

## RECOMMANDATION UIT-R BT.1361\*

**Caractéristiques colorimétriques et caractéristiques connexes unifiées  
à l'échelle mondiale des futurs systèmes de télévision et d'imagerie**

(Question UIT-R 1-3/11)

(1998)

L'Assemblée des radiocommunications de l'UIT,

*considérant*

- a) que les paramètres colorimétriques varient d'un système de télévision à l'autre;
- b) que l'infographie a de nombreuses applications dans la production de programmes de télévision et que les écrans de télévision sont utilisés avec des ordinateurs;
- c) qu'il est nécessaire d'assurer l'interfonctionnement des divers systèmes de télévision et des autres systèmes d'imagerie, par exemple: entre films cinématographiques et infographie;
- d) qu'il est souhaitable de disposer d'une norme colorimétrique unique pour assurer cette interopérabilité et minimiser ainsi la conversion entre différents systèmes de télévision et différents systèmes d'imagerie;
- e) que, bien que les écrans de télévision actuels puissent reproduire une grande partie des couleurs contenues dans des scènes naturelles, il est nécessaire de disposer d'une gamme chromatique plus étendue pour reproduire toutes les couleurs naturelles de surface;
- f) que de nouveaux dispositifs d'affichage pouvant reproduire une gamme de couleurs plus étendue sont mis sur le marché;
- g) que la gamme de couleurs reproductible peut varier d'un écran à l'autre en fonction de l'application, du coût et des performances;
- h) que, dans le choix des paramètres colorimétriques d'un système de télévision, il est essentiel que le système délivre toutes les informations chromatiques et ne soit pas limité par la gamme de couleurs reproductible par un écran donné;
- j) que la gamme de couleurs d'un système peut être élargie en autorisant la présence de valeurs négatives ou de valeurs supérieures à 100% dans le cas de signaux *RVB*, tout en restant compatible avec les systèmes conventionnels;
- k) que, bien que des paramètres colorimétriques et des caractéristiques connexes aient été spécifiés pour la gamme de couleurs conventionnelle dans la Recommandation UIT-R BT.709, il est nécessaire de disposer pour tous les futurs systèmes de télévision d'une seule Recommandation spécifiant un ensemble unifié de paramètres colorimétriques et de caractéristiques connexes;
- l) que l'adoption d'un ensemble de paramètres colorimétriques et de caractéristiques connexes unifié à l'échelle mondiale favorisera les échanges internationaux et facilitera la mise en place de systèmes de transmission unifiés à haute efficacité spectrale;
- m) que l'adoption d'un ensemble de paramètres colorimétriques et de caractéristiques connexes unifié à l'échelle mondiale se traduira en définitive par des avantages économiques pour les radiodiffuseurs et les industries concernées (fabricants de téléviseurs et autres), cela aidera aussi les organisations opérant dans les pays en développement,

---

\* La Commission d'études 6 des radiocommunications a apporté des modifications rédactionnelles à cette Recommandation en 2002 conformément aux dispositions de la Résolution UIT-R 44.

*recommande*

1 d'utiliser pour tous les futurs systèmes de télévision et d'imagerie, les paramètres colorimétriques et les caractéristiques connexes décrits dans les Tableaux 1, 2 et 3 de la présente Recommandation.

TABLEAU 1

## Paramètres colorimétriques et caractéristiques connexes

Paramètre	Valeur	
1 Couleurs primaires	Coordonnées de chromaticité (CIE, 1931)	
	<i>x</i>	<i>y</i>
	Rouge	0,640
	Vert	0,300
2 Blanc référence (signal équi-primaire)	<i>D</i> <sub>65</sub>	Coordonnées de chromaticité (CIE, 1931)
		<i>x</i>
		0,3127
3 Caractéristique de transfert optoélectronique <sup>(1)</sup>	$E' = 1,099 L^{0,45} - 0,099$ pour $0,018 \leq L < 1,33$	
	$E' = 4,50 L$ pour $-0,0045 \leq L < 0,018$	
	$E' = -\{1,099 (-4 L)^{0,45} - 0,099\} / 4$ pour $-0,25 \leq L < -0,0045$	
	<i>L</i> est une tension normalisée par le niveau du blanc de référence et est proportionnel à l'intensité lumineuse explicite qui serait détectée avec une voie couleur de caméra de référence; <i>E'</i> est le signal primaire non linéaire résultant.	

<sup>(1)</sup> La précorrection non linéaire dans la région du signal située en dessous de  $L = 0$  et au-dessus de  $L = 1$  est uniquement appliquée aux systèmes qui utilisent la gamme de couleurs étendue. Pour les systèmes qui utilisent une gamme de couleurs conventionnelle, la correction est appliquée dans la région située entre  $L = 0$  et  $L = 1$ . Une explication détaillée du système à gamme de couleurs étendue est donnée dans l'Annexe 1.

TABLEAU 2

## Equations de codage analogique

Paramètres	Equations
	Systemes à gamme de couleurs conventionnelle ou étendue
4 Equations de luminance et de différence de couleur	$E'_Y = 0,2126 E'_R + 0,7152 E'_V + 0,0722 E'_B$ $E'_{CB} = \frac{E'_B - E'_Y}{1,8556}$ $= \frac{-0,2126 E'_R - 0,7152 E'_V + 0,9278 E'_B}{1,8556}$ $E'_{CR} = \frac{E'_R - E'_Y}{1,5748}$ $= \frac{0,7874 E'_R - 0,7152 E'_V - 0,0722 E'_B}{1,5748}$

