



**Recommandation UIT-R BT.601-7
(03/2011)**

**Paramètres de codage en studio de la
télévision numérique pour des formats
standards d'image 4:3 (normalisé)
et 16:9 (écran panoramique)**

**Série BT
Service de radiodiffusion télévisuelle**

Avant-propos

Le rôle du Secteur des radiocommunications est d'assurer l'utilisation rationnelle, équitable, efficace et économique du spectre radioélectrique par tous les services de radiocommunication, y compris les services par satellite, et de procéder à des études pour toutes les gammes de fréquences, à partir desquelles les Recommandations seront élaborées et adoptées.

Les fonctions réglementaires et politiques du Secteur des radiocommunications sont remplies par les Conférences mondiales et régionales des radiocommunications et par les Assemblées des radiocommunications assistées par les Commissions d'études.

Politique en matière de droits de propriété intellectuelle (IPR)

La politique de l'UIT-R en matière de droits de propriété intellectuelle est décrite dans la «Politique commune de l'UIT-T, l'UIT-R, l'ISO et la CEI en matière de brevets», dont il est question dans la Résolution UIT-R 1. Les formulaires que les titulaires de brevets doivent utiliser pour soumettre les déclarations de brevet et d'octroi de licence sont accessibles à l'adresse <http://www.itu.int/ITU-R/go/patents/fr>, où l'on trouvera également les Lignes directrices pour la mise en œuvre de la politique commune en matière de brevets de l'UIT-T, l'UIT-R, l'ISO et la CEI et la base de données en matière de brevets de l'UIT-R.

Séries des Recommandations UIT-R

(Également disponible en ligne: <http://www.itu.int/publ/R-REC/fr>)

Séries	Titre
BO	Diffusion par satellite
BR	Enregistrement pour la production, l'archivage et la diffusion; films pour la télévision
BS	Service de radiodiffusion sonore
BT	Service de radiodiffusion télévisuelle
F	Service fixe
M	Services mobile, de radiopéage et d'amateur y compris les services par satellite associés
P	Propagation des ondes radioélectriques
RA	Radio astronomie
RS	Systèmes de télédétection
S	Service fixe par satellite
SA	Applications spatiales et météorologie
SF	Partage des fréquences et coordination entre les systèmes du service fixe par satellite et du service fixe
SM	Gestion du spectre
SNG	Reportage d'actualités par satellite
TF	Émissions de fréquences étalon et de signaux horaires
V	Vocabulaire et sujets associés

Note: Cette Recommandation UIT-R a été approuvée en anglais aux termes de la procédure détaillée dans la Résolution UIT-R 1.

Publication électronique
Genève, 2017

© UIT 2017

Tous droits réservés. Aucune partie de cette publication ne peut être reproduite, par quelque procédé que ce soit, sans l'accord écrit préalable de l'UIT.

RECOMMANDATION UIT-R BT.601-7*

Paramètres de codage en studio de la télévision numérique pour des formats standards d'image 4:3 (normalisé) et 16:9 (écran panoramique)¹

(Question UIT-R 1/6)

(1982-1986-1990-1992-1994-1995-2007-2011)

Domaine de compétence

La présente Recommandation traite également des caractéristiques d'éléments d'image qui représentent une image de télévision numérique entrelacée à 525 ou à 625 lignes.

Elle définit des méthodes de codage numérique de signaux vidéo. Elle prévoit une même fréquence d'échantillonnage de 13,5 MHz pour les images de format 4:3 et 16:9 donnant des performances satisfaisantes pour les systèmes de transmission actuels.

Mots-clés

TVDN, image de télévision numérique, codage numérique, différence de couleur

L'Assemblée des radiocommunications de l'UIT,

considérant

- a) que les radiodiffuseurs et les producteurs de programmes de télévision ont intérêt à ce que les normes numériques pour les studios aient le plus grand nombre de valeurs de paramètres essentiels qui soient communes aux systèmes à 525 lignes et à 625 lignes;
- b) qu'une approche conduisant à des solutions numériques compatibles au niveau mondial permettra le développement d'équipements présentant de nombreux éléments communs, entraînera des économies d'exploitation et facilitera l'échange international des programmes;
- c) qu'il est souhaitable d'établir une famille extensible de normes compatibles de codage numérique. Les niveaux de cette famille pourraient correspondre à différents niveaux de qualité et formats, faciliter les traitements complémentaires qui sont rendus nécessaires par les techniques actuelles de production et répondre aux besoins futurs;
- d) qu'un système fondé sur le codage des composantes est en mesure d'atteindre ces objectifs;
- e) que la coïncidence spatiale des échantillons représentant les signaux de luminance et de différence de couleur (ou, le cas échéant, les signaux rouge, vert et bleu) facilite le traitement des composantes numériques, nécessité par les techniques de production actuelles,

recommande

que les considérations suivantes servent de base aux normes de codage numérique pour les studios de télévision dans les pays utilisant des systèmes à 525 lignes comme dans ceux qui utilisent des systèmes à 625 lignes.

* La Commission d'études 6 des radiocommunications a apporté des modifications rédactionnelles à la présente Recommandation en novembre 2014 et en mars 2017, conformément aux dispositions de la Résolution UIT-R 1.

¹ Télévision à définition normale (TVDN).

1 Famille extensible de normes de codage numérique compatibles

1.1 Le codage numérique doit permettre l'établissement et l'évolution d'une famille extensible de normes compatibles de codage numérique. La conversion entre des normes quelconques de la famille doit pouvoir se faire de façon simple.

1.2 Le codage numérique doit être fondé sur l'emploi d'un signal de luminance et de deux signaux de différence de couleur (ou, le cas échéant, des signaux rouge, vert et bleu).

1.3 Les caractéristiques spectrales des signaux doivent être mises en forme de manière à éviter le repliement du spectre tout en préservant la caractéristique de bande passante. Les caractéristiques du filtre sont indiquées dans l'Appendice 2.

2 Spécifications applicables à toute la famille de normes

2.1 Les structures d'échantillonnage doivent être spatialement fixes. C'est le cas, par exemple, des structures orthogonales indiquées dans la présente Recommandation.

2.2 Lorsque les échantillons représentent le signal de luminance et les deux signaux de différence de couleur simultanés, les échantillons des signaux de différence de couleur doivent coïncider spatialement. Lorsque les échantillons représentent les signaux rouge, vert et bleu, ils doivent coïncider spatialement.

