représentant le plus grand défit et monopolisant la majeure partie du temps du coloriste. Pour chacun de ces objectifs, la sélection des colorants dépend du type d'appariement désiré, invariable ou conditionnel, et des propriétés de travail requises pour les colorants.

Les propriétés de travail des colorants sont de deux types généraux. Certaines d'entre elles sont inhérentes au matériau qui doit être coloré et au procédé de coloration. Parmi celles-ci, on trouve, par exemple, l'affinité de la teinture pour une fibre particulière ou la stabilité d'un colorant à la température élevée de mise en oeuvre d'un plastique.

D'autres propriétés de travail sont considérées comme optionnelles, c'est-à-dire désirables, mais non essentielles. Parmi celles-ci, on retrouve le niveau de solidité et le prix. Si c'est nécessaire, ces paramètres peuvent être modifiés pour des raisons de stratégie marketing, alors que les propriétés inhérentes ne peuvent être altérées.

La sélection des colorants, pour différents objectifs d'appariement de couleur, est illustrée par le tableau suivant.

<i>Type de formulation</i>	<i>Type d'appariement</i>	<i>Propriétés de travail</i>	<i>Nombre de colorants</i>	
			<i>Parmi lesquels sélectionner</i>	<i>Utilisables</i>
Style original	-	Général	Grand	Modéré
	-	Restreint	Limité	Limité

Coloristique.

Appariement dans la même matière	Invariable	Identique	Très limité	Extrêmement limité
	Invariable	Modifié	Grand	Limité
	Conditionnel	Egal	Limité	Limité
	Conditionnel	Modifié	Grand	Grand
Appariement dans une matière différente	Invariable	Egal	Limité	Très limité
	Invariable	Modifié	Grand	Limité
	Conditionnel	Egal	Limité	Limité
	Conditionnel	Modifié	Grand	Grand

Formulations originales.

Il y a deux catégories de formulations originales qui concernent l'utilisation des colorants. Le premier type, préparé pour répondre aux besoins du designer, est le cas pour lequel les propriétés de travail du colorant ne sont pas trop sévèrement limitantes et que le coût n'est pas de la plus haute importance. Dans un tel cas, les colorants peuvent être sélectionnés à partir d'un nombre relativement important rencontrant ces besoins généraux et non restrictifs. Souvent, un nombre raisonnable, de 3-4 à une douzaine, de colorants est sélectionné pour être utilisé dans un système intermix duquel les couleurs finales seront préparées.

Le second type de formulations originales est celui où les performances requises et/ou les considérations économiques limitent drastiquement le nombre de colorants pouvant être utilisés. Dans ce cas, comme nous l'avons déjà signalé, le nombre de colorants utilisable diminue, et la gamme de couleurs que l'on peut obtenir, également.

Appariement de matériaux identiques.

C'est le cas où le coloriste doit appairer deux échantillons de même nature, colorés par le même procédé. Quatre cas peuvent alors être distingués : la combinaison d'appariement invariable ou conditionnel, avec ou sans modification des propriétés de travail. Le cas demandant le plus de précautions est celui d'un appariement invariable, avec conservation des propriétés de travail. Un appariement de ce type peut être atteint en utilisant les mêmes colorants que dans le standard, ce qui requiert leur identification, comme nous allons le montrer ultérieurement. Si certaines propriétés de travail peuvent être modifiées, différents colorants peuvent être utilisés, mais dans ce cas, il est nécessaire de les sélectionner à partir d'un grand nombre, pour dupliquer la courbe spectrophotométrique du standard aussi bien que possible.

Si un appariement conditionnel est permis, les restrictions sur le nombre de colorants utilisables peuvent être parfois moins sévères, en fonction du degré de métamérisme qui peut être toléré. Si les propriétés de travail doivent être égales à celles de l'échantillon original, il reste bien entendu certaines limitations.

Appariement de matériaux différents.

