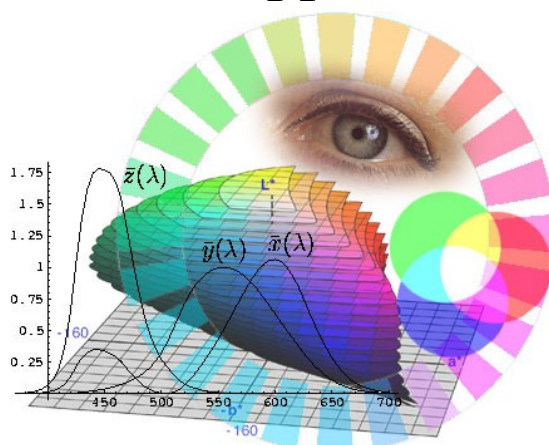


Les Modèles d'Apparence Couleur



Christine Fernandez-Maloigne

Professeur à l'Université de POITIERS

Laboratoire SIC (SIGNAL - IMAGE – COMMUNICATIONS) F.R.E. 2731 C.N.R.S.

Equipe ICONES : Images Couleur dyNamiques et staTiquES

Université de Poitiers - Bâtiment SP2MI –
Boulevard Marie et Pierre Curie - Téléport 2
86962 FUTUROCOPE Chasseneuil Cédex -
tel : 05 49 49 65 67 – fax : 05 49 49 65 70

Fernandez@sic.univ-poitiers.fr

<http://www.sic.sp2mi.univ-poitiers.fr/>



Introduction

Qui n'a pas été confronté à une image couleur qui change complètement d'aspect quand on change de conditions de visualisation ? Qui n'a pas été surpris par des images présentant des illusions d'optique?

L'apparence d'une couleur quelconque ne dépend pas uniquement de sa teinte et de sa luminance. D'autres critères entrent en compte comme les conditions d'éclairage, le fond de scène, l'environnement, etc. Comme le montre la figure 1, les deux pastilles bleues paraissent différentes alors qu'elles sont créées avec la même couleur. A partir d'un tel constat, l'idée des modèles d'apparence des couleurs, pouvant pallier ce problème de perception, a vu le jour.

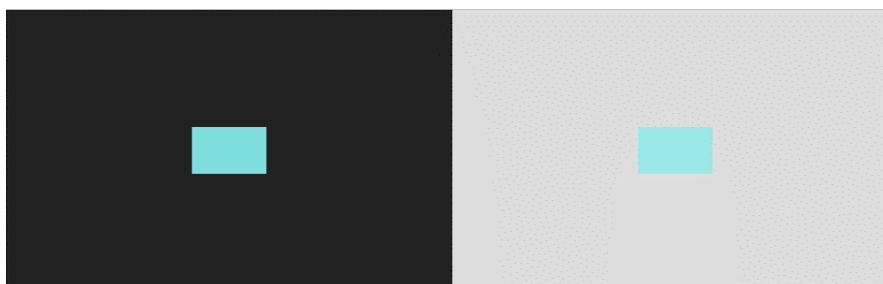


Figure 1 : perception de deux patches de même couleur dans deux conditions différentes

Introduction

La perception d'une couleur dépend de la distribution spectrale du stimulus, de sa taille, sa forme, sa composition, son fond, ainsi que de l'environnement dans lequel il est observé. Mais il dépend aussi du système visuel de l'observateur et de l'expérience de celui-ci à se trouver dans de telles situations d'observation.

Qu'est-ce qu'un modèle d'apparence des couleurs?

Un modèle d'apparence des couleurs essaie de modéliser comment le système visuel humain perçoit la couleur d'un objet dans des conditions d'éclairage différentes et avec des fonds de scènes différents. En développant un tel modèle, une image qui est vue dans une certaine condition d'éclairage et un certain environnement, peut être ajustée pour sembler avoir les mêmes couleurs que si elle est vue dans des conditions complètement différentes. C'est ce qu'on observe sur les figures 2 a) et b)

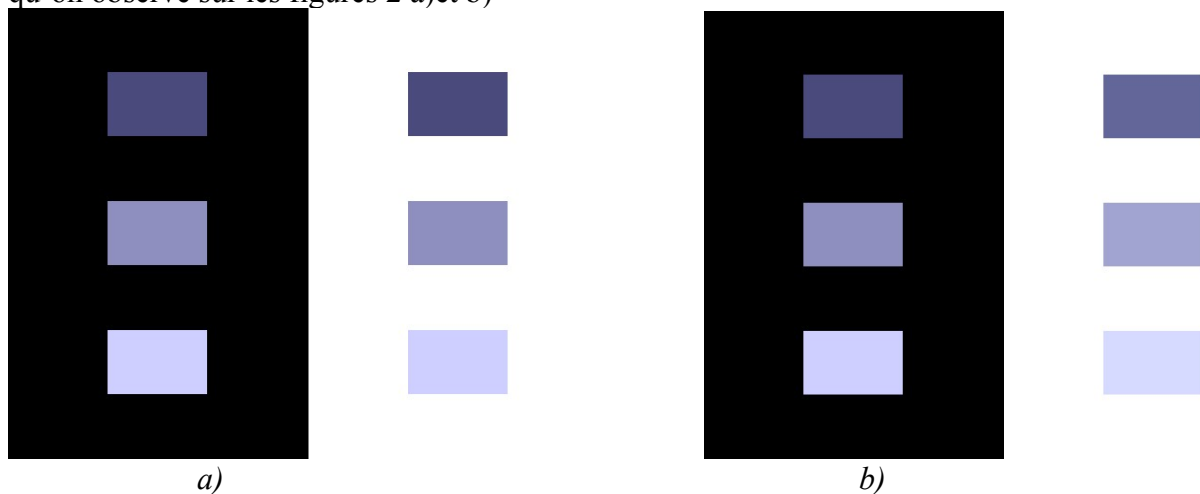


Figure 2 : a) les pixels ont les mêmes valeurs à gauche et à droite mais ils paraissent différents; b) les pixels sont identiques à gauche et à droite selon le modèle d'apparence couleur CIECAM02 mais les valeurs des pixels sont différentes.

La capacité d'un CAM à accomplir correctement cette tâche signifie qu'il peut être utilisé pour stocker ou reproduire des images de manière optimale, indépendamment du support matériel. Par exemple, si une image est scannée sur un ordinateur, le CAM, connaissant les conditions d'illumination du scanner, pourra transformer l'image selon sa représentation interne. Quand l'image devra être affichée sur un moniteur ou imprimé, c'est encore le CAM qui, connaissant les conditions d'illumination du support de sortie, pourra transformer sa représentation interne de l'image vers une représentation correcte pour l'affichage ou l'impression en sortie. Les champs applicatifs sont évidemment nombreux, on peut citer la photographie, la télévision, le cinéma, les arts graphiques en général.

Plusieurs CAM existent comme RLAB; ZLAB, LLAB, VonKries, Nayatani, etc. Certains d'entre-eux sont normalisés par la CIE (Commission Internationale de l'Eclairage) comme le CIECAM97s et le CIECAM02. Ils seront présentés dans ce tutorial.