2.3 La norme numérique associée à chaque niveau de la famille doit pouvoir être adoptée et utilisée en exploitation au niveau mondial. Pour pouvoir atteindre cet objectif, il faut spécifier des nombres d'échantillons par ligne, qui soient compatibles entre les systèmes à 525 et à 625 lignes, (de préférence, le même nombre d'échantillons par ligne) et cela, à chaque norme de la famille.

2.4 Dans les applications des présentes spécifications, le contenu des mots numériques est exprimé sous forme décimale ou hexadécimale, signalées par les indices «d» et «h» respectivement.

Pour éviter toute confusion entre les représentations à 8 bits et 10 bits, on considère que les huit bits de plus fort poids constituent la partie entière et les deux bits supplémentaires, s'ils existent, correspondent à la partie fractionnaire.

Par exemple, la configuration de bits 10010001 s'écritra 145_d ou 91_h, alors que 1001000101 s'écritra 145,25_d ou 91,4_h.

Lorsqu'aucune partie fractionnaire n'apparaît, on suppose qu'elle a la valeur binaire 00.

2.5 Définition des signaux numériques Y , C_R , C_B , à partir des signaux (analogiques) primaires E'_R , E'_G et E'_B

Ce paragraphe décrit, pour définir les signaux Y , C_R , C_B , les règles de construction de ces signaux à partir des signaux analogiques primaires E'_R , E'_G et E'_B précorrigés en gamma. Cette construction enchaîne les trois étapes décrites ci-dessous aux § 2.5.1, 2.5.2 et 2.5.3, et elle est donnée à titre d'exemple. Dans la pratique, d'autres méthodes de construction, à partir de ces signaux primaires ou d'autres signaux analogiques ou numériques, peuvent conduire à des résultats identiques. Un exemple est donné au § 2.5.4.

2.5.1 Construction des signaux de luminance (E'_Y) et de différence de couleur ($E'_R - E'_Y$) et ($E'_B - E'_Y$)

La construction des signaux de luminance et de différence de couleur est la suivante:

$$E'_Y = 0,299 E'_R + 0,587 E'_G + 0,114 E'_B$$

alors:

$$(E'_R - E'_Y) = E'_R - 0,299 E'_R - 0,587 E'_G - 0,114 E'_B = 0,701 E'_R - 0,587 E'_G - 0,114 E'_B$$

et:

$$(E'_B - E'_Y) = E'_B - 0,299 E'_R - 0,587 E'_G - 0,114 E'_B = -0,299 E'_R - 0,587 E'_G + 0,886 E'_B$$

Si l'on considère que les valeurs des signaux sont normalisées à l'unité (par exemple, niveaux maximums de 1,0 V), les valeurs obtenues pour le blanc, le noir, les couleurs saturées primaires et leurs complémentaires sont indiquées dans le Tableau 1.

TABLEAU 1
Valeurs normalisées des signaux

Condition	E'_R	E'_G	E'_B	E'_Y	$E'_R - E'_Y$	$E'_B - E'_Y$
Blanc	1,0	1,0	1,0	1,0	0	0
Noir	0	0	0	0	0	0
Rouge	1,0	0	0	0,299	0,701	-0,299
Vert	0	1,0	0	0,587	-0,587	-0,587
Bleu	0	0	1,0	0,114	-0,114	0,886
Jaune	1,0	1,0	0	0,886	0,114	-0,886
Cyan	0	1,0	1,0	0,701	-0,701	0,299
Magenta	1,0	0	1,0	0,413	0,587	0,587

2.5.2 Construction des signaux de différence de couleur renormalisés (E'_{C_R} et E'_{C_B})

Si les valeurs de E'_Y sont situées entre 1,0 et 0, celles de $(E'_R - E'_Y)$ sont situées entre +0,701 et -0,701 et celles de $(E'_B - E'_Y)$ entre +0,886 et -0,886. Pour ramener l'excursion des signaux de différence de couleur à l'unité (c'est-à-dire +0,5 à -0,5), on peut calculer respectivement les signaux de différence de couleur rouge ou bleu renormalisés E'_{C_R} et E'_{C_B} comme suit:

$$\begin{aligned} E'_{C_B} &= \frac{E'_R - E'_Y}{1,402} \\ &= \frac{0,701E'_R - 0,587E'_G - 0,114E'_B}{1,402} \end{aligned}$$

et:

$$\begin{aligned} E'_{C_B} &= \frac{E'_B - E'_Y}{1,772} \\ &= \frac{-0,299E'_R - 0,587E'_G + 0,886E'_B}{1,772} \end{aligned}$$

Les symboles E'_{CR} et E'_{CB} seront réservés à la désignation des signaux de différence de couleur renormalisés, c'est-à-dire ayant une amplitude crête à crête nominale identique à celle du signal de luminance E'_Y choisi ainsi comme référence d'amplitude.

2.5.3 Quantification

Dans le cas d'un codage binaire à 8 bits ou à 10 bits à quantification uniforme, 2^8 ou 2^{10} , c'est-à-dire 256 ou 1 024 niveaux de quantification équidistants sont spécifiés, de sorte que les nombres binaires disponibles vont de 0000 0000 à 1111 1111 (00 à FF en notation hexadécimale) ou 0000 0000 00 à 1111 1111 11 (00,0_h à FF.C_h en notation hexadécimale soit, en expression décimale, de 0,00_d à 255,75_d inclus).

Dans la présente Recommandation, les niveaux 0,00_d et 255,75_d sont réservés aux données de synchronisation, tandis que les niveaux 1,00_d à 254,75_d sont disponibles pour la vidéo.

Sachant que le signal de luminance ne doit occuper que 220 (8 bits) ou 877 (10 bits) niveaux pour laisser des marges de fonctionnement et que le noir doit être au niveau 16,00_d, la valeur de luminance quantifiée, Y , est:

$$Y = \text{int}\{(219E'_Y + 16) \times D\} / D$$

où D prend soit la valeur 1 soit la valeur 4, correspondant respectivement à une quantification à 8 bits et à 10 bits. L'opérateur $\text{int}()$ 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 0,999 ..., c'est-à-dire qu'il y a arrondissement à la valeur entière supérieure pour les parties fractionnaires supérieures ou égales à 0,5.