TABLEAU 3

## Equations de codage numérique

Paramètre	Equations	
	Système à gamme de couleurs conventionnelle	Système à gamme de couleurs étendue <sup>(1)</sup>
5 Quantification des signaux <i>RVB</i> , luminance et différence de couleur <sup>(2), (3)</sup>	$D'_R = \text{ENT} \left[ (219 E'_R + 16) \cdot 2^{n-8} \right]$ $D'_V = \text{ENT} \left[ (219 E'_V + 16) \cdot 2^{n-8} \right]$ $D'_B = \text{ENT} \left[ (219 E'_B + 16) \cdot 2^{n-8} \right]$	$D''_R = \text{ENT} \left[ (160 E'_R + 48) \cdot 2^{n-8} \right]$ $D''_V = \text{ENT} \left[ (160 E'_V + 48) \cdot 2^{n-8} \right]$ $D''_B = \text{ENT} \left[ (160 E'_B + 48) \cdot 2^{n-8} \right]$
	$D'_Y = \text{ENT} \left[ (219 E'_Y + 16) \cdot 2^{n-8} \right]$ $D'_{CB} = \text{ENT} \left[ (224 E'_{CB} + 128) \cdot 2^{n-8} \right]$ $D'_{CR} = \text{ENT} \left[ (224 E'_{CR} + 128) \cdot 2^{n-8} \right]$	
6 Calcul des signaux de luminance et de différence de couleur via des signaux <i>RVB</i> quantifiés <sup>(4)</sup>	$D'_Y = \text{ENT} \left[ 0,2126 D'_R + 0,7152 D'_V + 0,0722 D'_B \right]$ $D'_{CB} = \text{ENT} \left[ \left( -\frac{0,2126}{1,8556} D'_R - \frac{0,7152}{1,8556} D'_V + \frac{0,9278}{1,8556} D'_B \right) \cdot \frac{224}{219} + 2^{n-1} \right]$ $D'_{CR} = \text{ENT} \left[ \left( \frac{0,7874}{1,5748} D'_R - \frac{0,7152}{1,5748} D'_V - \frac{0,0722}{1,5748} D'_B \right) \cdot \frac{224}{219} + 2^{n-1} \right]$	$D''_Y = \text{ENT} \left[ \left\{ (0,2126 D''_R + 0,7152 D''_V + 0,0722 D''_B) - 48 \cdot 2^{n-8} \right\} \frac{219}{160} + 16 \cdot 2^{n-8} \right]$ $D''_{CB} = \text{ENT} \left[ \left( -\frac{0,2126}{1,8556} D''_R - \frac{0,7152}{1,8556} D''_V + \frac{0,9278}{1,8556} D''_B \right) \cdot \frac{224}{160} + 2^{n-1} \right]$ $D''_{CR} = \text{ENT} \left[ \left( \frac{0,7874}{1,5748} D''_R - \frac{0,7152}{1,5748} D''_V - \frac{0,0722}{1,5748} D''_B \right) \cdot \frac{224}{160} + 2^{n-1} \right]$

(1) Une explication détaillée est donnée dans l'Annexe 1.

(2) «*n*» est la longueur en bits du signal quantifié.

(3) L'opérateur ENT retourne la valeur 0 pour les parties fractionnaires comprises entre 0 et 0,4999... et +1 pour les parties fractionnaires comprises entre 0,5 et 0,9999... c'est-à-dire qu'il y a arrondissement à la valeur entière supérieure pour les parties fractionnaires supérieures ou égales à 0,5.

(4) L'Annexe 2 spécifie une procédure permettant d'obtenir des coefficients entiers dans le cas d'un système numérique.

## ANNEXE 1

**Système à gamme de couleurs étendue utilisant des signaux *RVB* négatifs**

La gamme de couleurs reproductible sur un écran de télévision est limitée à l'aire se trouvant à l'intérieur du triangle du diagramme de chromaticité composé des trois couleurs primaires de l'écran. Cela tient au fait que l'on ne peut pas reproduire avec les écrans réels des émissions lumineuses négatives de couleurs primaires. Toutefois, les couleurs situées à l'extérieur du triangle peuvent être transmises lorsque des valeurs négatives ou supérieures à 100% sont autorisées et constituent des signaux primaires *RVB* étendus. Les caméras actuelles produisent normalement des signaux *RVB* à gamme étendue par matricage linéaire afin d'optimiser l'analyse colorimétrique, mais les valeurs étendues sont généralement tronquées dans les processus subséquents de mise en conformité avec le format du signal du système.

La méthode d'extension de la gamme de couleurs utilisant des signaux *RVB* négatifs assure la compatibilité avec les systèmes conventionnels, ce qui permet une transition progressive vers le nouveau système à gamme étendue.

**Intervalle de variation des signaux**

L'intervalle de variation des signaux dans un système de télévision est déterminé par les couleurs primaires de référence, la caractéristique de transfert opto-électronique (courbe de gamma) et la gamme de couleurs que le système doit traiter. Pour pouvoir reproduire toute la gamme de couleurs spectrales pures même avec une large gamme de primaires, il faut un intervalle de variation du signal exceptionnel. Une approche réaliste consiste à limiter la reproduction à la gamme des couleurs de surface fixée par Pointer.

Les niveaux des signaux *RVB* pré-corrigés en gamma des couleurs de Pointer sont représentés à la Fig. 1 (a)-(c). Les couleurs de Pointer donnent les couleurs réelles de surface les plus saturées pour 36 nuances (tous les 10°) et 16 niveaux de luminosité. Sur la Figure, 16 courbes sont tracées pour différents niveaux de luminosité et on peut constater que ces signaux *RVB* prennent des valeurs négatives ou des valeurs supérieures à 100%. La Fig. 2 (a)-(c) représente les niveaux résultant après conversion de ces signaux *RVB* analogiques en signaux analogiques de luminance et de différence de couleur au moyen des équations 4 du Tableau 2. On constate ici que la dynamique du signal de luminance est normale (0-100%) et que celle des signaux de différence de couleur est de  $\pm 50\%$ . Ainsi, pour les signaux analogiques, il y a compatibilité directe entre les systèmes à gamme de couleurs conventionnelle et les couleurs équivalentes d'un système à gamme de couleurs étendue.