Si l'appariement doit être fait dans un matériau différent, il devient presque impossible de garantir un appariement invariable, avec tous les aspects d'apparence égaux à ceux de l'échantillon original. Le mieux qui puisse encore être réalisé, est de sélectionner, à partir d'une large variété de colorants, ceux qui permettront d'obtenir une courbe spectrophotométrique aussi proche que possible de celle de l'échantillon original. Alors, au moins, les modifications de couleur des deux échantillons, lorsque la source et/ou l'observateur change(nt), seront similaires, même si l'appariement avec l'échantillon original n'est pas parfait. Dans le cas de propriétés de travail modifiées ou d'appariements conditionnels, les mêmes considérations, que celles vues dans le cas d'appariement de matériaux identiques, sont à prendre en compte.

Identification des colorants.

Si un appariement invariable est requis, l'approche que nous avons déterminée comme étant la plus pratique, est d'identifier les principaux pigments ou teintures qui ont été utilisés pour l'échantillon à apparier, et de les utiliser pour ce faire. L'identification peut se faire simplement en extrayant les colorants de l'échantillon, puis en les identifiant par des tests chimiques simples et des analyses spectrales (IR, UV, etc.).

Couleurs coordonnées.

Il est parfois souhaitable, pour des raisons commerciales, de fournir des appariement de couleurs dans différents matériaux, de sorte que, par exemple, les carrelages de la salle de bain, les rideaux de douche, les éviers et les serviettes puissent être accordés. Outre les considérations que nous avons déjà abordées, il est alors préférable de commencer le développement du produit pour lequel la gamme de couleurs et la palette de colorants seront les plus limitées. Les échantillons de ce matériau deviendront alors les standards auxquels devront être apparés les autres systèmes, pour lesquels plus de colorants sont disponibles.

Force des colorants.

Suivant Berger-Schunn, on définit la force d'un colorant comme étant son habilité à modifier la couleur d'un matériau incolore, ou son contenu en substance colorante, comparé à celui d'un autre échantillon du même colorant, pris comme standard. Comme l'appariement de couleur requière une connaissance exacte du comportement colorant d'un colorant, la détermination de la force du colorant est un pré requis important au processus d'appariement. A première vue, on pourrait croire que la détermination de la force d'un

colorant est un problème simple. En utilisant des quantités égales du colorant standard et de l'échantillon devant être testé, avec une méthode appropriée pour colorer une quantité donnée de matériau non coloré, il devrait être aisé de déterminer par des techniques visuelles et/ou instrumentales, si les deux échantillons ont des pouvoirs colorants égaux ou non. Quand des colorants supposés identiques sont comparés, les matériaux colorés résultants ne devraient pas varier en teinte, et la différence de couleur, si il y en a une, entre les deux, devrait être facilement visible. Si la différence est nulle, les deux colorants sont jugés comme égaux en force.

Malheureusement, il y a des facteurs compliquant les tests des colorants pour cette propriété de force. Le terme « force » a été appliqué aux résultats de nombreux tests différents et les différentes approches utilisées peuvent ne pas évaluer la même propriété. Dans la plupart des cas, il est préférable de considérer les pigments et les teintures séparément, puisque les pigments doivent être dispersés dans le milieu dans lequel ils sont utilisés et que la force d'un pigment est fortement influencée par la technique de dispersion.

La détermination de la force de couleur est une procédure analytique et, en tant que telle, toutes les précautions applicables en chimie analytique doivent être respectées. L'échantillon doit être prélevé de sorte qu'il représente vraiment l'ensemble du lot du matériau examiné. Il doit y avoir un accord entre le vendeur et l'acheteur sur le standard qui doit être utilisé pour les comparaisons. Il doit y avoir un accord, non seulement sur la méthode de test, qui est habituellement une méthode de laboratoire, mais les résultats doivent bien entendu également être représentatifs de la production.

L'appariement initial.

Bien que la sélection de colorants adaptés soit d'une importance majeure, spécialement dans le cas d'appariements invariables, elle ne fournit pas d'informations sur les quantités correctes de colorant à utiliser. Ces dernières sont habituellement déterminées par essais et erreurs, reposant sur les compétences du coloriste, mais également sur des méthodes instrumentales.