Ainsi, nous allons commencer, dans la partie I, par quelques définitions générales afin de préciser quelques attributs perceptuels qui sont utilisés et produits en sortie d'un CAM. Puis nous présenterons, en II, différents effets du SVH qui doivent être pris en compte. Nous pourrons alors décrire, en III, les principaux éléments constituant généralement un modèle d'apparence afin de prendre en compte les phénomènes énumérés précédemment. Nous ferons

alors, en IV, un historique des modèles d'apparence couleur avant de présenter les bases du premier CAM normalisé par la Division 8 (Image Technology » de la CIE (Commission Internationale de l'Eclairage), le CIECAM97 et ses variantes (chapitre V). Nous nous attarderons alors sur le dernier CAM normalisé, le CIECAM02 dans la partie VI. La partie VII présentera quelques éléments comparatifs des CAMs les plus connus. Et nous conclurons avec les travaux en cours et les perspectives en évoquant le modèle iCAM développé au RIT (Rochester Institute of Technology) par Mark Fairchild.

NB : ce cours est très largement inspiré du remarquable ouvrage de Mark Fairchild, « Color Appearance Models » paru chez Wiley. On pourra également se reporter à son site pour trouver des feuilles de calcul automatique du CIECAM97s et CIECAM02 (<http://www.cis.rit.edu/fairchild/CAM.html>). Ce tutorial s'appuie aussi sur les standards de la CIE qui peuvent être commandés auprès du bureau central de la CIE à Vienne.

I. Définitions générales

Pour bien comprendre la terminologie des CAMs nous commencerons par quelques définitions générales. Nous utiliserons en général les mots techniques anglais afin d'éviter les approximations de la traduction :

- Stimulus: objet observé (généralement à 2 degrés d'angle visuel).
- Proximal field : environ immédiat du stimulus (en ajoutant 2 degrés d'angle visuel dans toutes les directions).
- Background : région immédiatement autour du stimulus (en ajoutant 10 degrés d'angle visuel dans toutes les directions).
- Surround Field : environnement qui étend les limites de la vision en dehors du « fond » (background).
- Viewing condition : On la définit comme **average, dark, dim**. Ce qui correspond à la vision de jour (photopique), de nuit (scotopique) et intermédiaire (mésopique)

Les stimuli se verront donc attribuer une couleur :

- Color : Attribut de la perception visuelle consistant en une combinaison de contenu chromatique et achromatique. Une couleur peut être décrite en termes chromatiques comme jaune, orange, marron, rouge, rose, vert, bleu, violet. En termes achromatiques comme blanche, grise, noire. Et qualifiée par le fait d'être brillante, lumineuse, sombre ...
- Unrelated Color : Couleur perçue d'un stimulus en étant isolé des autres couleurs

- Related Color : Couleur perçue d'un stimulus, en relation avec d'autres stimuli couleurs.

Mais les définitions les plus importantes concernent les attributs perceptuels de l'apparence colorée à savoir : Brightness, Lightness, Hue, Colorfulness, Chroma, et Saturation.

- **Brightness** : La quantité de lumière perçue émanant d'un stimulus = Indicateur qu'un stimulus apparaît comme plus ou moins lumineux, clair.
- **Lightness** : La clarté d'un stimulus relativement à la clarté d'un stimulus qui apparaît blanc sous des conditions similaires de visualisation.
- **Hue** : Le degré auquel un stimulus peut être décrit comme similaire à une couleur décrite comme rouge, vert, bleu et jaune.
- **Colorfulness** : La quantité perçue de teinte par rapport au gris, = indicateur qu'un stimulus apparaît comme plus ou moins coloré.
- **Chroma** : La « coloration » d'un stimulus relativement à la clarté d'un stimulus qui apparaît blanc sous des conditions identiques.
- **Saturation** : La coloration d'un stimulus par rapport à sa propre brillance

En synthèse :

Chroma = (Colorfulness) / (Brightness of White)

Saturation = (Colorfulness) / (Brightness)

Lightness = (Brightness) / (Brightness of White)

Saturation = (Chroma) / (Lightness)

= [(Colorfulness) / (Brightness of White)] * [(Brightness of White) / (Brightness)]

= (Colorfulness) / (Brightness)

Toute perception couleur peut être décrite complètement par :

- Brightness,
- Lightness,
- Colorfulness,
- Chroma,
- Hue.

II. Les phénomènes perceptuels de l'apparence colorée

Si 2 stimuli n'ont pas la même apparence couleur alors que leurs coordonnées trichromatiques sont identiques :

$$(XYZ)_1 = (XYZ)_2 ,$$

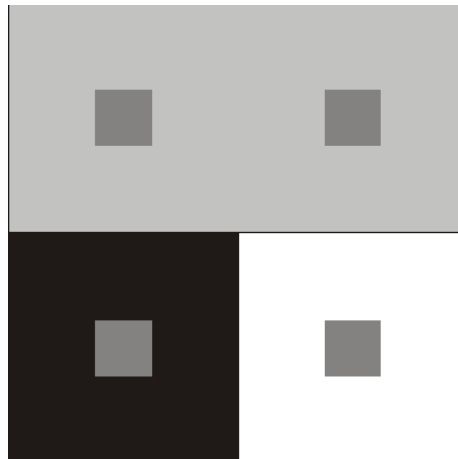
alors, c'est que certains aspects des conditions de visualisation diffèrent.

Pour prendre en compte ces conditions de visualisation différentes, il faut alors analyser les phénomènes perceptuels qui entrent en ligne de compte pour la perception de changements dans l'apparence d'une scène par le système visuel humain.

Les phénomènes perceptuels de l'apparence couleur que doit donc modéliser un modèle d'apparence couleur sont principalement les phénomènes suivants :

- Induction = Simultaneous Contrast,
- Crispning
- Spreading,
- Hunt Effect,

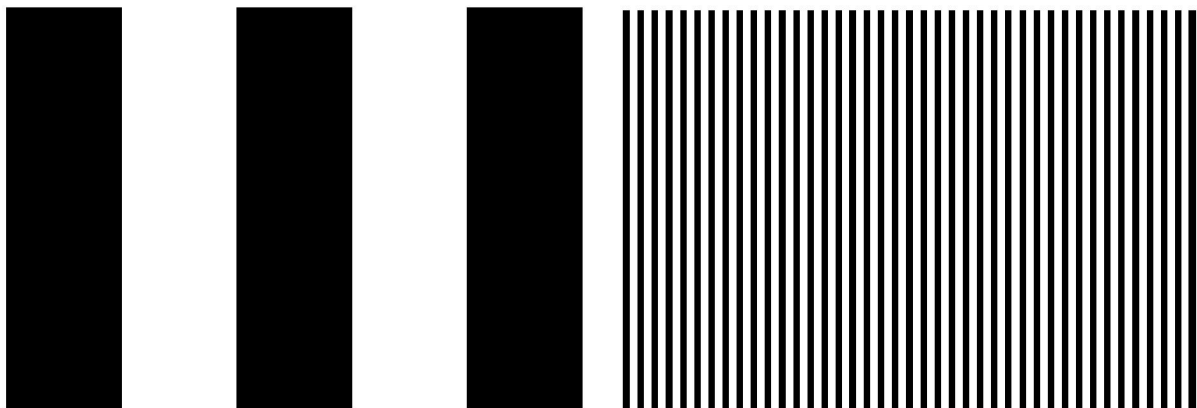
- Stevens Effect,
 - Bezold, Abney, effects
 - Color Constancy,
 - Memory Color,
 - Discounting the-Illuminant,
 - Adaptation, Etc.....
- **Induction = simultaneous contrast** : variation de l'apparence colorée d'un objet en fonction des caractéristiques colorimétriques de son environnement proche.



- **Crispening** : augmentation de la perception des différences couleur selon le fond.



- **Spreading** : diminution de la sensibilité au contraste avec les hautes fréquences.