En numérique, il est nécessaire, pour quantifier les signaux *RVB* d'une gamme de couleurs étendue, d'utiliser des facteurs d'échelle et un décalage en DC différents de ceux utilisés avec une gamme de couleurs conventionnelle comme indiqué dans les équations 5 du Tableau 3, à savoir 160 et 48 au lieu de 219 et 16. En effet, les niveaux des signaux *RVB* à gamme de couleurs étendue pré-corrigés en gamma dépassent la dynamique spécifiée dans les Recommandations UIT-R BT.601 et UIT-R BT.1120, tracées en pointillés dans la Fig. 1 (a)-(c). Toutefois, de même qu'en analogique, les dynamiques des signaux de luminance et de différence de couleur quantifiés pour les gammes de couleurs conventionnelles ou étendues respectent les dynamiques spécifiées dans les Recommandations UIT-R BT.601 et UIT-R BT.1120, tracées en pointillés dans la Fig. 2 (a)-(c). Par conséquent, pour assurer la compatibilité, la conversion de signaux *RVB* en signaux de luminance et de différence de couleur quantifiés exige l'utilisation de facteurs d'échelle différents comme le montrent les équations 6 du Tableau 3.

FIGURE 1  
Niveaux des signaux RVB pour les couleurs de Pointer

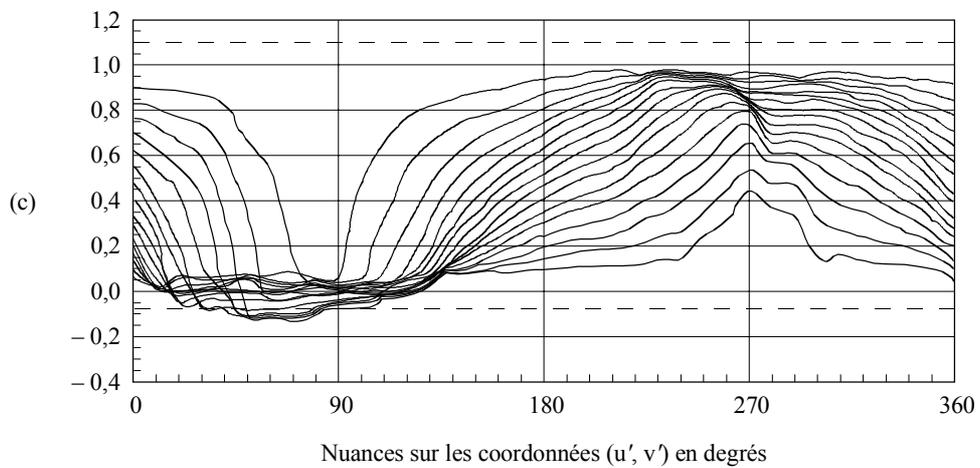
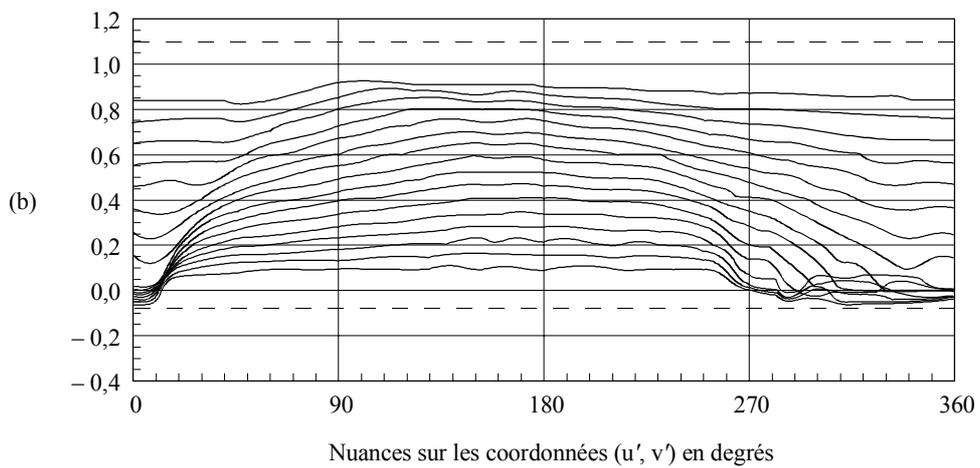
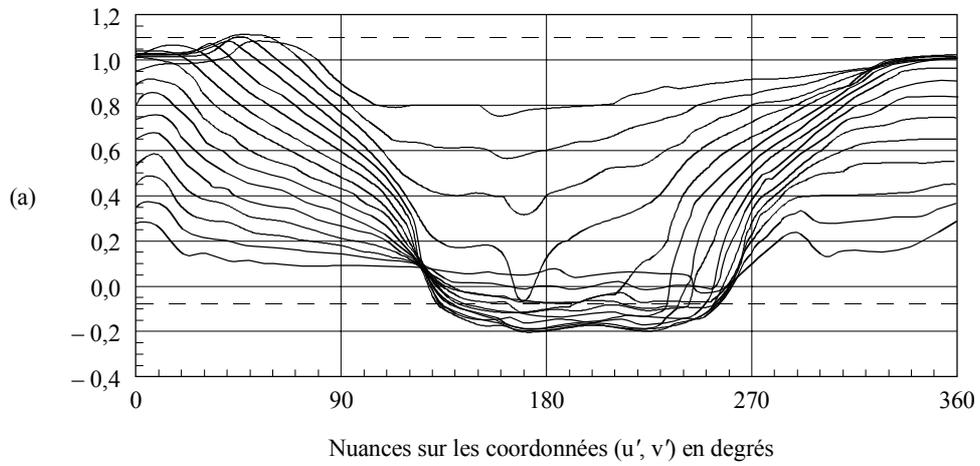
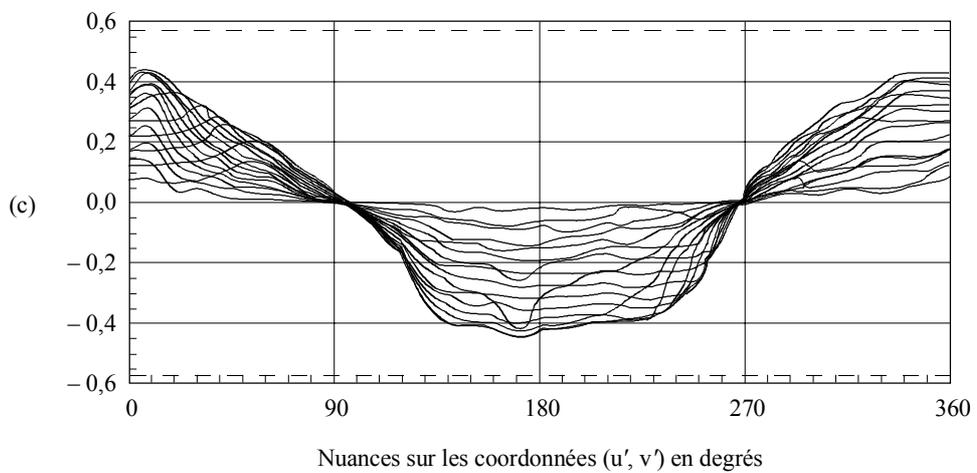
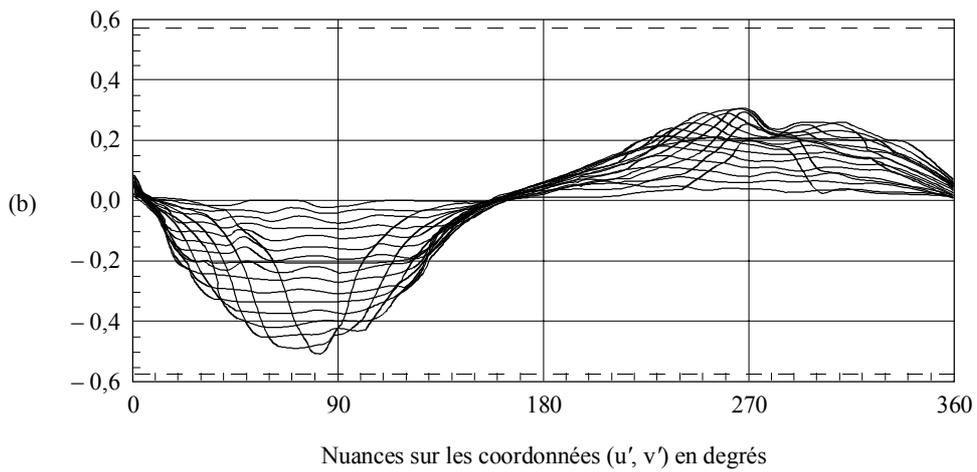
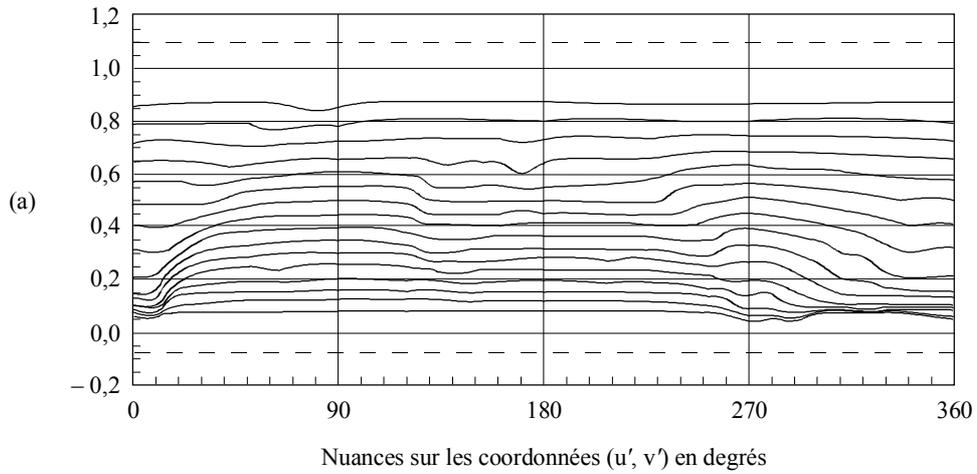