L'appariement visuel.

Comme c'est le cas pour de nombreux procédés dans une industrie où l'aspect artistique est aussi important que le scientifique, l'expérience du coloriste ne doit jamais être sous-estimée. Il n'y a pas de substitut à cela, et il est impossible d'essayer de le retranscrire en quelques mots. Il est toutefois extrêmement rare que cette compétence soit utilisée sans la moindre aide, que ce soit le recours à des notes prises lors d'expériences précédentes, l'utilisation de mesures instrumentales, ou l'utilisation de calculs sophistiqués.

Le coloriste conserve habituellement une banque de tous les appariements qui ont été réalisés dans le laboratoire, résultant parfois du travail de plusieurs années. Se référer à une telle banque est presque toujours la première étape entreprise par le coloriste chargé de réaliser un appariement visuel. La sélection de la couleur la plus proche de la banque est suivie par une modification appropriée pour s'accorder à la nouvelle couleur soumise.

Il semble évident que le pré requis, pour un coloriste chargé de réaliser un appariement visuel, soit de posséder une vision normale de la couleur, toutefois, les personnes chargées de ce travail, le sont sans véritable évaluation de la vision.

Cette évaluation débute et se termine, habituellement, par des séries de tests utilisant des planches pseudoisochromatiques (figure 5.4.) contenant des nombres, ou des formes qui apparaissent différents aux personnes qui ont une vision normale de la couleur et aux daltoniens.

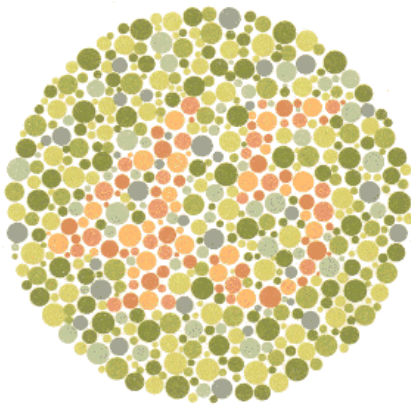


Figure 5.4. : Plaque pseudoisochromatique : Pour autant que vous ne soyez pas daltonien et que l'impression couleur de cette image soit correcte, vous devriez voir un 45 à l'intérieur du disque. Ce genre de test, aussi appelé test d'Ishihara permet de dépister les personnes souffrant de déficiences dyschromatiques.

Bien qu'ils soient utiles comme tests de criblage, ces planches pseudoisochromatiques ne sont pas adaptées à une évaluation quantitative de la vision de la couleur, ou même, pour certains sets de planches, à l'identification du type de déficience, au niveau de la vision de la couleur, qui est présente. Des méthodes plus efficaces pour mesurer une déficience au niveau de la vision de la couleur, sont l'anomaloscope, instrument qui mesure la quantité de lumières verte et de rouge qui sont nécessaires à un observateur pour appairer une lampe test jaune (figure 5.5.), ou le Farnsworth-Munsell 100 Hue test, dans lequel l'utilisateur doit classer une série d'échantillons dans un ordre consécutif, en fonction de leur teinte (figure 5.6.).



Figure 5.5. : Anomaloscope : Appareil qui permet de tester la vision dans la zone rouge-vert, dont le principe repose sur la comparaison sur un écran, d'une lumière de référence jaune orangée (partie haute de chaque disque) avec une lumière composée d'une addition de rouge et de vert (partie basse de chaque disque).



Figure 5.6. : Test de Farnsworth-Munsell 100-hue : est un test de discrimination, permettant de quantifier la capacité de différencier les couleurs, en faisant classer des pastilles des jetons dans un ordre consécutif en fonction de leur teinte.

Le test 100-hue permet de trier les observateurs, possédant une vue normale de la couleur, en fonction de leur capacité à discriminer des couleurs, et sert donc de test d'aptitude.