De même, étant donné que les signaux de différence de couleur doivent occuper 225 (8 bits) ou 897 (10 bits) niveaux et que le niveau zéro doit être au niveau 128,00_d, les valeurs décimales des signaux de différence de couleur quantifiés, C_R et C_B sont:

$$C_R = \text{int}\{(224E'_{C_R} + 128) \times D\} / D$$

et:

$$C_B = \text{int}\{(224E'_{C_B} + 128) \times D\} / D$$

Les équivalents numériques sont appelés Y , C_R et C_B .

2.5.4 Construction de Y , C_R , C_B via quantification de E'_R , E'_G , E'_B

Dans le cas où les composantes sont directement obtenues à partir des composantes E'_R , E'_G , E'_B , précorrigées en gamma, ou directement produites sous forme numérique, la quantification et le codage seront alors équivalents à:

$$E'_{R_D} (\text{sous forme numérique}) = \text{int}\{(219E'_R + 16) \times D\} / D$$

$$E'_{G_D} (\text{sous forme numérique}) = \text{int}\{(219E'_G + 16) \times D\} / D$$

$$E'_{B_D} (\text{sous forme numérique}) = \text{int}\{(219E'_B + 16) \times D\} / D$$

Donc:

$$Y = \text{int}\{0,299E'_{R_D} + 0,587E'_{G_D} + 0,114E'_{B_D}\} \times D / D$$

$$\approx \text{int} \left\{ \left(\frac{k'_Y 1}{2^m} E'_{R_D} + \frac{k'_Y 2}{2^m} E'_{G_D} + \frac{k'_Y 3}{2^m} E'_{B_D} \right) \times D \right\} / D$$

$$C_R = \text{int} \left[\left\{ \left(\frac{0,701 E'_{R_D} - 0,587 E'_{G_D} - 0,114 E'_{B_D}}{1,402} \right) \frac{224}{219} + 128 \right\} \times D \right] / D$$

$$\approx \text{int} \left[\left\{ \left(\frac{k'_{CR1}}{2^m} E'_{R_D} + \frac{k'_{CR2}}{2^m} E'_{G_D} + \frac{k'_{CR3}}{2^m} E'_{B_D} \right) + 128 \right\} \times D \right] / D$$

$$C_B = \text{int} \left[\left\{ \left(\frac{-0,299 E'_{R_D} - 0,587 E'_{G_D} + 0,886 E'_{B_D}}{1,772} \right) \frac{224}{219} + 128 \right\} \times D \right] / D$$

$$\approx \text{int} \left[\left\{ \left(\frac{k'_{CB1}}{2^m} E'_{R_D} + \frac{k'_{CB2}}{2^m} E'_{G_D} + \frac{k'_{CB3}}{2^m} E'_{B_D} \right) + 128 \right\} \times D \right] / D$$

où k' et m désignent respectivement les coefficients entiers et les longueurs en bits des coefficients entiers. Les coefficients entiers des équations de luminance et de différence de couleur devraient être calculés conformément à l'Annexe 2.

TABLEAU 2

Coefficients entiers des équations de luminance et de différence de couleur

Coefficient en bits	Dénominateur	Luminance Y			Différence de couleur C_R			Différence de couleur C_B		
m	2^m	k'_{Y1}	k'_{Y2}	k'_{Y3}	k'_{CR1}	k'_{CR2}	k'_{CR3}	k'_{CB1}	k'_{CB2}	k'_{CB3}
8	256	77	150	29	131	-110	-21	-44	-87	131
9	512	153	301	58	262	-219	-43	-88	-174	262
10	1 024	306	601	117	524	-439	-85	-177	-347	524
11	2 048	612	1 202	234	1 047	-877	-170	-353	-694	1 047
12	4 096	1 225	2 404	467	2 095	-1 754	-341	-707	-1 388	2 095
13	8 192	2 449	4 809	934	4 189	-3 508	-681	-1 414	-2 776	4 190
14	16 384	4 899	9 617	1 868	8 379	-7 016	-1 363	-2 828	-5 551	8 379
15	32 768	9 798	19 235	3 735	16 758	-14 033	-2 725	-5 655	-11 103	16 758
16	65 536	19 595	38 470	7 471	33 516	-28 066	-5 450	-11 311	-22 205	33 516

NOTE 1 – Les valeurs en gras indiquent des valeurs modifiées par rapport à l'entier initial le plus proche du fait du processus d'optimisation.

Afin d'obtenir les composantes 4:2:2 Y, C_R, C_B , le filtrage passe-bas et le sous-échantillonnage doivent être réalisés sur les signaux 4:4:4 C_R, C_B décrits ci-dessus. Il faut signaler que de petites différences peuvent exister entre les composantes C_R, C_B , obtenues de cette manière et celles qui sont obtenues par filtrage analogique avant échantillonnage.

2.5.5 Limitation des signaux Y, C_R, C_B

Le codage numérique sous forme de signaux Y, C_R, C_B , peut donner aux signaux des valeurs qui s'étendent sur un intervalle beaucoup plus grand que pour les signaux R, G, B . Il se peut donc que, de la production électronique d'une image ou du traitement du signal, il résulte des signaux Y, C_R, C_B qui, tout en étant chacun valable, donneront des valeurs hors gamme quand ils seront convertis en R, G, B . Pour l'éviter, il est plus pratique et plus efficace d'appliquer la limitation à Y, C_R, C_B que d'attendre que les signaux soient sous forme R, G, B . On peut aussi mettre en œuvre la limitation en conservant les valeurs de la luminance et de la teinte et en ne sacrifiant que la saturation, ce qui réduit la dégradation subjective.

2.6 Caractéristiques colorimétriques de transfert optoélectronique²

Point	Caractéristiques					
	Paramètre	625		525		
2.6.1	Coordonnées de chromaticité, CIE 1931 ⁽¹⁾	x	y	x	y	
		0,640	0,330	0,630	0,340	
		0,290	0,600	0,310	0,595	
		0,150	0,060	0,155	0,070	
2.6.2	Chromaticité supposée pour des signaux primaires égaux – blanc de référence $E_R = E_G = E_B$	D_{65}				
		x	y			
		0,3127		0,3290		
2.6.3	Caractéristique de transfert optoélectronique avant précorrection non linéaire	Supposé linéaire				
2.6.4	Caractéristique de transfert optoélectronique globale à la source ³	$E = (1,099 L^{0,45} - 0,099)$ pour $1,00 \geq L \geq 0,018$ $E = 4,500 L$ pour $0,018 > L \geq 0$ où: L: luminance de l'image $0 \leq L \leq 1$ en colorimétrie conventionnelle E: signal électrique correspondant.				