FIGURE 2

Niveaux des signaux de luminance et de différences de couleur pour les couleurs de Pointer



## ANNEXE 2

## Calcul des coefficients entiers des équations de luminance et de différence de couleur

Dans les systèmes numériques des erreurs de calcul peuvent apparaître sur les signaux de luminance et de différence de couleur en raison de la longueur binaire finie des coefficients des équations. Les signaux de luminance et de différence de couleur peuvent également prendre des valeurs légèrement différentes selon la séquence de traitement des signaux, à savoir il peut apparaître une différence entre les signaux quantifiés après matricage analogique et les signaux *R/V/B* numériquement matricés après quantification. Pour minimiser ces erreurs, il faut optimiser les coefficients entiers des équations numériques. La procédure d'optimisation et les coefficients entiers résultants sont donnés ci-dessous pour différentes longueurs en bits.

### 1 Système à gamme de couleurs conventionnelle

Dans ce qui suit,  $m$  et  $n$  sont respectivement les longueurs en bits des coefficients et des signaux numériques.

#### 1.1 Equations numériques

L'équation qui donne la luminance numérique dans le cas d'un système à gamme de couleurs conventionnelle est la suivante:

$$D'_Y = \text{ENT} [ 0,2126 D'_R + 0,7152 D'_V + 0,0722 D'_B ] \quad (1)$$

$$= \text{ENT} \left[ \frac{r'_{Y1}}{2^m} D'_R + \frac{r'_{Y2}}{2^m} D'_V + \frac{r'_{Y3}}{2^m} D'_B \right] \quad (2)$$

$$\approx \text{ENT} \left[ \frac{k'_{Y1}}{2^m} D'_R + \frac{k'_{Y2}}{2^m} D'_V + \frac{k'_{Y3}}{2^m} D'_B \right] \quad (3)$$

dans laquelle  $r'$  et  $k'$  sont respectivement les valeurs réelles du coefficient et les coefficients entiers et donnés par les relations:

$$r'_{Y1} = 0,2126 \times 2^m \qquad k'_{Y1} = \text{ENT} [r'_{Y1}]$$

$$r'_{Y2} = 0,7152 \times 2^m \qquad k'_{Y2} = \text{ENT} [r'_{Y2}]$$

$$r'_{Y3} = 0,0722 \times 2^m \qquad k'_{Y3} = \text{ENT} [r'_{Y3}]$$

Les équations de différence de couleur pour les systèmes à gamme de couleurs conventionnelle sont les suivantes:

$$D'_{CB} = \text{ENT} \left[ \frac{-0,2126 D'_R - 0,7152 D'_V + 0,9278 D'_B}{1,8556} \times \frac{224}{219} + 2^{n-1} \right] \quad (4)$$

$$= \text{ENT} \left[ \frac{r'_{CB1}}{2^m} D'_R + \frac{r'_{CB2}}{2^m} D'_V + \frac{r'_{CB3}}{2^m} D'_B + 2^{n-1} \right] \quad (5)$$

$$\approx \text{ENT} \left[ \frac{k'_{CB1}}{2^m} D'_R + \frac{k'_{CB2}}{2^m} D'_V + \frac{k'_{CB3}}{2^m} D'_B + 2^{n-1} \right] \quad (6)$$

$$D'_{CR} = \text{ENT} \left[ \frac{0,7874 D'_R - 0,7152 D'_V - 0,0722 D'_B}{1,5748} \times \frac{224}{219} + 2^{n-1} \right] \quad (7)$$

$$= \text{ENT} \left[ \frac{r'_{CR1}}{2^m} D'_R + \frac{r'_{CR2}}{2^m} D'_V + \frac{r'_{CR3}}{2^m} D'_B + 2^{n-1} \right] \quad (8)$$

$$\approx \text{ENT} \left[ \frac{k'_{CR1}}{2^m} D'_R + \frac{k'_{CR2}}{2^m} D'_V + \frac{k'_{CR3}}{2^m} D'_B + 2^{n-1} \right] \quad (9)$$

dans lesquelles:

$$r'_{CB1} = -\frac{0,2126}{1,8556} \times \frac{224}{219} \times 2^m \quad k'_{CB1} = \text{ENT} [r'_{CB1}]$$

$$r'_{CB2} = -\frac{0,7152}{1,8556} \times \frac{224}{219} \times 2^m \quad k'_{CB2} = \text{ENT} [r'_{CB2}]$$

$$r'_{CB3} = \frac{0,9278}{1,8556} \times \frac{224}{219} \times 2^m \quad k'_{CB3} = \text{ENT} [r'_{CB3}]$$

$$r'_{CR1} = \frac{0,7874}{1,5748} \times \frac{224}{219} \times 2^m \quad k'_{CR1} = \text{ENT} [r'_{CR1}]$$

$$r'_{CR2} = -\frac{0,7152}{1,5748} \times \frac{224}{219} \times 2^m \quad k'_{CR2} = \text{ENT} [r'_{CR2}]$$

$$r'_{CR3} = -\frac{0,0722}{1,5748} \times \frac{224}{219} \times 2^m \quad k'_{CR3} = \text{ENT} [r'_{CR3}]$$

## 1.2 Procédure d'optimisation

L'équation (3) donne le signal de luminance après matricage numérique, elle contient les erreurs de calcul dues à la longueur en bits finie des coefficients entiers. Lorsque la longueur en bits du coefficient est augmentée, l'argument (c'est-à-dire la valeur entre crochets) de l'équation (3) se rapproche de celui de l'équation (2) et ainsi, les différences ou discordances entre les équations sont atténuées. On peut donc considérer que les différences entre les arguments des équations (2) et (3) sont une mesure de l'optimisation des coefficients entiers. Comme la différence des arguments dépend des signaux  $RVB$  d'entrée, on définit une optimisation par les moindres carrés dans laquelle les coefficients entiers sont ajustés de manière à ce que la somme des différences des carrés sur toutes les entrées soit minimale, c'est-à-dire que la valeur de l'équation (10) soit minimale.

$$\varepsilon'_Y = \sum_{\text{pour tous les } RVB} \left\{ \left( \frac{k'_{Y1}}{2^m} D'_R + \frac{k'_{Y2}}{2^m} D'_V + \frac{k'_{Y3}}{2^m} D'_B \right) - \left( \frac{r'_{Y1}}{2^m} D'_R + \frac{r'_{Y2}}{2^m} D'_V + \frac{r'_{Y3}}{2^m} D'_B \right) \right\}^2 \quad (10)$$

Outre le fait qu'elle donne les erreurs quadratiques moyennes minimales, cette optimisation par la méthode des moindres carrés minimise implicitement l'erreur de crête qui apparaît pour une couleur d'entrée particulière (c'est-à-dire pour une combinaison particulière de signaux *RVB* d'entrée) ainsi que la non-concordance entre différentes séquences de traitement du signal (matricage analogique et matricage numérique).

La procédure d'optimisation est la suivante:

*Etape 1:* Prendre pour valeur initiale de chaque coefficient entier  $k'_{Yj}$  ( $j = 1, 2, 3$ ), l'entier le plus proche de la valeur réelle du coefficient  $r'_{Yj}$ ;

*Etape 2:* Calculer en utilisant les coefficients entiers initiaux, les erreurs quadratiques moyennes ou la somme des différences des carrés (équation (10)) sur la gamme de signaux *RVB* d'entrée, par exemple: 16 à 235 pour un système à 8 bits (une méthode de calcul simple sans sommation est décrite au § 1.3).