Les différents tests que nous venons d'aborder ne sont, bien entendu, pas exhaustifs, mais le principe des autres tests varie peu de ceux-ci.

L'apprentissage des couleurs, pour un coloriste amené à surtout utiliser des examens visuels, pourrait commencer par la maîtrise de l'utilisation du classement de Munsell, puis par l'apprentissage des lois de mélange de couleur. En travaillant avec le système, ou les systèmes dans le(s) quel(s) les appariements doivent être réalisés, ces lois de mélange des couleurs pourraient être testées expérimentalement en créant une variété de mélanges de deux ou plusieurs colorants chromatiques et en voyant ce que cela donne. Une roue chromatique pourrait alors être élaborée, sous forme de tableaux de mélanges pour pouvoir relier les résultats de tests de façon qualitative, en trouvant, exactement, comment on doit modifier les concentrations dans les mélanges pour se déplacer d'une certaine façon dans les tables.

Malheureusement, pour obtenir des résultats vraiment objectifs et quantitatifs, il est nécessaire d'avoir recours à des techniques instrumentales.

Aides instrumentales.

L'objectif de l'instrumentation et des analyses chimiques de colorants, est de réduire la quantité d'expériences nécessaires dans le domaine de l'appariement des couleurs, où il est de plus en plus difficile de compter sur du personnel expérimenté. Ce qui reste toutefois

vrai, c'est qu'il n'existe pas de substitut à l'expérience et que le coloriste doit en acquérir dans l'utilisation de l'instrumentation et de l'interprétation des résultats avant de pouvoir les utiliser efficacement dans le processus d'appariement des couleurs. L'avantage majeur, est qu'un novice peut apprendre à apparier des couleurs plus rapidement avec l'aide d'instruments qu'il ne peut le faire avec des méthodes visuelles. Inversement, des coloristes expérimentés peuvent avoir une certaine méfiance, non légitime, devant l'utilisation d'instruments pour les assister.

Dans la discussion de l'aide instrumentale, il apparaît, à nouveau, assez pratique de distinguer l'appariement invariable et l'appariement conditionnel séparément. De même, c'est à nouveau le spectrophotomètre qui se révèle être l'instrument le plus utile pour aider au processus de formulation d'appariements invariables. Une importante quantité d'informations peuvent être obtenues à partir des formes des courbes spectrophotométriques, tant au niveau des quantités que des identités des colorants utilisés dans l'échantillon cible.

Deux types de représentations, disponibles sur la plupart des spectrophotomètres, sont particulièrement utiles dans l'interprétation de la forme des courbes spectrophotométriques. La première est la représentation « log-absorbance », qui trace les courbes de sorte que leur forme est pratiquement la même, quelle que soit la quantité de colorant présente (figure 5.7.). Cette représentation est particulièrement utile pour l'utilisation de mélanges soustractifs simples. Le principe de base qui rend ce tracé utile, est dérivé de la loi de Beer et établit que, à toute longueur d'onde, les distances verticales, sur le tracé, sont proportionnelles à la quantité de colorant présent, la contribution de chaque colorant s'additionnant indépendamment au total. Un peu d'arithmétique est tout ce dont nous avons besoin pour calculer par la loi de Beer, les concentrations des différents colorants nécessaires pour un appariement initial, une fois que les colorants sont identifiés, comme nous allons le montrer par un exemple numérique (page 156-157 du livre de référence... c'est-à-dire au tableau, dans votre cas).