- **Effet de Hunt** : augmentation de la coloration perçue (colorfulness) avec la luminance. Un objet apparaît plus vif et contrasté en pleine lumière qu'à l'ombre.
- **Effet de Stevens** : augmentation du contraste perçu avec la luminance. Quand la luminance augmente, les couleurs sombres apparaissent encore plus sombres et les couleurs lumineuses apparaissent encore plus lumineuses. On associe souvent cet effet à celui de Hunt en parlant de l'effet de **Hunt-Stevens**.
- **Effet de Helson-Judd** : modification de teinte observée dans des conditions bien spécifiques : les observateurs sont placés dans une cabine illuminée par un éclairage quasi monochromatique. Cette illumination monochromatique n'existe jamais dans des conditions réelles d'observation. Les stimuli sont des patches individuels sur un fond uni. L'effet ne se produit pas sur des stimuli complexes. Dans ces conditions précises, les échantillons plus clairs que le fond prennent la teinte de la source lumineuse, les échantillons plus sombres que le fond prennent au contraire la teinte complémentaire.
- **Effet de Bezold-Brücke** : modification de la perception des teintes sous l'effet d'une augmentation de l'intensité lumineuse. Il se fait sentir à forte luminance, juste au-dessous du seuil d'éblouissement. Quand l'intensité augmente fortement, la sensation colorée baisse parce que les capteurs sont saturés.
 Von Bezold avait observé des ampoules électriques à travers des filtres de couleur et constaté que le point le plus lumineux de l'ampoule paraît jaunâtre à travers un filtre rouge et verdâtre à travers un filtre vert-brun. La couleur que l'on perçoit dépend donc — pour de hautes intensités lumineuses — de la puissance de la lumière. Cette différence de perception s'explique aujourd'hui par l'hypothèse que dans les intensités extrêmes — au point le plus lumineux de l'ampoule, précisément — les cellules de vision de l'œil sont saturées et ne contribuent que relativement peu à la réception des couleurs.
 Ainsi, lorsque l'intensité s'accroît considérablement, ce qui est le cas en plein soleil en été, la sensation colorée se restreint ; le rouge et le vert se confondent avec le jaune, le bleu-vert et le violet avec le bleu clair ; de plus, les teintes résiduelles perdent leur saturation (c'est à dire apparaissent mêlées à de la lumière blanche). Cet effet explique l'appauvrissement notable des sensations colorées dans les grandes lumières solaires.
- **Effet de Abney** : changement de la teinte avec la pureté colorimétrique = changement de la teinte si on lui ajoute un blanc pur.
- **Effet de Helmholtz-Kohlrausch** : dépendance de la clarté (brigtness) par rapport à la luminance et à la chromaticité. Les objets de couleur apparaissent plus clairs que les objets achromatiques ayant la même luminance. Les couleurs les plus saturées apparaissent les plus brillantes.
- **Effet de Bartelson and Breneman** : augmentation du contraste apparent d'un stimulus avec l'éclairage de son environnement d'observation. Réciproquement : quand une image est vue dans un environnement sombre, elle apparaît avoir un contraste et une saturation plus faibles.
- **Discounting the illuminant** : réduction des effets de l'illuminant. Le SVH tend à réduire automatiquement les effets de l'illuminant sur les couleurs perçues d'un objet.

- **Chromatic adaptation** : ajustement par le SVH de certains stimuli couleur. L'adaptation chromatique nous permet d'interpréter une couleur selon son environnement spatio-temporel. C'est le principal effet à prendre en compte par un CAM.
L'adaptation chromatique est la capacité du système visuel humain à s'ajuster aux changements de conditions d'illuminant. Autrement dit, nous nous adaptons à la couleur de la source lumineuse pour mieux préserver la couleur des objets. Par exemple, sous une lumière incandescente, un livre blanc apparaît jaune. Cependant, nous avons la capacité automatiquement de modéliser la lumière jaunâtre et nous voyons donc le papier comme blanc. Le monde qui nous entoure serait en effet très compliqué si les objets changeaient de couleur chaque fois que la source de lumière change même légèrement. Depuis la nuit des temps, nous devons être capable de savoir si un fruit est mûr que ce soit le matin, le midi, ou le soir. L'adaptation chromatique nous rend cela possible. Mais elle peut être aussi la source de nombreuses illusions d'optique.
- **Color constancy** : perception censée constante des couleurs d'un objet pour des changements d'illumination importants
- **Color memory** : vision des couleurs d'objets familiers comme le SVH s'y attend. La mémoire des couleurs est liée à des facteurs culturels, sociologiques, voir au sexe des individus.

III. Les principaux constituant d'un CAM

Les modèles d'apparence couleur sont donc utilisés pour étendre la colorimétrie traditionnelle (par exemple, CIE XYZ et CIELAB) à la prédiction de l'apparence de stimuli colorés sous une grande variété de conditions d'observation. Ceci est fait en prenant en compte les valeurs trichromatiques du stimulus, du background, du surround, le niveau de luminance et d'autres facteurs comme la réduction cognitive des effets de l'illuminant. En sortie, les CAMs fournissent des attributs perceptuels comme la clarté (brightness), la luminosité (lightness), la coloration (colourfulness), la chromaticité (chroma), la saturation et la teinte.

Tous les CAMs sont donc caractérisés par 3 points :

- (1) Transformation d'Adaptation Chromatique = Chromatic Adaptation Transform
- (2) Espace de représentation couleur uniforme = Uniform Color Space (exemples : $L^*a^*b^*$, IPT de Fairchild pour le iCam)
- (3) Des attributs de l'apparence = Appearance Correlates

La transformation d'adaptation chromatique (CAT) est l'élément principal d'un CAM mais elle ne suffit pas à elle seule pour prédire une apparence couleur complète et donc fournir les attributs et métriques perceptuelles associées.

La première fonction d'un CAT est de prédire les signaux des 3 cônes, L_a , M_a et S_a , après que tous les effets d'adaptation aient agi sur signaux initiaux des cônes L , M , S :

$$L_a = f(L, L_{white}, \dots)$$

$$M_a = f(M, M_{white}, \dots)$$

$$S_a = f(S, S_{white}, \dots)$$

Les signaux LMS sont issus des coordonnées initiales XYZ (que l'on peut obtenir par transformation d'un RGB) par une matrice \mathbf{M} du type suivant :

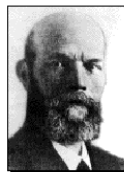
$$\begin{array}{l|l}
 |L| & | 0.400 & 0.708 & -0.081 \\
 |M| = & | -0.226 & 1.165 & 0.046 \\
 |S| & | 0.000 & 0.000 & 0.918
 \end{array}
 \begin{array}{l}
 |X| \\
 |Y| \\
 |Z|
 \end{array}$$

On calculera alors les coordonnées trichromatiques dans les conditions d'observation finales XYZ₂ par une transformée de type : $XYZ_2 = f(XYZ_1, XYZ_{white1}, XYZ_{white2}, \dots)$

Les étapes d'application d'une transformée d'adaptation chromatique sont donc les suivantes :

- à partir des coordonnées trichromatiques XYZ₁, pour les conditions initiales de visualisation, on les transforme en coordonnées L₁, M₁ et S₁.
- on intègre les informations sur les conditions de visualisation pour prédire les signaux adaptés des cônes L_a,M_a,S_a.
- on inverse le processus pour les conditions finales de visualisation afin de déterminer les signaux d'excitation des cônes L₂, M₂ et S₂ et les coordonnées trichromatiques finales XYZ₂.