⁽¹⁾ Les coordonnées de chromaticité indiquées sont celles actuellement utilisées par les systèmes conventionnels à 625 et 525 lignes.

3 Membres de la famille

Les normes des membres suivants de la famille sont définies:

² Il est admis qu'une pratique parfois utilisée aujourd'hui consiste, lorsque des programmes produits en TVHD sont diffusés en TVDN, à remapper leur carte de pixels TVHD sur la carte de pixels TVDN sans changer la colorimétrie du programme d'origine.

³ Dans la pratique normale en matière de production, la fonction de codage des sources d'images est réglée de sorte que l'image finale, visualisée sur un écran de référence ayant la fonction de décodage de référence décrite dans la Recommandation UIT-R BT.1886, dans l'environnement d'observation de référence défini dans la Recommandation UIT-R BT.2035, ait l'apparence voulue. Même si certains paramètres énumérés dans la Recommandation UIT-R BT.2035 sont censés s'appliquer à la visualisation d'un signal de TVHD, des distances d'observation adaptées devraient être utilisées pour les signaux de TVDN.

- 4:2:2, pour les systèmes 4:3 et les systèmes 16:9 écran panoramique lorsqu'il faut conserver la même largeur de bande du signal analogique et les mêmes débits numériques pour les deux formats d'image.
- 4:4:4⁴ pour les systèmes 4:3 et 16:9 avec une résolution couleur plus élevée.

Annexe 1

Paramètres de codage pour membres de la famille

1 Valeurs des paramètres de codage pour la norme 4:2:2 de la famille

Les caractéristiques indiquées au Tableau 3 s'appliquent à la norme 4:2:2 de la famille utilisée pour l'interface numérique normalisée entre les principaux équipements de studio numériques et pour l'échange international de programmes de télévision numérique (format d'image 4:3 ou 16:9) lorsqu'il faut conserver la même largeur de bande du signal analogique et les mêmes débits numériques.

⁴ Pour la norme 4:4:4 membres de la famille, les signaux échantillonnés peuvent être des signaux de luminance ou de différence de couleur (ou, le cas échéant, des signaux rouge, vert et bleu).

TABLEAU 3

Paramètres	Systèmes à 525 lignes 60/1,001 trame/s	Systèmes à 625 lignes 50 trame/s
1) Signaux à coder: Y, C_R, C_B	Ces signaux sont obtenus à partir des signaux précorrigés en gamma, à savoir: $E'_Y, E'_R - E'_Y, E'_B - E'_Y$ (voir le § 2.5)	
2) Nombre d'échantillons par ligne complète: – pour le signal de luminance (Y) – pour chaque signal de différence de couleur (C_R, C_B)	858 429	864 432
3) Quadrillage d'échantillonnage	Quadrillage orthogonal se répétant à chaque ligne, à chaque trame et à chaque image. Les échantillons des signaux C_R et C_B coïncident avec les échantillons impairs (1 ^{er} , 3 ^e , 5 ^e , etc.) du signal Y dans chaque ligne	
4) Fréquence d'échantillonnage: – du signal de luminance – de chaque signal de différence de couleur	13,5 MHz 6,75 MHz La tolérance sur les fréquences d'échantillonnage devrait coïncider avec la tolérance sur la fréquence de ligne du système de télévision en couleur concerné	
5) Format de codage	MIC à quantification uniforme, 8 ou 10 bits par échantillon, pour chacun des signaux de luminance et de différence de couleur	
6) Nombre d'échantillons par ligne active numérique: – pour le signal de luminance – pour chaque signal de différence de couleur	720 360	
7) Phase relative des signaux analogiques et numériques: – de la fin de la ligne active numérique à O_H	16 périodes d'horloge de luminance	12 périodes d'horloge de luminance
8) Correspondance entre le niveau du signal d'image et les niveaux de quantification: – échelle – pour le signal de luminance – pour chaque signal de différence de couleur	(Voir le § 2.4) (les valeurs sont décimales) $0,00_d$ à $255,75_d$ 220 (8 bits) ou 877 (10 bits) niveaux de quantification; le niveau du noir correspond au niveau $16,00_d$ et le niveau maximal du blanc correspond au niveau $235,00_d$. Le niveau du signal peut occasionnellement aller au-delà du niveau $235,00_d$ ou tomber au-dessous du niveau $16,00_d$. 225 (8 bits) ou 897 (10 bits) niveaux de quantification dans la partie médiane de l'échelle de quantification, le signal nul correspond au niveau $128,00_d$. Le niveau du signal peut occasionnellement aller au-delà du niveau $240,00_d$ ou tomber au-dessous du niveau $16,00_d$.	
9) Affectation des mots de code	Les mots de code correspondant aux niveaux de quantification $0,00_d$ et $255,75_d$ sont utilisés exclusivement pour la synchronisation. Les niveaux $1,00_d$ à $254,75_d$ sont disponibles pour la vidéo. S'agissant du traitement de mots de 8 bits dans un système à 10 bits, il faut leur ajouter deux bits de plus faible poids constitués de zéros.	

2 Valeurs des paramètres de codage pour le niveau 4:4:4 de la famille

Les caractéristiques indiquées au Tableau 4 s'appliquent au niveau 4:4:4 de la famille utilisée pour les équipements source de télévision et les applications de traitement de signaux vidéo de qualité élevée.