*Etape 3:* Analyser les erreurs quadratiques moyennes lorsqu'on augmente ou diminue de 1 chaque coefficient entier. Il faut évaluer 27 ( $=3^3$ ) combinaisons au total, car chaque coefficient peut prendre trois valeurs, c'est-à-dire une valeur plus grande, plus petite ou identique par rapport à la valeur initiale.

*Etape 4:* La combinaison optimale retenue est la combinaison de coefficients qui donne la plus faible erreur quadratique moyenne.

La même procédure est appliquée aux équations de différence de couleur, on utilise pour cela les équations (11) et (12).

$$\begin{aligned} \varepsilon'_{CB} = & \sum_{\text{pour tous les } RVB} \left\{ \left( \frac{k'_{CB1}}{2^m} D'_R + \frac{k'_{CB2}}{2^m} D'_V + \frac{k'_{CB3}}{2^m} D'_B + 2^{n-1} \right) \right. \\ & \left. - \left( \frac{r'_{CB1}}{2^m} D'_R + \frac{r'_{CB2}}{2^m} D'_V + \frac{r'_{CB3}}{2^m} D'_B + 2^{n-1} \right) \right\}^2 \end{aligned} \quad (11)$$

$$\begin{aligned} \varepsilon'_{CR} = & \sum_{\text{pour tous les } RVB} \left\{ \left( \frac{k'_{CR1}}{2^m} D'_R + \frac{k'_{CR2}}{2^m} D'_V + \frac{k'_{CR3}}{2^m} D'_B + 2^{n-1} \right) \right. \\ & \left. - \left( \frac{r'_{CR1}}{2^m} D'_R + \frac{r'_{CR2}}{2^m} D'_V + \frac{r'_{CR3}}{2^m} D'_B + 2^{n-1} \right) \right\}^2 \end{aligned} \quad (12)$$

### 1.3 Méthode simple de calcul pour la somme des différences des carrés

En exprimant la différence entre les valeurs des coefficients entiers et des coefficients réels par  $\delta_{ij} = k'_{ij} - r'_{ij}$ , et les signaux *RVB* numériques par  $X_j$ , la somme des différences des carrés des équations (10)-(12) peut s'écrire comme suit:

$$\varepsilon'_i = \frac{1}{2^m} \sum_{X_1=L}^H \sum_{X_2=L}^H \sum_{X_3=L}^H (\delta_{i1}X_1 + \delta_{i2}X_2 + \delta_{i3}X_3)^2 \quad (13)$$

$L$  et  $H$  étant respectivement les limites inférieures et supérieures de l'intervalle de variation des signaux d'entrée et pour laquelle les coefficients entiers doivent être optimisés.

Comme  $L$  et  $H$  sont constants dans le système numérique étudié, les sommes pour  $X_j$  sont également constantes. L'équation (13) peut alors être représentée par une fonction de  $\delta_{ij}$  seulement.

$$\varepsilon'_i = \frac{1}{2^m} \left\{ N_1 (\delta_{i1}^2 + \delta_{i2}^2 + \delta_{i3}^2) + 2N_2 (\delta_{i1}\delta_{i2} + \delta_{i2}\delta_{i3} + \delta_{i3}\delta_{i1}) \right\} \quad (14)$$

dans laquelle:

$$\begin{aligned}
 N_1 &= \sum_{X_2=L}^H \sum_{X_3=L}^H \left( \sum_{X_1=L}^H X_1^2 \right) = \sum_{X_1=L}^H \sum_{X_3=L}^H \left( \sum_{X_2=L}^H X_1^2 \right) = \sum_{X_1=L}^H \sum_{X_2=L}^H \left( \sum_{X_3=L}^H X_1^2 \right) \\
 &= (H-L+1)^2 \{H(H+1)(2H+1)/6 - (L-1)L(2L-1)/6\} \\
 N_2 &= \sum_{X_3=L}^H \left( \sum_{X_1=L}^H \sum_{X_2=L}^H X_1 X_2 \right) = \sum_{X_1=L}^H \left( \sum_{X_2=L}^H \sum_{X_3=L}^H X_2 X_3 \right) = \sum_{X_2=L}^H \left( \sum_{X_3=L}^H \sum_{X_1=L}^H X_3 X_1 \right) \\
 &= (H-L+1) \{H(H+1)/2 - (L-1)L/2\}^2
 \end{aligned}$$

Ainsi, le calcul des erreurs quadratiques moyennes ou des équations (10)-(12) peut simplement être réalisé au moyen de l'équation (14).

## 2 Système à gamme de couleurs étendue

### 2.1 Equations numériques

L'équation numérique donnant la luminance pour le système à gamme de couleurs étendue est la suivante:

$$D_Y'' = \text{ENT} \left[ \left\{ (0,2126 D_R'' + 0,7152 D_V'' + 0,0722 D_B'') - 48 \cdot 2^{n-8} \right\} \frac{219}{160} + 16 \cdot 2^{n-8} \right] \quad (15)$$

$$= \text{ENT} \left[ \frac{r_{Y1}''}{2^m} D_R'' + \frac{r_{Y2}''}{2^m} D_V'' + \frac{r_{Y3}''}{2^m} D_B'' + \frac{r_{Y4}''}{2^m} \right] \quad (16)$$

$$\approx \text{ENT} \left[ \frac{k_{Y1}''}{2^m} D_R'' + \frac{k_{Y2}''}{2^m} D_V'' + \frac{k_{Y3}''}{2^m} D_B'' + \frac{k_{Y4}''}{2^m} \right] \quad (17)$$

dans laquelle  $r''$  et  $k''$  sont respectivement les valeurs réelles des coefficients et les coefficients entiers donnés ci-dessous.