Le premier modèle d'adaptation chromatique a été celui de Von Kries :



$$\begin{aligned}
 L_a &= L / L_{white} \\
 M_a &= M / M_{white} \\
 S_a &= S / S_{white}
 \end{aligned}$$

IV. Un peu d'histoire des CAMs....

En 1976, la CIE normalise deux espaces perceptuellement uniformes, le CIELAB et le CIELUV permettant de définir des distances couleurs cohérentes. En parallèle, dans le début années 1980, Hunt et Nayatani posent les premiers éléments des Modèles d'Apparence Couleur qui seront révisés quelques années plus tard. Les CAMs étendent la colorimétrie basique à la prédiction d'attributs d'apparence sous un très grand nombre de conditions de visualisation différentes.

Dans les années 90 des tests sont alors réalisés par divers groupes de travail pour évaluer les modèles proposés par différents chercheurs. Les modèles RLAB et LLAB apparaissent. La nécessité d'avoir un seul modèle d'apparence couleur a alors été mise en avant et résumée au Symposium de l'Association Internationale de la Couleur, à Vienne, en 1996, par Hunt. Dans sa présentation, Hunt a rappelé les dernières évolutions des travaux sur l'apparence couleur et a énoncé 12 principes cités en Annexe 1. Ces principes ont servi de règles de base pour établir les modèles CIECAM97s, normalise par la CIE (Commission Internationale de l'Eclairage). Au début de ce siècle, des tests approfondis et ciblés sont menés, des raffinements des modèles sont proposés pour arriver au CIECAM02 présenté par Ronnier Luo au congrès CIC de Scottsdale, en novembre 2002. En parallèle de nouveaux modèles sont étudiés en relation avec des métriques d'évaluation de la qualité, c'est ainsi qu'apparaît le modèle iCAM proposé au Munsell Institute du Rochester Institute of Technology, par Mark Fairchild.

La définition de la CIE TC1-34 indique que :

« To be considered as color appearance model, a model must account for at least chromatic adaptation and have correlates of at least lightness, chroma, and hue. »

Le CIELAB peut donc être considéré comme le premier CAM si on l'utilise correctement, avec le vrai blanc de référence. En effet, le CIELAB effectue une modélisation de l'adaptation chromatique, une modélisation de la réponse à la compression, il permet des calculs des attributs Lightness, Chroma, Hue et une mesure perceptuelle de différence couleur. Mais CIELAB n'effectue pas : la prédiction des effets dépendants de la Luminance, les effets de Background et de Surround. Il n'a pas une fonction de transformation chromatique précise.

Les équations du CIELAB sont :

$$\begin{aligned} L^* &= 116(Y/Y_n)^{1/3} - 16 \\ a^* &= 500[(X/X_n)^{1/3} - (Y/Y_n)^{1/3}] \\ b^* &= 200[(Y/Y_n)^{1/3} - (Z/Z_n)^{1/3}] \end{aligned}$$

avec XYZ_n, référence du blanc ;

si les rapports X/X_n, Y/Y_n, Z/Z_n sont supérieurs à 0.008856.

Sinon, on applique la fonction $f(w) = 7.787w + 16/116$

Au CIELAB, on associe la métrique CIED94 :

$$\begin{aligned} \Delta_{ab} &= \sqrt{(\Delta L)^2 + (\Delta c)^2 + (\Delta h)^2}, \\ \Delta h &= \rho \sqrt{2(c_1 c_2 - a_1 b_2 - a_2 b_1)}, \\ \rho &= \begin{cases} -1, & a_1 b_2 > a_2 b_1 \\ 1, & a_1 b_2 < a_2 b_1 \end{cases} \end{aligned} \quad \text{Avec} \quad \begin{aligned} h &= \arctan\left(\frac{b}{a}\right) \\ c &= \sqrt{a^2 + b^2} \end{aligned}$$

On remarquera que les stimuli achromatiques ont une valeur de C nulle. L'angle de teinte h est exprimé en degrés positifs à partir de 0° sur les valeurs positives de l'axe a et en tournant dans le sens des aiguilles d'une montre.

La transformation d'adaptation chromatique ici utilisée est de type Von Kries :

$$\begin{array}{c|ccc} |L| & |k_l| & 0 & 0| \\ |M| & |0 & k_m & 0| \\ |S| & |0 & 0 & k_s| \end{array} \begin{array}{c} |L| \\ |M| \\ |S| \end{array}$$

On peut alors écrire, en utilisant une matrice **M** du type donné ci-dessus :

$$\mathbf{M} \begin{array}{c} |X_a| \\ |Y_a| \\ |Z_a| \end{array} = \begin{array}{c|ccc} |k_l| & 0 & 0| \\ |0 & k_m & 0| \\ |0 & 0 & k_s| \end{array} \mathbf{M} \begin{array}{c} |Y| \\ |Y| \\ |Z| \end{array}$$

Soit :

$$\begin{array}{c|ccc} |X_a| & |0.74k_l+0.26 k_m & 1.32k_l-1.32 k_m & -0.15k_l-0.05 k_m+0.020 k_s| \\ |Y_a| & |0.14k_l-0.14 k_m & 0.26k_l+0.74 k_m & -0.03k_l+0.03 k_s| \\ |Z_a| & |0 & 0 & k_s| \end{array} \begin{array}{c} |Y| \\ |Y| \\ |Z| \end{array}$$

Cette matrice n'est pas diagonale.

On a pu constater des erreurs importantes sur les prédictions de teinte pour des stimuli bleus en passant d'un éclairage de jour à un éclairage de type incandescent.

De nombreux autres modèles ont alors été proposés sur la base de différentes fonctions de transformations comme le modèle de Natayani, celui de Hunt qui est le plus complet mais le plus complexe, les modèles RLAB et LLAB, ATD. Nous ne les détaillerons pas ici, nous renvoyons le lecteur intéressé à l'ouvrage de Mark Fairchild.

Nous allons maintenant nous focaliser sur le plus connu et le plus utilisé des modèles d'apparence couleur : le CIECAM97s.

V. Le CIECAM97s

La formulation des CIECAM97s a été définie par le groupe de travail TC1-34 de la CIE et repose sur le travail de nombreux chercheurs (Bartleson, Breneman, Fairchild, Estevez, Hunt, Lam, Luo, Nayatani, Rigg, Seim, Valberg...). Le modèle complet, CIECAM97c, a ensuite été déduit du modèle simple en incluant notamment la prédiction des effets de Helson-Judd et de Helmholtz-Kohlrausch.

1) Les données d'entrées

Les données d'entrée du modèle sont :

- ✓ La luminance du champ de visualisation (viewing field), L_A en cd/m^2 (en général 20% de la luminance du blanc dans le champ d'adaptation),
- ✓ Les valeurs relatives XYZ de l'échantillon dans les conditions d'origine,
- ✓ Les valeurs relatives du blanc, $X_w Y_w Z_w$, dans les conditions d'origine,
- ✓ La luminance relative du fond Y_b dans les conditions d'origine.

On peut aussi ajouter les constantes suivantes :

- ✓ c , pour l'impact de l'environnement (surround),
- ✓ N_c , facteur d'induction chromatique,
- ✓ F_{LL} , facteur de contraste lumineux (lightness),
- ✓ F , un facteur pour le degré d'adaptation.

Ces facteurs doivent être sélectionnés dans la table 1 ci-dessous.

Toutes les valeurs tri-chromatiques sont obtenues à partir du standard de l'observateur colorimétrique 2° de la CIE 1931. Notons que les environnements d'observation pour lesquels la luminance relative est supérieure ou approximativement égale à 20% du blanc sont considérés comme « average », moins de 20%, comme « dim » et à 0% ils sont considérés comme « dark ».