TABLEAU 4

Paramètres	Systèmes à 525 lignes 60/1,001 trame/s	Systèmes à 625 lignes 50 trame/s
1) Signaux à coder: Y, C_R, C_B ou R, G, B	Ces signaux sont obtenus à partir des signaux précorrigés en gamma, à savoir: $E'_Y, E'_R - E'_Y, E'_B - E'_Y$ ou E'_R, E'_G, E'_B	
2) Nombre d'échantillons par ligne complète pour chaque signal	858	864
3) Quadrillage d'échantillonnage	Quadrillage orthogonal se répétant à chaque ligne, à chaque trame et à chaque image. Les trois quadrillages d'échantillonnage coïncident entre eux et coïncident également avec le quadrillage d'échantillonnage du signal de luminance du niveau 4:2:2	
4) Fréquence d'échantillonnage de chaque signal	13,5 MHz	
5) Format de codage	MIC à quantification uniforme, 8 bits ou 10 bits par échantillon	
6) Durée de la ligne active numérique exprimée en nombre d'échantillons	720	
7) Phase relative des signaux analogiques et numériques: – de la fin de la ligne active numérique à O_H	16 périodes d'horloge	12 périodes d'horloge
8) Correspondance entre le niveau du signal d'image et le niveau de quantification pour chaque échantillon: – échelle – signaux R, G, B ou signal de luminance ⁽¹⁾ – chaque signal de différence de couleur ⁽¹⁾	<p>(Voir le § 2.4) (les valeurs sont décimales)</p> <p>0,00_d à 255,75_d</p> <p>220 (8 bits) ou 877 (10 bits) niveaux de quantification; le niveau du noir correspond au niveau 16,00_d et le niveau maximal du blanc correspond au niveau 235,00_d. Le niveau du signal peut occasionnellement aller au-delà du niveau 235,00_d ou tomber au-dessous du niveau 16,00_d.</p> <p>225 (8 bits) ou 897 (10 bits) niveaux de quantification dans la partie médiane de l'échelle de quantification; le signal nul correspond au niveau 128,00_d. Le niveau du signal peut occasionnellement aller au-delà du niveau 240,00_d ou tomber au-dessous du niveau 16,00_d.</p>	
9) Affectation des mots de code	<p>Les mots de code correspondant aux niveaux de quantification 0,00_d et 255,75_d sont utilisés exclusivement pour la synchronisation. Les niveaux 1,00_d à 254,75_d sont disponibles pour la vidéo.</p> <p>S'agissant du traitement de mots de 8 bits dans un système à 10 bits, il faut leur ajouter deux bits de plus faible poids constitués de zéros.</p>	

⁽¹⁾ Le cas échéant.

Appendice 1 à l'Annexe 1

Définition des signaux utilisés dans les normes de codage numérique

1 Relation entre la ligne active numérique et les références de synchronisation analogique

La relation entre les échantillons de luminance de la ligne active numérique et la référence de synchronisation analogique est indiquée à:

- la Fig. 1 pour les systèmes à 625 lignes;
- la Fig. 2 pour les systèmes à 525 lignes.

Dans les Figures, le point d'échantillonnage a lieu au début de chaque bloc.

On peut obtenir le nombre des échantillons de différence de couleur pour le niveau 4:2:2 de la famille en divisant par deux le nombre des échantillons de luminance. Pour répartir symétriquement la ligne active numérique compte tenu des tolérances, on a choisi les répartitions (12,132) et (16,122). Elles ne font pas partie des spécifications de la ligne numérique et se rattachent seulement aux interfaces analogiques.

FIGURE 1

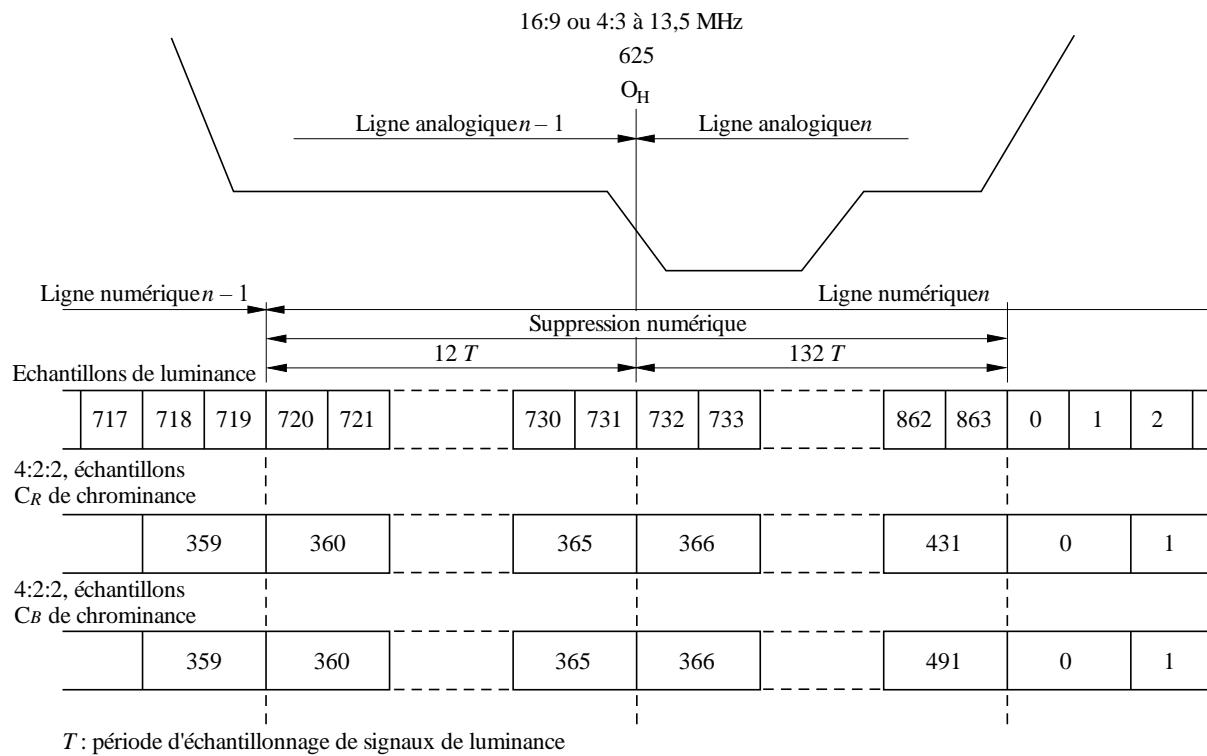
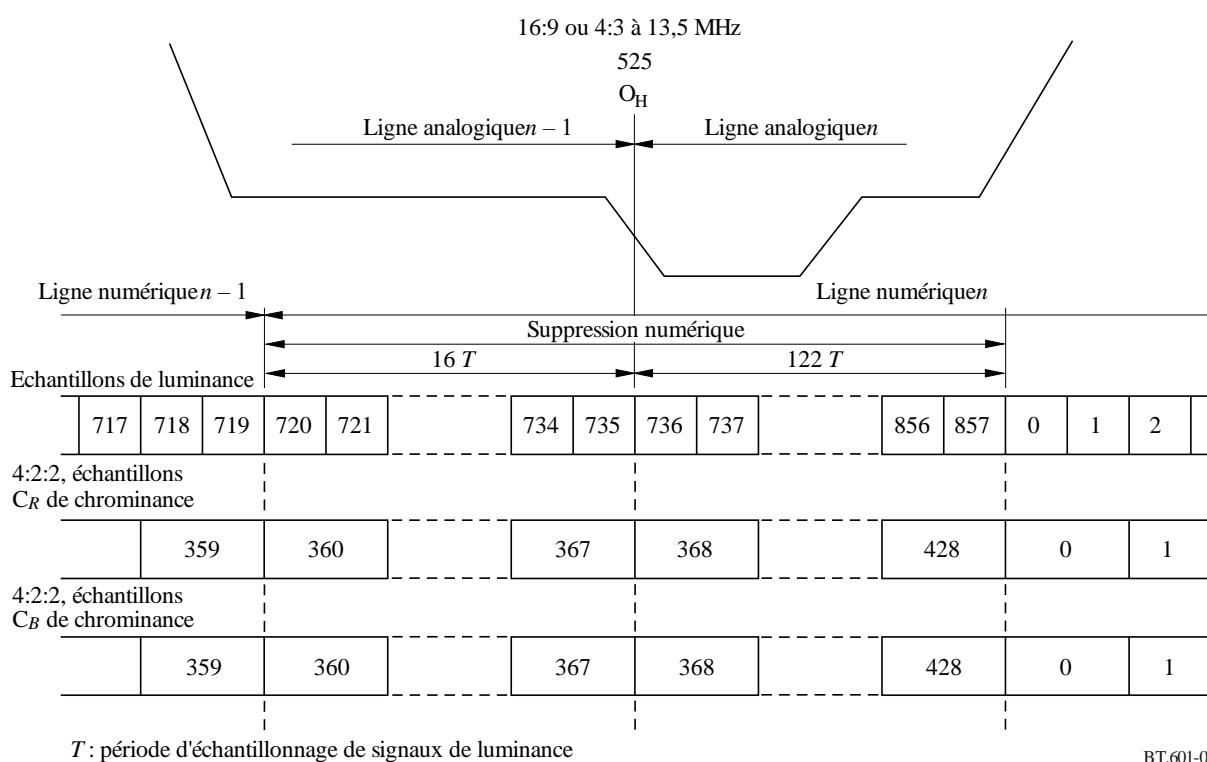