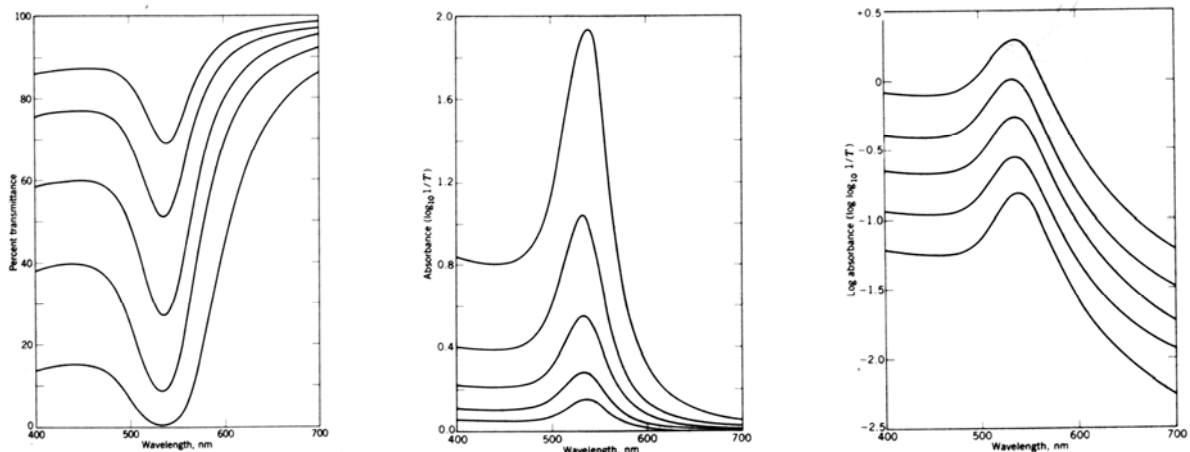


Figure 5.7. : Courbes spectrophotométriques : A gauche : transmission (T) en fonction de la longueur d'onde, au centre : absorbance ($\log 1/T$) en fonction de la longueur d'onde et à droite : $\log(\text{absorbance})$ en fonction de la longueur d'onde. Remarquez que dans ce dernier cas, la forme des courbes est pratiquement identique, quelle que soit la concentration du colorant.

Pour les mélanges complexes soustractifs, la loi de Beer n'est plus valable, mais les équations de Kubelka-Munk sont souvent suffisamment précises pour être utiles. Si on travaille avec des matériaux totalement opaques, ces équations se simplifient et montrent qu'il existe une fonction du facteur de réflexion R, qui a la même propriété d'être proportionnelle à la concentration en pigment, que l'est le logarithme de l'absorbance, dans le cas des mélanges soustractifs simples. La seconde représentation utile pour les spectrophotomètres, est le tracé de $\log(K/S)$ en fonction de la longueur d'onde (figure 5.8.).

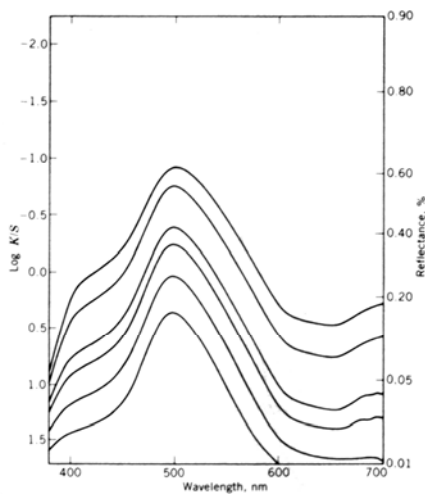


Figure 5.8. : Courbes spectrophotométriques : Tracé de $\log(K/S)$ en fonction de la longueur d'onde pour différentes concentrations d'un pigment vert. Remarquons que la forme des courbes est pratiquement identique, quelle que soit la concentration.

Cela dit, l'adage « on n'a rien sans rien » est bien d'application ici. Il est nécessaire de connaître le comportement de chaque colorant individuellement avant que les distances, sur un tracé de $\log(K/S)$ ou $\log(A)$ puisse être converti en concentrations. Il est donc nécessaire que des échantillons soient fabriqués dans un intervalle de concentrations d'un colorant à la fois, et mesuré au spectrophotomètre pour fournir les données nécessaires à la calibration du système. Un fois que c'est fait pour un milieu et une technique de mise en œuvre donnée, tous les échantillons qui seront fabriqués ultérieurement, de cette façon, pourront être traités. Cette étape est absolument nécessaire.