Viewing Condition	c	N _c	F ₁₁	F
Average Surround, Samples Subtending > 4°	0.69	1.0	0.0	1.0
Average Surround	0.69	1.0	1.0	1.0
Dim Surround	0.59	1.1	1.0	0.9
Dark Surround	0.525	0.8	1.0	0.9
Cut-Sheet Transparencies (on a viewing box)	0.41	0.8	1.0	0.9

Table 1 : Guide de sélection des paramètres pour le CIECAM97s.

2) Transformation d'Adaptation Chromatique (CAT)

Une première transformation est utilisée pour passer des conditions de visualisation source, aux couleurs correspondantes dans les conditions de visualisation de référence. Cette première transformation peut se traduire par les matrices suivantes :

$$\begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} = M_B \begin{bmatrix} X/Y \\ Y/Y \\ Z/Y \end{bmatrix} \quad (2.1)$$

$$M_B = \begin{bmatrix} 0.8951 & 0.2664 & -0.1614 \\ -0.7502 & 1.7135 & 0.0367 \\ 0.0389 & -0.0685 & 1.0296 \end{bmatrix} \quad M_B^{-1} = \begin{bmatrix} 0.9870 & -0.1471 & 0.1600 \\ 0.4323 & 0.5184 & 0.0493 \\ -0.0085 & 0.0400 & 0.9685 \end{bmatrix} \quad (2.2)$$

La transformation d'adaptation chromatique est alors de type transformée Von Kries, avec une non-linéarité exponentielle sur les petites longueurs d'onde. Elle se traduit par les équations (2.3) à (2.6). La variable D est utilisée pour spécifier le degré d'adaptation. D est mis à 1.0 pour une adaptation totale ou pour la réduction de la prise en compte de l'illuminant (cas typique des matériaux réfléchissants). Si on ne prend en compte aucune adaptation, D est mis à 0. Les valeurs intermédiaires de D correspondent à divers degrés d'adaptation chromatique. L'équation 2.7 permet le calcul des ces valeurs intermédiaires de D pour des conditions variées de niveaux de luminance et de conditions d'environnement.

$$R_c = [D(1.0/R_w) + 1 - D]R \quad (2.3)$$

$$G_c = [D(1.0/G_w) + 1 - D]G \quad (2.4)$$

$$B_c = [D(1.0/B_w^p) + 1 - D]B^p \quad (2.5)$$

$$p = (B_w / 1.0)^{0.0834} \quad (2.6)$$

$$D = F - F / [1 + 2(L_A^{1/4}) + (L_A^2) / 300] \quad (2.7)$$

Remarquons que si B est négative, alors B_c sera aussi négative.

D'autres facteurs doivent aussi être calculés ainsi que le montre les équations (2.8) à (2.12).

Ces équations incluent un facteur d'adaptation au niveau de luminance F_L , des facteurs d'induction (brightness-chromatic et brightness-background), N_{bb} and N_{cb} , et une nonlinéarité exponentielle z , qui dépendent tous les 3 de la luminance relative du fond Y_b .

$$k = 1/(5L_A + 1) \quad (2.8)$$

$$F_L = 0.2k^4(5L_A) + 0.1(1 - k^4)^2(5L_A)^{1/3} \quad (2.9)$$

$$n = Y_b / Y_w \quad (2.10)$$

$$N_{bb} = N_{cb} = 0.725(1/n)^{0.2} \quad (2.11)$$

$$z = 1 + F_{L1} n^{1/2} \quad (2.12)$$

Les signaux de post-adaptation à la fois de l'échantillon et du blanc de référence sont alors transformés à l'aide de la formule de réponse des cônes de Hunt-Pointer-Estevéz donnés dans les équations 2.13 et 2.14. et 2.15 à 2.17.

$$\begin{bmatrix} R' \\ G' \\ B' \end{bmatrix} = M_H M_B^{-1} \begin{bmatrix} R_c Y \\ G_c Y \\ B_c Y \end{bmatrix} \quad (2.13)$$

$$M_H = \begin{bmatrix} 0.38971 & 0.68898 & -0.07868 \\ -0.22981 & 1.18340 & 0.04641 \\ 0.00 & 0.00 & 1.00 \end{bmatrix} \quad M_H^{-1} = \begin{bmatrix} 1.9102 & -1.1121 & 0.2019 \\ 0.3710 & 0.6291 & 0.00 \\ 0.00 & 0.00 & 1.00 \end{bmatrix} \quad (2.14)$$

$$R'_a = \frac{40(F_L R' / 100)^{0.73}}{[(F_L R' / 100)^{0.73} + 2]} + 1 \quad (2.15)$$

$$G'_a = \frac{40(F_L G' / 100)^{0.73}}{[(F_L G' / 100)^{0.73} + 2]} + 1 \quad (2.16)$$

$$B'_a = \frac{40(F_L B' / 100)^{0.73}}{[(F_L B' / 100)^{0.73} + 2]} + 1 \quad (2.17)$$

3) Les attributs d'apparence

Les dimensions antagonistes rouge-vert et jaune-bleu sont d'abord calculées par les équations 2.18 et 2.19 :

$$a = R'_a - 12G'_a / 11 + B'_a / 11 \quad (2.18)$$

$$b = (1/9)(R'_a + G'_a - 2B'_a) \quad (2.19)$$

La teinte angulaire, hue, est donnée par l'équation 2.20 :

$$h = \tan^{-1}(b/a) \quad (2.20)$$

La teinte H, et l'écart-type associé, e, sont calculés à partir de la teinte angulaire, hue. Ils sont interpolés de manière linéaire à partir des formules 2.21 et 2.22 :

$$e = e_1 + (e_2 - e_1)(h - h_1)/(h_2 - h_1) \quad (2.21)$$

$$H = H_1 + \frac{100(h - h_1)/e_1}{(h - h_1)/e_1 + (h_2 - h)/e_2} \quad (2.22)$$

Les quantités indicées par 1 and 2 font référence aux teintes et écarts pour les valeurs de teintes angulaires juste avant et la teinte angulaire d'intérêt.

Quelques exemples sont donnés par les valeurs suivantes :

Red: h = 20.14, e = 0.8, H = 0 or 400,
 Yellow: h = 90.00, e = 0.7, H = 100,
 Green: h = 164.25, e = 1.0, H = 200,
 Blue: h = 237.53, e = 1.2. H = 300

La réponse achromatique est calculée par l'équation 2.23, pour l'échantillon comme pour le blanc :

$$A = [2R'_a + G'_a + (1/20)B'_a - 2.05]N_{bb} \quad (2.23)$$

La Lightness, J, est calculée à partir de la réponse achromatique de l'échantillon, A, et du blanc, A_w, en utilisant l'équation 2.24 :

$$J = 100(A/A_w)^{cz} \quad (2.24)$$

La Brightness, Q, est calculé à l'aide de la lightness et de la réponse achromatique du blanc par l'équation 2.25 :

$$Q = (1.24/c)(J/100)^{0.67}(A_w + 3)^{0.69} \quad (2.25)$$

Pour finir, la saturation, s, le chroma, C, et la colourfulness, M, sont calculés par les équations 2.26 à 2.28 :

$$s = \frac{50(a^2 + b^2)^{1/2} 100e(10/13)N_c N_{cb}}{R'_a + G'_a + (21/20)B'_a} \quad (2.26)$$

$$C = 2.44s^{0.69}(J/100)^{0.67n}(1.64 - 0.29^n) \quad (2.27)$$

$$M = CF_L^{0.15} \quad (2.28)$$

Ce modèle est inversible ainsi qu'on le voit en Annexe 2.