$$r_{Y1}'' = 0,2126 \times \frac{219}{160} \times 2^m \quad k_{Y1}'' = \text{ENT} [r_{Y1}'']$$

$$r_{Y2}'' = 0,7152 \times \frac{219}{160} \times 2^m \quad k_{Y2}'' = \text{ENT} [r_{Y2}'']$$

$$r_{Y3}'' = 0,0722 \times \frac{219}{160} \times 2^m \quad k_{Y3}'' = \text{ENT} [r_{Y3}'']$$

$$r_{Y4}'' = \left( -48 \cdot \frac{219}{160} + 16 \right) \cdot 2^{n-8} \times 2^m \quad k_{Y4}'' = \text{ENT} [r_{Y4}'']$$

Les équations donnant les différences de couleur numériques pour le système à gamme de couleurs étendue sont les suivantes:

$$D_{CB}'' = \text{ENT} \left[ \frac{-0,2126 D_R'' - 0,7152 D_V'' + 0,9278 D_B''}{1,8556} \times \frac{224}{160} + 2^{n-1} \right] \quad (18)$$

$$= \text{ENT} \left[ \frac{r''_{CB1}}{2^m} D_R'' + \frac{r''_{CB2}}{2^m} D_V'' + \frac{r''_{CB3}}{2^m} D_B'' + 2^{n-1} \right] \quad (19)$$

$$\approx \text{ENT} \left[ \frac{k''_{CB1}}{2^m} D_R'' + \frac{k''_{CB2}}{2^m} D_V'' + \frac{k''_{CB3}}{2^m} D_B'' + 2^{n-1} \right] \quad (20)$$

$$D''_{CR} = \text{ENT} \left[ \frac{0,7874 D_R'' - 0,7152 D_V'' - 0,0722 D_B''}{1,5748} \times \frac{224}{160} + 2^{n-1} \right] \quad (21)$$

$$= \text{ENT} \left[ \frac{r''_{CR1}}{2^m} D_R'' + \frac{r''_{CR2}}{2^m} D_V'' + \frac{r''_{CR3}}{2^m} D_B'' + 2^{n-1} \right] \quad (22)$$

$$\approx \text{ENT} \left[ \frac{k''_{CR1}}{2^m} D_R'' + \frac{k''_{CR2}}{2^m} D_V'' + \frac{k''_{CR3}}{2^m} D_B'' + 2^{n-1} \right] \quad (23)$$

dans lesquelles:

$$r''_{CB1} = -\frac{0,2126}{1,8556} \times \frac{224}{160} \times 2^m \quad k''_{CB1} = \text{ENT} [r''_{CB1}]$$

$$r''_{CB2} = -\frac{0,7152}{1,8556} \times \frac{224}{160} \times 2^m \quad k''_{CB2} = \text{ENT} [r''_{CB2}]$$

$$r''_{CB3} = \frac{0,9278}{1,8556} \times \frac{224}{160} \times 2^m \quad k''_{CB3} = \text{ENT} [r''_{CB3}]$$

$$r''_{CR1} = \frac{0,7874}{1,5748} \times \frac{224}{160} \times 2^m \quad k''_{CR1} = \text{ENT} [r''_{CR1}]$$

$$r''_{CR2} = -\frac{0,7152}{1,5748} \times \frac{224}{160} \times 2^m \quad k''_{CR2} = \text{ENT} [r''_{CR2}]$$

$$r''_{CR3} = -\frac{0,0722}{1,5748} \times \frac{224}{160} \times 2^m \quad k''_{CR3} = \text{ENT} [r''_{CR3}]$$

## 2.2 Procédure d'optimisation

La procédure d'optimisation est la même que celle utilisée pour le système à gamme de couleurs conventionnelle, on utilise les équations (24)-(26). Il convient de noter que pour l'équation de luminance, le nombre de combinaisons à évaluer pour l'erreur quadratique moyenne passe à 81 (= 3<sup>4</sup>) et non pas 27, car le nombre de coefficients à optimiser est de quatre.

$$\varepsilon_Y'' = \sum_{\text{pour tous les } RVB} \left\{ \left( \frac{k''_{Y1}}{2^m} D_R'' + \frac{k''_{Y2}}{2^m} D_V'' + \frac{k''_{Y3}}{2^m} D_B'' + \frac{k''_{Y4}}{2^m} \right) - \left( \frac{r''_{Y1}}{2^m} D_R'' + \frac{r''_{Y2}}{2^m} D_V'' + \frac{r''_{Y3}}{2^m} D_B'' + \frac{r''_{Y4}}{2^m} \right) \right\}^2 \quad (24)$$

$$\varepsilon_{CB}'' = \sum_{\text{pour tous les RVB}} \left\{ \left( \frac{k_{CB1}''}{2^m} D_R'' + \frac{k_{CB2}''}{2^m} D_V'' + \frac{k_{CB3}''}{2^m} D_B'' + 2^{n-1} \right) - \left( \frac{r_{CB1}''}{2^m} D_R'' + \frac{r_{CB2}''}{2^m} D_V'' + \frac{r_{CB3}''}{2^m} D_B'' + 2^{n-1} \right) \right\}^2 \quad (25)$$

$$\varepsilon_{CR}'' = \sum_{\text{pour tous les RVB}} \left\{ \left( \frac{k_{CR1}''}{2^m} D_R'' + \frac{k_{CR2}''}{2^m} D_V'' + \frac{k_{CR3}''}{2^m} D_B'' + 2^{n-1} \right) - \left( \frac{r_{CR1}''}{2^m} D_R'' + \frac{r_{CR2}''}{2^m} D_V'' + \frac{r_{CR3}''}{2^m} D_B'' + 2^{n-1} \right) \right\}^2 \quad (26)$$

### 2.3 Méthode de calcul simple de la somme des différences des carrés

Par analogie avec le système à gamme de couleurs conventionnelle, l'équation (27) permet de calculer la luminance pour le système à gamme de couleurs étendue.