Comme tout ce que nous avons dit, jusqu'à présent, est basé sur la reproduction de la courbe spectrophotométrique de l'échantillon devant être apparié, cela s'applique uniquement à la production d'appariements invariables. Lorsque les colorants, qui doivent être utilisés, sont différents de ceux présents dans l'échantillon devant être apparié, les méthodes basées sur la seule courbe spectrophotométrique sont de peu de valeur. Il est alors nécessaire de travailler avec les coordonnées de couleur de l'échantillon. Nous ne

pouvons, toutefois, qu'insister, à nouveau, sur le fait que les appariements conditionnels doivent être évités dans la mesure du possible.

Malheureusement, la plupart des appariement de couleur, qu'ils soient réalisés visuellement ou instrumentalement, sont des appariements conditionnels, et donc au moins légèrement métamériques. Si des instruments doivent être utilisés, le jugement de l'appariement se fera, certainement, suivant un index de métamérisme. Ce jugement peut ne pas bien correspondre à l'apparence visuelle de l'appariement pour diverses raisons : les indices de métamérisme, bien qu'ils soient les meilleurs paramètres que nous puissions mesurer, ne sont pas de très bons indicateurs de l'acceptabilité d'un appariement ; l'observateur n'est probablement pas un « observateur standard » et la source, utilisée pour les observations visuelles, n'est sans doute pas exactement la même que l'illuminant utilisé dans les calculs de coordonnées de la couleur.

Les coloristes consciencieux voudront certainement contrôler ces variables aussi précisément que possible. Les indices de métamérisme seront utilisés comme première estimation, mais on ne s'y fierait pas aveuglément. Un panel d'observateurs sera utilisé pour des jugements visuels critiques. Et pour des résultats encore plus précis, le spectre de la source utilisée pour les examens visuels sera déterminé, puis utilisé comme illuminant pour le calcul informatique des coordonnées de couleur.

Comme seules les coordonnées de couleur, plutôt que les courbes spectrophotométriques, sont nécessaires pour l'aide instrumentale à l'appariement conditionnel, on pourrait penser que des colorimètres pourraient être utilisés avantageusement dans cette situation. La prudence s'impose cependant. Les colorimètres conventionnels à filtre sont, à la base, utiles seulement pour mesurer de petites variations de couleurs entre un échantillon et un standard lorsqu'ils sont préparés avec le même colorant. Leur performance est bien plus limitée dans le cas d'un appariement conditionnel, puisque différents sets de colorants sont impliqués.

Comment peut-on formuler un appariement conditionnel initial en connaissant les coordonnées de couleur d'un échantillon devant être apparié et celles de colorants individuels devant être utilisés à des concentrations différentes ? La quantité de calculs à faire est trop importante que pour l'envisager « sur papier », mais le recours aux ordinateurs nous permet de résoudre ce problème facilement.

La meilleure façon de faire est sans doute de systématiquement enregistrer les mesures effectuées sur chaque échantillon produit et de construire ainsi une banque de données utilisables ultérieurement comme point de départ.

Contrôle de la couleur en production.

Tout comme la mesure de la couleur est seulement une forme particulière d'analyse, le contrôle de la couleur n'est qu'une forme particulière de contrôle de la production. Les problèmes standard tels que les erreurs d'échantillonnage, les variations lot à lot, les limites d'acceptabilité, etc. y jouent tous leur rôle.

Comme nous l'avons souligné au chapitre 3, deux prérequis élémentaires de la mesure de la couleur sont : (1) une définition précise des limites de tolérance, en langage compris et reconnu par tous les partis présents et (2) une procédure standard pour déterminer la différence entre l'échantillon et le standard avec suffisamment de précision. Lorsque l'on discute du contrôle de la couleur, on suppose qu'un accord a été défini sur la nature et la variation de couleur qui sera permise et la méthode de mesure de cette différence.

Monitoring.

La valeur de l'instrument.