FIGURE 2



Appendice 2 à l'Annexe 1

Caractéristiques du filtrage

1 Quelques indications sur la mise en œuvre en pratique des filtres

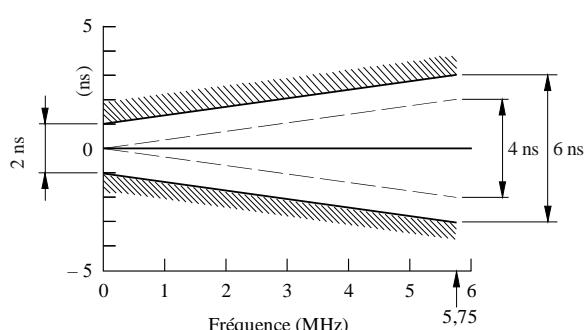
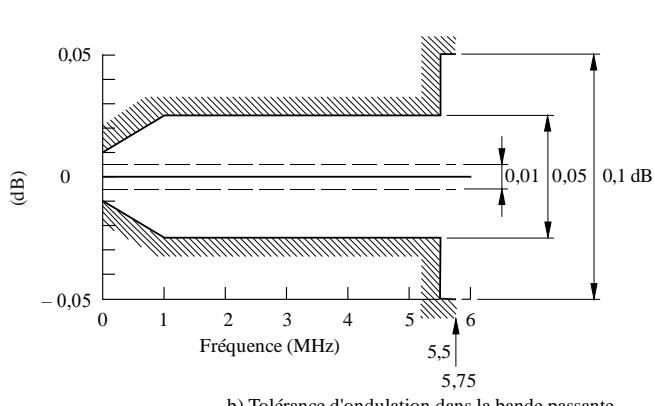
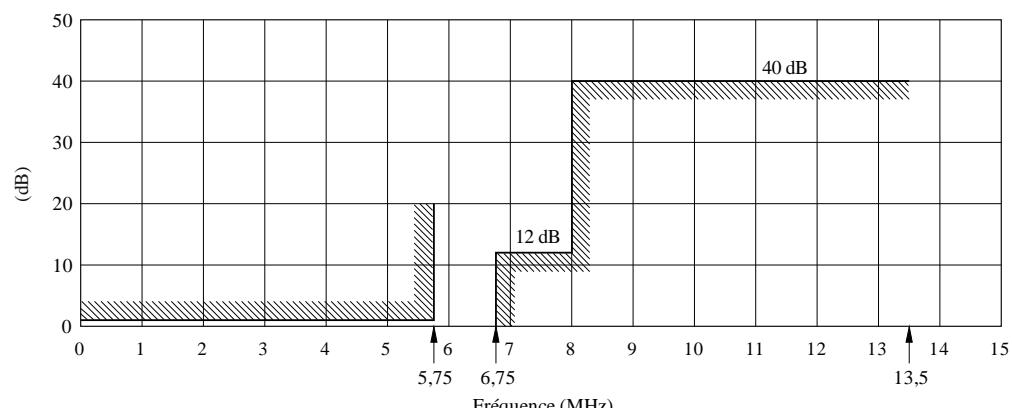
Dans les propositions relatives aux filtres utilisés dans le codage et dans le décodage, on a supposé que la correction de la caractéristique ($\sin x/x$) était réalisée dans les postfiltres qui sont placés après les convertisseurs numérique-analogique. Les tolérances dans la bande passante du filtre, avec son correcteur en ($\sin x/x$), plus la caractéristique théorique en ($\sin x/x$) devraient être les mêmes que celles données pour les filtres proprement dits. Afin d'y parvenir plus aisément, il y a lieu, lors de la conception, de traiter le filtre, le correcteur en ($\sin x/x$) et l'égalisateur du temps de propagation comme un ensemble unique.