$$\begin{aligned} \varepsilon_Y'' &= \frac{1}{2^m} \sum_{X_1=L}^H \sum_{X_2=L}^H \sum_{X_3=L}^H (\delta_{Y1} X_1 + \delta_{Y2} X_2 + \delta_{Y3} X_3 + \delta_{Y4})^2 \\ &= \frac{1}{2^m} \left\{ N_1 (\delta_{Y1}^2 + \delta_{Y2}^2 + \delta_{Y3}^2) + 2N_2 (\delta_{Y1}\delta_{Y2} + \delta_{Y2}\delta_{Y3} + \delta_{Y3}\delta_{Y1}) + 2N_3 (\delta_{Y1} + \delta_{Y2} + \delta_{Y3}) \delta_{Y4} + N_4 \delta_{Y4}^2 \right\} \quad (27) \end{aligned}$$

dans laquelle  $N_1$  et  $N_2$  sont donnés dans l'équation (14), et

$$\begin{aligned} N_3 &= \sum_{X_2=L}^H \sum_{X_3=L}^H \left( \sum_{X_1=L}^H X_1 \right) = \sum_{X_1=L}^H \sum_{X_3=L}^H \left( \sum_{X_2=L}^H X_1 \right) = \sum_{X_1=L}^H \sum_{X_2=L}^H \left( \sum_{X_3=L}^H X_1 \right) \\ &= (H-L+1)^2 \{H(H+1)/2 - (L-1)L/2\} \\ N_4 &= \sum_{X_1=L}^H \sum_{X_2=L}^H \sum_{X_3=L}^H 1 \\ &= (H-L+1)^3 \end{aligned}$$

Les équations de différence de couleur sont les mêmes que celles utilisées dans le cas du système à gamme de couleurs conventionnelle (équation (14)).

## 3 Coefficients entiers optimisés

Les coefficients entiers optimisés résultants sont donnés ci-dessous pour des longueurs de coefficient comprises entre 8 et 16 bits.

TABLEAU 4

Coefficients entiers optimisés pour le système à gamme de couleurs conventionnelle

Longueur en bits	Dénominateur	Luminance $Y$			Différence de couleur $C_B$			Différence de couleur $C_R$		
		$k'_{Y1}$	$k'_{Y2}$	$k'_{Y3}$	$k'_{CB1}$	$k'_{CB2}$	$k'_{CB3}$	$k'_{CR1}$	$k'_{CR2}$	$k'_{CR3}$
$m$	$2^m$									
8	256	54	183	<u>19</u>	-30	-101	131	131	-119	-12
9	512	109	366	37	-60	-202	262	262	-238	-24
10	1 024	218	732	74	-120	-404	524	524	-476	-48
11	2 048	435	1 465	148	-240	-807	1 047	1 047	-951	-96
12	4 096	871	2 929	296	-480	-1 615	2 095	2 095	-1 903	-192
13	8 192	1 742	5 859	591	-960	-3 230	4 190	<u>4 189</u>	-3 805	-384
14	16 384	3 483	11 718	1 183	-1 920	-6 459	8 379	8 379	-7 611	-768
15	32 768	6 966	23 436	2 366	-3 840	-12 918	16 758	16 758	-15 221	-1 537
16	65 536	13 933	46 871	4 732	-7 680	-25 836	33 516	33 516	-30 443	-3 073

TABLEAU 5

Coefficients entiers optimisés pour le système à gamme de couleurs étendue

Longueur en bits	Dénominateur	Luminance $Y$				Différence de couleur $C_B$			Différence de couleur $C_R$		
		$k''_{Y1}$	$k''_{Y2}$	$k''_{Y3}$	$k''_{Y4}$ (voir la Note 1)	$k''_{CB1}$	$k''_{CB2}$	$k''_{CB3}$	$k''_{CR1}$	$k''_{CR2}$	$k''_{CR3}$
$m$	$2^m$										
8	256	74	251	25	-12 723	-41	-138	179	179	-163	-16
9	512	149	501	51	-50 893	-82	-276	358	358	<u>-325</u>	-33
10	1 024	298	<u>1 003</u>	101	-203 571	-164	-553	717	717	-651	-66
11	2 048	596	2 005	202	-814 285	-329	-1 105	1 434	1 434	-1 302	<u>-132</u>
12	4 096	1 192	<u>4 009</u>	405	-3 257 139	-657	-2 210	2 867	2 867	-2 604	-263
13	8 192	2 384	8 019	810	-13 028 557	-1 314	-4 420	5 734	5 734	<u>-5 208</u>	-526
14	16 384	4 768	16 039	1 619	-52 114 227	-2 628	-8 841	11 469	11 469	-10 417	-1 052
15	32 768	9 535	32 078	3 238	-208 456 909	-5 256	-17 682	22 938	<u>22 937</u>	-20 834	-2 103
16	65 536	19 071	64 155	<u>6 476</u>	-833 827 635	-10 512	-35 363	45 875	45 875	-41 669	-4 206

NOTE 1 – La valeur de  $k''_{Y4}$  dépend de la longueur  $n$  en bits du signal et les valeurs indiquées sont celles qui correspondent à  $m = n$ . On confirme que les valeurs optimisées sont identiques aux valeurs entières initiales les plus proches avec une précision sur  $m + n$  bits, lorsque  $m$  et  $n$  sont compris entre 8 et 16.

NOTE 2 – Le soulignement avec *italique* indique des valeurs modifiées par rapport à l'entier initial le plus proche du fait du processus d'optimisation.

NOTE 3 – Pour le système à gamme de couleurs conventionnelle, la région occupée par les signaux *RVB* utilisée dans le processus d'optimisation est l'intervalle nominal des signaux défini dans la Recommandation UIT-R BT.601 et ses extensions, à savoir, l'intervalle  $16 \times 2^{n-8} - 235 \times 2^{n-8}$  pour un système à  $n$  bits. Pour le système à gamme de couleurs étendue, il s'agit de l'intervalle maximal des signaux défini dans la Recommandation UIT-R BT.601 et ses extensions, à savoir:  $1 \times 2^{n-8} - 254 \times 2^{n-8}$ .