C'est dans le suivi de la production d'objets colorés que l'utilisation d'instruments de mesure de la couleur prend toute son importance. Les données instrumentales fournissent un enregistrement continu de la nature de l'objet étant produit, et de sa variation par rapport au standard en termes quantitatifs. Si l'instrumentation et l'échantillonnage sont suffisamment sensibles, de légères déviations peuvent être détectées et corrigées, bien avant que le processus ne devienne hors de contrôle et que du matériel non standard ne soit produit.

Bien que l'œil soit un superbe instrument pour déterminer si un échantillon et un standard sont identiques, il n'en est pas de même lorsqu'il s'agit de quantifier une différence et d'en donner la direction. Ceci est particulièrement vrai si plus d'un aspect de la couleur de l'échantillon diffère de celle du standard. Utilisés correctement, les instruments peuvent très bien caractériser un tel changement de couleur. Sans cette information, une mesure « corrective » pourrait être décidée, produisant l'effet opposé de celui nécessaire. Même un coloriste expérimenté ne peut toujours dire ce qui se passe et ce qu'il convient de faire pour y remédier. Un coloriste inexpérimenté, lui, est carrément fréquemment perdu. C'est dans ce cas que l'instrumentation peut se révéler de la plus grande aide. Comme dans tous les problèmes de contrôle, cependant, l'échantillonnage adéquat et l'utilisation adaptée des instruments sont de la plus haute importance.

L'effet des variations de processus.

La couleur finale de tout objet est habituellement déterminée non seulement par la formulation de colorants utilisée, mais aussi par les effets de nombreuses autres variables de la mise en œuvre. L'un des travaux du coloriste, est de déterminer, du mieux qu'il peut, les effets de telles variables. Il est de loin plus efficace de les maintenir sous contrôle que d'essayer de compenser leurs effets en changeant la formulation. Pour ce faire, un travail important est requis, mais meilleure est la connaissance de la capacité du procédé à produire des objets uniformément colorés, mieux le coloriste peut avertir le département production de ce qu'il convient de faire si des objets viennent à dévier du standard.

Ajustement.

La principale fonction de la plupart des coloristes, en industrie, est de maintenir l'uniformité de la couleur d'un produit, une fois que la formulation a été établie. C'est-à-dire qu'ils travaillent à réduire la différence de couleur entre un échantillon de production et le standard. Habituellement, le standard devrait être fabriqué avec le même matériau, les mêmes colorants et le même procédé de coloration que l'échantillon de production.

Quelle que soit la façon de contrôler le procédé, il arrivera un moment où la couleur du produit devra être modifiée en changeant la formulation en colorants. Que ce soit réalisé par un coloriste expérimenté utilisant seulement sa compétence et son expérience, ou par des mesures instrumentales complexes, il y a un principe majeur à toujours respecter pour ce type d'ajustement : **AUCUN AUTRE COLORANT QUE CEUX SPECIFIES DANS LA FORMULATION NE PEUT ETRE AJOUTE POUR FAIRE UN AJUSTEMENT.**

Ce principe fondamental devrait être encadré en grand, de façon permanente dans chaque laboratoire d'appariement de couleur. Une fois la formulation établie, peu importe sa complexité ou sa simplicité, aucun autre pigment, ou teinture, ne peut être utilisé pour faire des ajustements d'accord au standard. A moins que cette règle ne soit correctement suivie, les pseudo appariements de couleur au standard seront en fait métamériques et distinctement non standard.

Une des conséquences de cette règle est que, pour toute opération de coloration, les colorants doivent être sélectionnés et standardisés de sorte qu'ils donnent toujours le même résultat, dans les mêmes conditions d'utilisation. Un bon appariement de couleur ne peut être réalisé sans que cela ne soit fait. C'est-à-dire que l'appariement de couleur ne peut être meilleur que la qualité de colorant ne le permet. Par qualité, nous nous entendons, non seulement les propriétés colorimétriques, mais également les propriétés de travail des colorants – la vitesse d'épuisement d'une teinture dans un bain, la facilité de développement de couleur d'un pigment, etc.