Le modèle CIECAM97s est bien adapté aux applications demandant des métriques d'apparence couleur plus sophistiquées que celles issues du CIELAB. Il n'autorise pas les

prédictions des effets de Helson-Judd, ni de Helmholtz-Kohlrausch effect. Un modèle plus complet a ensuite été proposé : le CIECAM97c qui doit être utilisé si ces phénomènes sont importants.

V. CIECAM02

Le modèle CIECAM02 a été construit à partir du CIECAM97s, afin d'offrir des optimisations. Nous allons donc simplement décrire les différences du CAM02 par rapport au CAM97s.

1) Les données d'entrées

Les données d'entrée du modèle sont les mêmes que pour le CIECAM97s.

Les paramètres liés à l'environnement (c, pour l'impact de l'environnement, N_c , facteur d'induction chromatique, et F, degré d'adaptation) sont donnés par la t2 suivante :

Surround	F	c	N_c
Average	1.0	0.69	1.0
Dim	0.9	0.59	0.95
Dark	0.8	0.525	0.8

Table 2 : Guide de sélection des paramètres pour le CIECAM02

2) La Transformée d'Adaptation Chromatique

On calcule les facteurs d'induction du fond (background), n , les facteurs d'induction de (brightness-chromaticet brightness-background), N_{bb} and N_{cb} , et la non-linéarité exponentielle z par les équations 1 à 5 :

$$k = 1/(5L_A + 1) \quad (1)$$

$$F_L = 0.2k^4(5L_A) + 0.1(1 - k^4)^2(5L_A)^{1/3} \quad (2)$$

$$n = Y_b / Y_w \quad (3)$$

$$N_{bb} = N_{cb} = 0.725(1/n)^{0.2} \quad (4)$$

$$z = 1.48 + \sqrt{n} \quad (5)$$

La transformée d'adaptation chromatique peut s'écrire sous la forme :

$$\begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} = M_{CAM02} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} \quad (6)$$

Avec :

$$\mathbf{M}_{\text{CARTO2}} = \begin{bmatrix} 0.7328 & 0.4296 & -0.1624 \\ -0.7036 & 1.6975 & 0.0061 \\ 0.0090 & 0.0136 & 0.9834 \end{bmatrix} \quad (7)$$

Le facteur D ou degré d'adaptation est une fonction de l'environnement L_A (Equation 8). En théorie, il peut prendre les valeurs de 0, pour la non adaptation à 1 pour une adaptation complet au point blanc. En pratique, la valeur minimale de D est de 0.65 pour un environnement d'observation sombre (dark) et converge exponentiellement vers 1 pour les environnements de jour (average) avec l'augmentation de L_A . Un graphe de l'évolution de D en fonction de L_A pour trois environnements d'observation est donné sur la figure 3.

$$D = F \left[1 - \left(\frac{1}{3.6} \right) e^{\left(\frac{-L_A - 42}{92} \right)} \right] \quad (8)$$

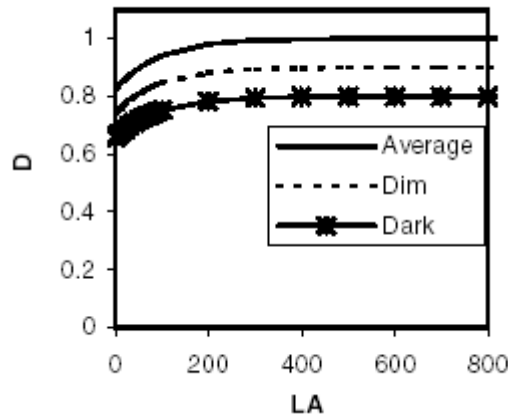


Figure 3 : Evolution du facteur D en fonction de la luminance du champ d'adaptation, Selon le type de l'environnement d'observation.

On calcule alors les coordonnées RGB_c représentant les couleurs correspondantes à un illuminant de même énergie :

$$R_c = \left[\left(Y_w \frac{D}{R_w} \right) + (1 - D) \right] R \quad (9)$$

Les coordonnées finales sont alors données par les équations 10 à 12 :

$$\begin{bmatrix} R' \\ G' \\ B' \end{bmatrix} = \mathbf{M}_H \mathbf{M}_{\text{CARTO2}}^{-1} \begin{bmatrix} R_c \\ G_c \\ B_c \end{bmatrix} \quad (10)$$

$$\mathbf{M}_{\text{CARTO2}}^{-1} = \begin{bmatrix} 1.096124 & -0.278889 & 0.182745 \\ 0.454369 & 0.473533 & 0.072098 \\ -0.009628 & -0.005698 & 1.015326 \end{bmatrix} \quad (11)$$

$$\mathbf{M}_H = \begin{bmatrix} 0.38971 & 0.68898 & -0.07868 \\ -0.22981 & 1.18340 & 0.04641 \\ 0.00000 & 0.00000 & 1.00000 \end{bmatrix} \quad (12)$$

3) Les attributs d'apparence

Les couleurs antagonistes sont données par les équations 14 et 15 :

$$a = R'_a - 12G'_a / 11 + B'_a / 11 \quad (14)$$

$$b = (1/9)(R'_a + G'_a - 2B'_a) \quad (15)$$

$$t = \frac{e(a^2 + b^2)^{0.25}}{R'_a + G'_a + (21/20)B'_a} \quad (16)$$

L'équation 16 calcule une valeur intermédiaire liée à la saturation qui inclut les facteurs d'induction chromatique pour le surround (N_c) (environnement) et le background (N_{cb}), dans le facteur e donné dans l'équation 18.

La teinte angulaire hue et la teinte H sont données par les équations 17 à 19 :

$$h = \tan^{-1}(b/a) \quad (17)$$

$$e = \left(\frac{12500}{13} N_c N_{cb} \left[\cos\left(h - \frac{\pi}{180} + 2\right) + 3.8 \right] \right) \quad (18)$$

$$H = H_i + \frac{100(h - h_1)/e_1}{(h - h_1)/e_1 + (h_2 - h)/e_2} \quad (19)$$

Le chroma, C , la colorfulness, M , et la saturation s , sont obtenues par les équations 23 à 25 :

$$C = t^{10} \sqrt{J/100} (1.64 - 0.29^n)^{1.73} \quad (23)$$

$$M = CF_L^{0.25} \quad (24)$$

$$s = 100 \sqrt{M/Q} \quad (25)$$

Des coordonnées cartésiennes peuvent être précisées par :

$$a_c = C \cos(h) \quad (26)$$

$$b_c = C \sin(h) \quad (27)$$

Ce modèle est inversible, il peut prédire tous les phénomènes prédits par le CIECAM97s et améliore les différents niveaux de luminance pouvant être pris en compte ainsi que l'adaptation chromatique.

Comme le CIECAM97s, le CIECAM02 n'est pas applicable dans les situations où les bâtonnets (rods) apportent une contribution significative à la vision (situation mésopique ou scotopique) ou dans des situations de forte luminosité où les cônes pourraient être saturés.

On trouvera en Annexe 3 un exemple de programme C pour mettre en place ce modèle.