Il faut que la somme des temps de propagation dus au filtrage et au codage des composantes de luminance et de différence de couleur soit la même. Le temps de propagation est deux fois plus grand dans le filtre de différence de couleur (Fig. 4a) et Fig. 4b)) que dans celui de luminance (Fig. 3a) et Fig. 3b)). Il est difficile d'égaliser ces temps de propagation en utilisant des lignes à retard analogiques sans dépasser les tolérances fixées dans la bande passante; aussi est-il recommandé que la plus grande partie de ce temps (exprimé en multiples entiers de la période d'échantillonnage) soit égalisée dans le domaine numérique. Pour la correction d'un reste éventuel, il convient de noter que le circuit d'échantillonnage et de maintien du décodeur introduit un retard uniforme égal à la moitié d'une période d'échantillonnage.

Il est reconnu que les tolérances sur l'ondulation et le temps de propagation de groupe dans la bande passante sont très strictes. L'état actuel des études indique qu'il est nécessaire de les respecter afin qu'un nombre important d'opérations de codage et de décodage puisse être effectué en cascade sans que l'on doive sacrifier la haute qualité potentielle de la norme de codage 4:2:2. Comme les performances des instruments de mesure actuellement disponibles sont limitées, les constructeurs risquent d'éprouver des difficultés à vérifier économiquement que chacun des filtres d'une production en série satisfait bien aux tolérances. Il est néanmoins possible de concevoir des filtres tels que les caractéristiques spécifiées soient satisfaites dans la pratique et les constructeurs doivent faire tout leur possible, dans la production en série, pour aligner chaque filtre de manière qu'il respecte le gabarit correspondant.

En rédigeant les spécifications de l'Appendice 2, on a essayé dans la mesure du possible de respecter le spectre des signaux Y , C_R , C_B tout au long de la chaîne du signal en composantes. On reconnaît toutefois qu'il faut modifier la caractéristique spectrale de la différence de couleur au moyen d'un filtre à pente douce inséré dans les récepteurs de contrôle ou à la fin de la chaîne du signal en composantes.

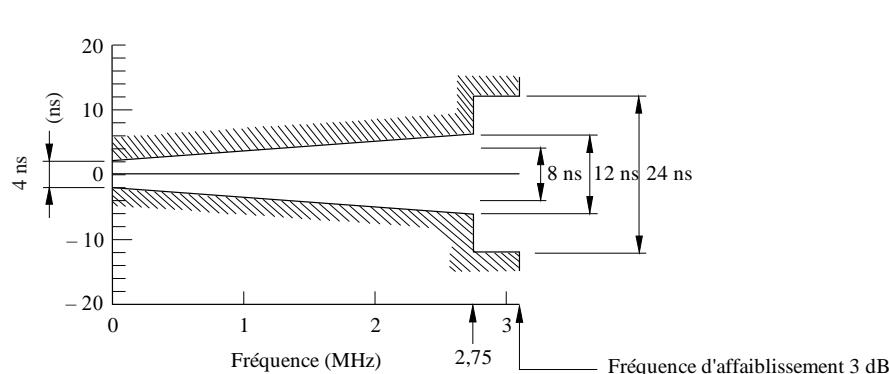
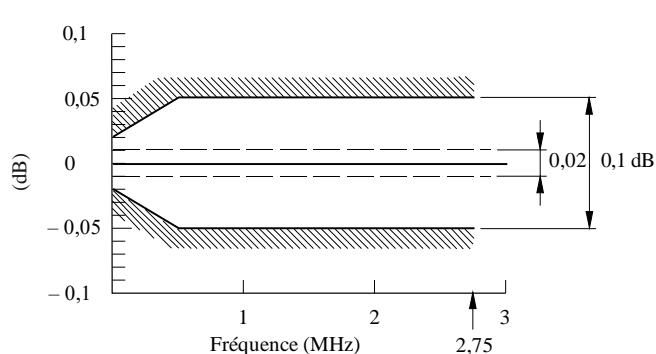
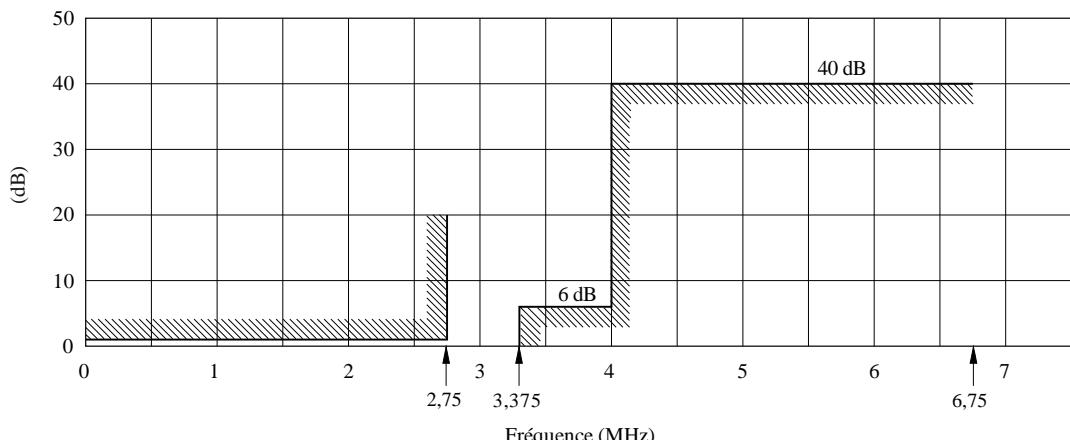
FIGURE 3
Gabarit d'un filtre pour signal de luminance, pour signal RVB
ou de différence de couleur 4:4:4



Note 1 – Les valeurs les plus faibles indiquées en b) et c) correspondent à 1 kHz (au lieu de 0 MHz).