La comparaison d'un échantillon de production avec le standard est un exemple idéal de mesure pour laquelle les colorimètres sont le plus adaptés. Les différences de couleur impliquées sont légères et il n'y a pas de problème de métamérisme (normalement).

Des instruments peuvent être utilisés à la fois qualitativement et quantitativement pour aider le coloriste dans cette situation. D'un point de vue qualitatif, ils peuvent montrer dans quel sens l'échantillon diffère du standard. Comme indiqué précédemment dans cette section, plus la différence de couleur est faible, plus grande est la difficulté, pour un examinateur visuel, de déterminer la direction de la différence, bien qu'il soit capable d'en avoir une bonne idée de l'amplitude. Quantitativement, les ordinateurs sont utilisés grosso modo de la même façon que lors de la formulation originale, excepté qu'à présent, les colorants sont connus. Mais la tâche d'apporter de légères corrections, en utilisant essentiellement la même méthode que pour la formulation initiale, n'est pas aussi simple qu'elle n'y paraît.

L'expérience acquise dans la formulation d'une couleur, archivée avec soin, fournit un point de départ pour les prochaines couleurs similaires à apparier. C'est vrai pour toutes les données des formulations de colorant, quelle que soit la façon dont elles sont obtenues. Un archivage systématique et une méthode de classement facilitant la récupération des informations, constituent une mémoire inestimable pour un coloriste. Le classement peut se faire, par exemple, suivant les coordonnées CIE.

Contrôle.

L'objectif ultime, lorsqu'on applique une procédure analytique à une situation de production, est de développer une technique qui va, non seulement détecter une variation, mais également servir de signal pour une action corrective. Nous sommes arrivés, ici, au point où un contrôle continu du procédé, fiable et bien maîtrisé est appliqué, mais l'étape suivante à franchir, à savoir que faire des données obtenues, est plus difficile.

Si l'écart d'une couleur normale est connue comme étant dépendant entièrement d'une seule variable du procédé, comme la température d'un four, par exemple, le résultat d'une mesure de la couleur pourrait être utilisé pour générer un signal adaptant la température d'une façon prédéfinie.

Les autres aspects de l'apparence.

Le coloriste doit garder à l'esprit tout le temps que la couleur est seulement l'un des nombreux facteurs contribuant à l'apparence d'un objet. Une variation dans n'importe quel autre aspect de l'apparence – brillant, réflexion métallique, fluorescence, etc. – va inévitablement affecter la perception de la couleur de l'objet. Donc une variation de brillant

ou de texture de surface peut résulter en un produit qui apparaît différer des spécifications pour sa couleur. Les instruments, aussi bien que les yeux peuvent être trompés. Le coloriste doit déterminer la cause de cette variation avant que la correction nécessaire ne soit entreprise.

Bibliographie et webographie.

“Principles of color technology”, 2nd Edition de Fred W. Billmeyer et Max Saltzman aux éditions Wiley-interscience.

“Measuring colour” de R. W. G. Hunt aux éditions Halsted Press Edition.

“The colour science of dyes and pigments” de K. McLaren aux éditions Adam Hilger.

http://www.kleocolor.com/part1_chapitre1.php

http://www.hunterlab.com/color_theory.php

<http://www.efg2.com/Lab/Graphics/Colors/Chromaticity.htm>

<http://www.ecse.rpi.edu/~schubert/Light-Emitting-Diodes-dot-org/chap17/chap17.htm>

<http://www.limsi.fr/Individu/jacquemi/IG-TR-10-11-12-13/couleur-artist.html>

http://perso.orange.fr/gueyraud/gcouleurs/doc_01.html

<http://www.formation-colorimetrie.fr/>

<http://pourpre.com/couleur/lumiere.php>

<http://ophtasurf.free.fr/illusion.htm>

<http://www.profil-couleur.com/lc/001-couleur-moyen-age.php>

<http://pages.infinet.net/graxx/index.html>

http://tecfa.unige.ch/perso/lombardf/CPTIC/couleurs/couleur_ERAG/Base.htm

<http://www.colorimetrie.be/>