Rappelons qu'aux deux modèles CIECAM97s et CIECAM02, on peut associer la distance couleur CIEDE2000 :

$$\Delta E_{[x,y]} = \sqrt{\left(\frac{\Delta L'_{[x,y]}}{K_L S_{L[x,y]}}\right)^2 + \left(\frac{\Delta C'_{[x,y]}}{K_C S_{C[x,y]}}\right)^2 + \left(\frac{\Delta H'_{[x,y]}}{K_H S_{H[x,y]}}\right)^2 + R_{T[x,y]} \left(\frac{\Delta C'_{[x,y]}}{K_C S_{C[x,y]}} \frac{\Delta H'_{[x,y]}}{K_H S_{H[x,y]}}\right)}$$

avec K_L , K_C et K_H constantes dépendantes des données. En général à 1.

VII Quelques éléments comparatifs des CAMs les plus connus

Les différents éléments pris en compte par les CAMs les plus connus sont donnés dans la table 3.

Nous livrons ici quelques résultats comparatifs de la CIE, qu'on peut retrouver sur leur site, obtenus à partir de la base de données de test de Lutchi :

- **CIELAB: Etonnement Bon, Modèle d'adaptation pauvre, non linéarités dans les teintes.**
- **Hunt: Généralement bien mais complexe.**
- **Nayatani *et al.*: Maigres performances (Helson-Judd).**
- **ATD: Bon potentiel demande interprétation, incomplet .**
- **RLAB: très bon pour le traitement d'images.**
- **CIECAM97s: équivalent au meilleur dans toutes les situations, rarement mieux.**
- **ZLAB: idem CIECAM97s pour l'adaptation**

On préférera le CIECAM02 au CIECAM97s dans toutes les situations.

	ATD	CIELAB	Nayatani	Hunt	RLAB	LIAB	CIECAM97s	ZLAB
Lightness		X	X	X	X	X	X	X
Brightness	X		X	X			X	
Chroma		X	X	X	X	X	X	X
Saturation	X	(X)	X	X	X	X	X	X
Colorfulness			X	X		X	X	
Hue Angle	X	X	X	X	X	X	X	X
Hue			X	X	X	X	X	X
Helson-Judd			X	X				
Stevens			X	X	**	X	X	**
Hunt			X	X	**	X	X	**
Helmholtz-Kohlrausch	X	(X)		X	(X)			
Bartleson-Breneman				X	X	X	X	X
Discounting				X	X	X	X	X
Color Difference		X			X	X		
Others	X		X	X				

Table 3 : comparaison des données de différents CAMs

CONCLUSION et PERSPECTIVES

Les modèles d'apparence couleur viennent relayer la colorimétrie et tendent à prendre de plus en plus d'importance dans le monde numérique où les usagers sont de plus en plus exigeants sur la qualité de reproduction de leurs images couleurs. Ces modèles restent cependant complexes.

Dans des situations simples, l'utilisation de CIELAB est suffisante. Sinon, on peut combiner CIELAB avec une Transformation d'Adaptation Chromatique performante comme la CAT02 du modèle CIECAM02. Pour être encore un peu plus performant on peut utiliser le RLAB en modifiant éventuellement la CAT associée pour la remplacer par la CAT02. Si cela reste insuffisant, le CIECAM02 peut alors être utilisé, de préférence au CIECAM97s. Si la situation est encore plus complexe (si il faut par exemple prendre en compte l'implication des bâtonnets), on utilisera le modèle de Hunt, le plus complet mais aussi le plus compliqué !

Pour tenter de trouver un compromis entre efficacité et complexité, les recherches continuent et c'est ainsi que le modèle iCAM a été proposé par Fairchild. L'avenir des CAMs repose sans aucun doute sur la prise en compte aisée de situations d'observation encore plus variées comme les conditions scotopiques et mésopiques, en particulier pour le cinéma numérique. L'avenir des CAMs passera en effet par leur extension à la vidéo alors qu'ils touchent actuellement essentiellement les images statiques et les arts graphiques. Par ailleurs, les évolutions quant à une meilleure connaissance du système visuel humain ne pourront qu'enrichir les CAMs qui devraient prendre en compte encore d'avantage de phénomènes chromatiques spatio-temporels du SVH.

Bibliographie incontournable

*Fairchild, M.D. *Color appearance models*. Reading, MA: Addison-Wesley. 1° édition 1998, 2° édition 2004
Vient de sortir !!!

*le site de Mark Fairchild : <http://www.cis.rit.edu/people/faculty/fairchild/CAM.html>

*le site de Nathan Moroney : http://www.hpl.hp.com/personal/Nathan_Moroney/

*le site de la CIE : <http://www.colour.org/>

Annexe 1 : Les 12 principes énoncés par Hunt en 1996

1. *The model should be as comprehensive as possible, so that it can be used in a variety of applications; but at this stage, only static states of adaptation should be included, because of the great complexity of dynamic effects.*
2. *The model should cover a wide range of stimulus intensities, from very dark object colours to very bright self-luminous colour. This means that the dynamic response function must have a maximum, and cannot be a simple logarithmic or power function.*
3. *The model should cover a wide range of adapting intensities, from very low scotopic levels, such as occur in starlight, to very high photopic levels, such as occur in sunlight. This means that rod vision should be included in the model; but because many applications will be such that rod vision is negligible, the model should be usable in a mode that does not include rod vision.*
4. *The model should cover a wide range of viewing conditions, including backgrounds of different luminance factors, and dark, dim, and average surrounds. It is necessary to cover the different surrounds because of their widespread use in projected and self-luminous displays.*
5. *For ease of use, the spectral sensitivities of the cones should be a linear transformation of the CIE x , y , z or x_{10} , y_{10} , z_{10} functions, and the $V'()$ function should be used for the spectral sensitivity of the rods. Because scotopic photometric data is often unknown, methods of providing approximate scotopic values should be provided.*
6. *The model should be able to provide for any degree of adaptation between complete and none, for cognitive factors, and for the Helson- Judd effect, as options.*
7. *The model should give predictions of hue (both as hue-angle, and as hue-quadrature), brightness, lightness, saturation, chroma, and colourfulness.*
8. *The model should be capable of being operated in a reverse mode.*
9. *The model should be no more complicated than is necessary to meet the above requirements.*
10. *Any simplified version of the model, intended for particular applications, should give the same predictions as the complete model for some specified set of conditions.*
11. *The model should give predictions of colour appearance that are not appreciably worse than those given by the model that is best in each application.*
12. *A version of the model should be available for application to unrelated colours (those seen in dark surrounds in isolation from other colours).*

Annexe 2 : Inversion du modèle CIECAM97s

(Provided to TC1-34 by R.W.G. Hunt, September, 1997)

Starting Data:

Q or J, M or C, H or h

A_w , n, z, F_L , N_{bb} , N_{cb} Obtained Using Forward Model

Surround Parameters: F, c, F_{LL} , N_c

Luminance Level Parameters: L_A , D

Unique Hue Data:

Red: h = 20.14, e = 0.8

Yellow: h = 90.00, e = 0.7

Green: h = 164.25, e = 1.0

Blue: h = 237.53, e = 1.2

(1) From Q Obtain J (if necessary)

$$J = 100(Qc/1.24)^{1/0.67} / (A_w + 3)^{0.9/0.67}$$

(2) From J Obtain A

$$A = (J/100)^{1/\alpha} A_w$$

(3) Using H, Determine h_1 , h_2 , e_1 , e_2 (if h is not available)

e_1 and h_1 are the values of e and h for the unique hue having the nearest lower value of h and e_2 and h_2 are the values of e and h for the unique hue having the nearest higher value of h.