BT.601-03

FIGURE 4
Gabarit d'un filtre pour signal de différence de couleur 4:2:2

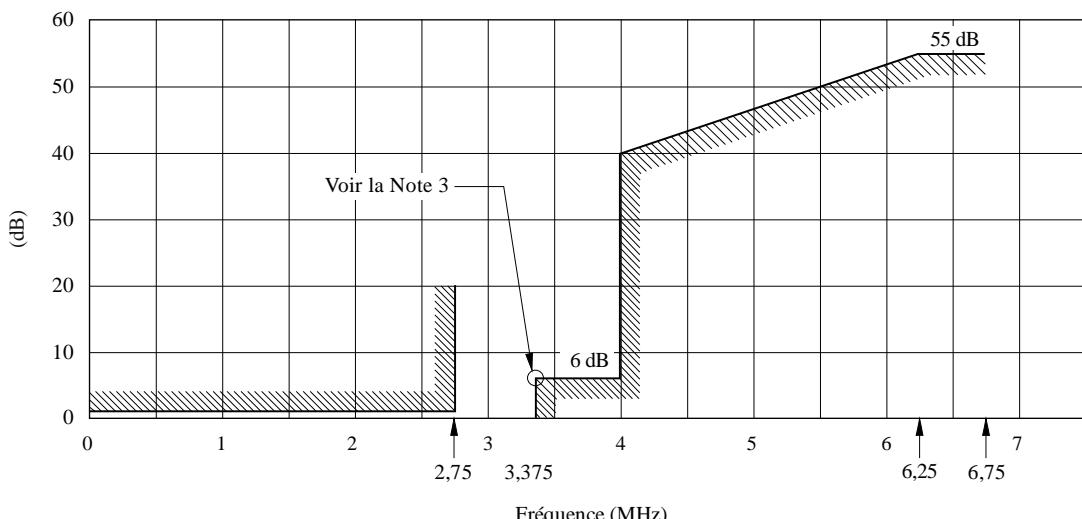


Note 1 – Les valeurs les plus faibles indiquées en b) et c) correspondent à 1 kHz (au lieu de 0 MHz).

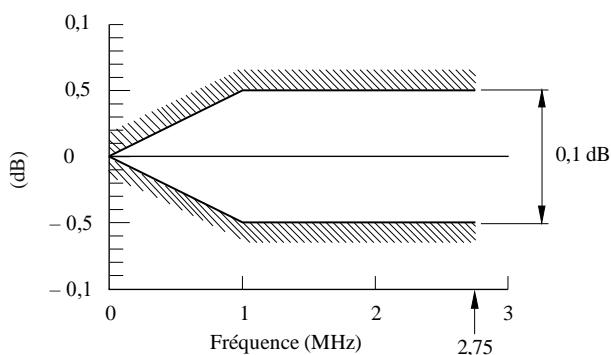
BT.601-04

FIGURE 5

**Gabarit d'un filtre numérique pour conversion de la fréquence d'échantillonnage
de signaux de différence de couleur 4:4:4 à 4:2:2**



a) Gabarit pour la caractéristique affaiblissement d'insertion/fréquence



b) Tolérance d'ondulation dans la bande passante

BT.601-05

Notes relatives aux Fig. 3, 4 et 5:

Note 1 – L'ondulation et le temps de propagation de groupe sont spécifiés par rapport à leurs valeurs à 1 kHz. Les lignes en trait plein représentent les limites pratiques et les lignes en tirets correspondent aux limites suggérées pour le schéma théorique.

Note 2 – Dans le filtre numérique, les deux limites, théoriques et pratiques, sont les mêmes. La distorsion de temps de propagation de groupe est nulle, en vertu de la conception du filtre.

Note 3 – Dans le filtre numérique (Fig. 5), la caractéristique amplitude/fréquence (tracée selon des échelles linéaires) devrait être symétrique par rapport au point à mi-amplitude, comme cela est indiqué sur la Figure.

Note 4 – Dans les propositions relatives aux filtres utilisés dans les opérations de codage et de décodage, on a admis que, dans les postfiltres appliqués à la suite de la conversion numérique-analogique, il est prévu une correction pour la caractéristique ($\sin x/x$) des circuits échantillon et maintien.

Annexe 2

Calcul des coefficients entiers des équations de luminance et de différence de couleur pour le système à gamme de couleurs conventionnelle

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 matriçage analogique et les signaux RVB numériquement matricés après quantification. Pour minimiser ces erreurs, il faut optimiser les coefficients entiers des équations numériques. La procédure d'optimisation et les coefficients entier résultants sont donnés ci-dessous pour différentes longueurs en bits.

1 Équations numériques

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

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

$$D'_Y = \text{INT} [0,299 D'_R + 0,587 D'_G + 0,114 D'_B] \quad (1)$$

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

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

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

$$r'_{Y1} = 0,299 \times 2^m \qquad k'_{Y1} = \text{INT} [r'_{Y1}]$$

$$r'_{Y2} = 0,587 \times 2^m \qquad k'_{Y2} = \text{INT} [r'_{Y2}]$$

$$r'_{Y3} = 0,114 \times 2^m \qquad k'_{Y3} = \text{INT} [r'_{Y3}]$$

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

$$D'_{CB} = \text{INT} \left[\frac{-0,299 D'_R - 0,587 D'_G + 0,886 D'_B}{1,772} \times \frac{224}{219} + 2^{n-1} \right] \quad (4)$$

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

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

$$D'_{CR} = \text{INT} \left[\frac{0,701 D'_R - 0,587 D'_G - 0,114 D'_B}{1,402} \times \frac{224}{219} + 2^{n-1} \right] \quad (7)$$

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

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

où:

$$r'_{CB1} = -\frac{0,299}{1,772} \times \frac{224}{219} \times 2^m \quad k'_{CB1} = \text{INT}[r'_{CB1}]$$

$$r'_{CB2} = -\frac{0,587}{1,772} \times \frac{224}{219} \times 2^m \quad k'_{CB2} = \text{INT}[r'_{CB2}]$$

$$r'_{CB3} = \frac{0,886}{1,772} \times \frac{224}{219} \times 2^m \quad k'_{CB3} = \text{INT}[r'_{CB3}]$$

$$r'_{CR1} = \frac{0,701}{1,402} \times \frac{224}{219} \times 2^m \quad k'_{CR1} = \text{INT}[r'_{CR1}]$$

$$r'_{CR2} = -\frac{0,587}{1,402} \times \frac{224}{219} \times 2^m \quad k'_{CR2} = \text{INT}[r'_{CR2}]$$

$$r'_{CR3} = -\frac{0,114}{1,402} \times \frac{224}{219} \times 2^m \quad k'_{CR3} = \text{INT}[r'_{CR3}]$$

2 Procédure d'optimisation

L'équation (3) donne le signal de luminance après matriçage 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.

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

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 (matriçage analogique et matriçage numérique).

La procédure d'optimisation est la suivante:

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

Étape 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 § 3).

Étape 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.

Étape 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).

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

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

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 δ_{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:

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

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

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