(4) Calculate h (if necessary)

$$h = \frac{(H - H_1)(h_1/e_1 - h_2/e_2) - 100h_1/e_1}{(H - H_1)(1/e_1 - 1/e_2) - 100/e_1}$$

H_1 is 0, 100, 200, or 300 according to whether red, yellow, green, or blue is the hue having the nearest lower value of h.

(5) Calculate e

$$e = e_1 + (e_2 - e_1)(h - h_1)/(h_2 - h_1)$$

e_1 and h_1 are the values of e and h for the unique hue having the nearest lower value of h and e_2 and h_2 are the values of e and h for the unique hue having the nearest higher value of h.

(6) Calculate C (if necessary)

$$C = M/F_L^{0.15}$$

(7) Calculate s

$$s = C^{1/0.69} \left[2.44(J/100)^{0.67n} (1.64 - 0.29^n) \right]^{1/0.69}$$

(8) Calculate a and b

$$a = s(A/N_{bb} + 2.05) / \left\{ \left[1 + (\tanh h)^2 \right]^{1/2} \left[50000eN_c N_{cb} / 13 \right] + s \left[(11/23) + (108/23)(\tan h) \right] \right\}$$

In calculating $\left[1 + (\tanh h)^2 \right]^{1/2}$ the result is taken as:

positive for $0^\circ \leq h < 90^\circ$

negative for $90^\circ \leq h < 270^\circ$

positive for $270^\circ \leq h < 360^\circ$.

$$b = a(\tan h)$$

(9) Calculate R'_a , G'_a , and B'_a

$$R'_a = (20/61)(A/N_{bb} + 2.05) + (41/61)(11/23)a + (288/61)(1/23)b$$

$$G'_a = (20/61)(A/N_{bb} + 2.05) - (81/61)(11/23)a - (261/61)(1/23)b$$

$$B'_a = (20/61)(A/N_{bb} + 2.05) - (20/61)(11/23)a - (20/61)(315/23)b$$

(10) Calculate R' , G' , and B'

$$R' = 100 \left[(2R'_a - 2) / (41 - R'_a) \right]^{1/0.73}$$

$$G' = 100 \left[(2G'_a - 2) / (41 - G'_a) \right]^{1/0.73}$$

$$B' = 100 \left[(2B'_a - 2) / (41 - B'_a) \right]^{1/0.73}$$

If $R'_a - 1 < 0$ use:

$$R' = -100 \left[(2 - 2R'_a) / (39 + R'_a) \right]^{1/0.73}$$

and similarly for the G' and B' equations.

(11) Calculate $R_c Y$, $G_c Y$, and $B_c Y$

$$\begin{bmatrix} R_c Y \\ G_c Y \\ B_c Y \end{bmatrix} = M_B M_H^{-1} \begin{bmatrix} R' / F_L \\ G' / F_L \\ B' / F_L \end{bmatrix}$$

(12) Calculate Y_c

$$Y_c = 0.43231R_c Y + 0.51836G_c Y + 0.04929B_c Y$$

(13) Calculate $(Y/Y_c)R$, $(Y/Y_c)G$, and $(Y/Y_c)^{1/p}B$

$$(Y/Y_c)R = (Y/Y_c)R_c \left[D(1/R_w) + 1 - D \right]$$

$$(Y/Y_c)G = (Y/Y_c)G_c \left[D(1/G_w) + 1 - D \right]$$

$$(Y/Y_c)^{1/p}B = \left[(Y/Y_c)B_c \right]^{1/p} \left[D(1/B_w^p) + 1 - D \right]^{1/p}$$

If $(Y/Y_c)B_c < 0.0$ then $(Y/Y_c)^{1/p}B$ is also set to be negative.

(14) Calculate Y'

$$Y' = 0.43231YR + 0.51836YG + 0.04929(Y/Y_c)^{1/p}BY_c$$

(15) Calculate X'' , Y'' and Z''

$$\begin{pmatrix} X'' \\ Y'' \\ Z'' \end{pmatrix} = M_B^{-1} \begin{pmatrix} Y_c(Y/Y_c)R \\ Y_c(Y/Y_c)G \\ Y_c(Y/Y_c)^{1/p}B/(Y'/Y_c)^{(1/p-1)} \end{pmatrix} \quad (4.22)$$

Note: X'' , Y'' , and Z'' are equal to the desired X , Y , and Z to a very close approximation. This is because Y' differs from Y since $(Y/Y_c)^{1/p}BY_c$ is used instead of YB . However this is multiplied by 0.04929 so the difference is small.

Annexe 3 : Exemple d'un programme C pour mettre en place le modèle CIECAM02

CIECAM02

=====

The model input data are the adapting field luminance in cd/m² (normally taken to be 20% of the luminance of white in the adapting field),
La , the relative tristimulus values of the stimulus, XYZ, the relative tristimulus values of white in the same viewing conditions, "whitePoint", and the relative luminance of the background, Yb . Relative tristimulus values should be expressed on a scale from Y = 0 for a perfect black to Y = 100 for a perfect reflecting diffuser.

All CIE tristimulus values are obtained using the CIE 1931 Standard Colorimetric Observer (2°).

```
typedef struct {  
  
    cmsCIEXYZ whitePoint; // The media white in XYZ  
  
    double    Yb;  
    double    La;  
    int       surround;  
    double    D_value;  
  
} cmsViewingConditions, FAR* LPcmsViewingConditions;
```

Surround can be one of these

```
#define AVG_SURROUND    1  
#define DIM_SURROUND   2  
#define DARK_SURROUND  3
```

D_value (adaptation degree) is any value between 0 and 1

The functions for dealing with CAM02 appearance model are:

```
LCMSHANDLE cmsCIECAM02Init(LPcmsViewingConditions pVC);  
void        cmsCIECAM02Done(LCMSHANDLE hModel);  
void        cmsCIECAM02Forward(LCMSHANDLE hModel, LPcmsCIEXYZ pIn,  
LPcmsJCh pOut);  
void        cmsCIECAM02Reverse(LCMSHANDLE hModel, LPcmsJCh pIn,  
LPcmsCIEXYZ pOut);
```


For example, to convert XYZ values from a given viewing condition to another:

- a) Create descriptions of both viewing conditions by using cmsCIECAM02Init
- b) Convert XYZ to JCh using cmsCIECAM02Forward for viewing condition 1
- c) Convert JCh back to XYZ using cmsCIECAM02Reverse for viewing condition 2
- d) when done, free both descriptions

```
cmsViewingConditions vc1, vc2;  
cmsJCh Out;  
cmsCIEXYZ In;  
HANDLE h1, h2;
```

```
vc.whitePoint.X = 98.88;  
vc.whitePoint.Y = 90.00;  
vc.whitePoint.Z = 32.03;  
vc.Yb = 18;  
vc.La = 200;  
vc.surround = AVG_SURROUND;  
vc.D_value = 1.0;
```

```
h1 = cmsCIECAM02Init(&vc);
```

```
vc2.whitePoint.X = 98.88;  
vc2.whitePoint.Y = 100.00;  
vc2.whitePoint.Z = 32.03;  
vc2.Yb = 20;  
vc2.La = 20;  
vc2.surround = AVG_SURROUND;  
vc2.D_value = 1.0;
```

```
h2 = cmsCIECAM02Init(&vc);
```

```
In.X= 19.31;  
In.Y= 23.93;  
In.Z =10.14;
```

```
cmsCIECAM02Forward(h1, &In, &Out);  
cmsCIECAM02Reverse(h2, &Out, &In);
```

```
cmsCIECAM02Done(h1);  
cmsCIECAM02Done(h2);
```