

Recommandation UIT-R BT.2100-3 (02/2025)

Série BT: Service de radiodiffusion télévisuelle

**Valeurs des paramètres de l'image dans
le cas de systèmes de télévision à
grande plage dynamique à utiliser pour
la production et l'échange international
de programmes**

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 <https://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: <https://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 radiorepérage 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, 2025

© UIT 2025

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.2100-3

Valeurs des paramètres de l'image dans le cas de systèmes de télévision à grande plage dynamique à utiliser pour la production et l'échange international de programmes

(Question UIT-R 142-3/6)

(2016-2017-2018-2025)

TABLE DES MATIÈRES

Page

Annexe 1 (informative) – Relations entre les fonctions OETF, EOTF et OOTF	11
Annexe 2 (informative) – Représentation paramétrique des fonctions de transfert électro-optiques et opto-électroniques	14

Domaine d'application

La télévision à grande plage dynamique (TV-HDR) offre aux téléspectateurs une expérience visuelle améliorée en diffusant des images qui ont été produites pour s'afficher correctement sur des écrans plus lumineux et qui contiennent des zones lumineuses beaucoup plus intenses et des zones sombres plus détaillées. La présente Recommandation spécifie les paramètres d'image TV-HDR à utiliser pour la production et l'échange international de programmes au moyen de deux méthodes: la méthode de la quantification perceptuelle (PQ, *Perceptual Quantization*) et la méthode hybride log-gamma (HLG, *Hybrid Log-Gamma*).

Mots clés

Grande plage dynamique, HDR, télévision, TV-HDR, paramètres de système pour les images, production télévisuelle, échange international de programmes, gamme de couleurs étendue, quantification perceptuelle, PQ, hybride log-gamma, HLG

L'Assemblée des radiocommunications de l'UIT,

considérant

a) que l'UIT-R a défini des formats d'image de télévision numérique pour la télévision à haute définition (TVHD) et la télévision à ultra-haute définition (TVUHD) dans les Recommandations UIT-R BT.709 et UIT-R BT.2020;

b) que ces formats d'image de télévision numérique ont été limités quant à la plage dynamique d'image qu'ils peuvent offrir du fait qu'ils reposent sur des caractéristiques héritées des systèmes à tube à rayon cathodique (CRT, *cathode ray tube*) dans lesquels la brillance de l'image et le niveau de détail dans les zones sombres sont limités;

c) que les écrans modernes sont capables de reproduire des images avec une luminance plus élevée, un plus grand rapport de contraste et une gamme de couleurs plus étendue que ceux classiquement utilisés pour la production de programmes;

- d) que les spectateurs attendent des futurs systèmes de télévision qu'ils offrent des caractéristiques encore meilleures que celles des systèmes de TVHD et TVUHD actuels, à savoir des sensations plus réalistes, une plus grande fidélité avec le monde réel et une information visuelle plus précise;
- e) qu'il a été établi que la télévision à grande plage dynamique (TV-HDR) permet aux téléspectateurs de mieux apprécier les images de télévision;
- f) que la TV-HDR provoque un saut qualitatif en termes d'expérience utilisateur en augmentant considérablement la brillance et les détails dans les zones claires et les objets réfléchissants diffus, tout en offrant un plus grand niveau de détail dans les zones sombres;
- g) que la combinaison de la plage dynamique améliorée et de la gamme de couleurs étendue donne à la TV-HDR un volume de couleurs sensiblement plus grand;
- h) qu'il est souhaitable d'assurer une certaine compatibilité, le cas échéant, entre d'un côté les formats d'image de la TV-HDR et, de l'autre, les flux de travail existants et les infrastructures;
- i) que des conditions d'observation de référence, y compris des paramètres d'affichage, devraient être définies pour les formats d'image de la TV-HDR,

considérant en outre

qu'étant donné les avancées rapides que connaît la technologie HDR, l'UIT peut souhaiter envisager de mettre à jour et d'améliorer rapidement la présente Recommandation,

reconnaissant

que le Rapport UIT-R BT.2390 contient de nombreuses informations sur deux méthodes permettant de produire la TV-HDR,

recommande

que les spécifications concernant la quantification perceptuelle (PQ) ou la méthode hybride log-gamma (HLG) décrites dans la présente Recommandation soient utilisées pour la production et l'échange international de programmes de TV-HDR.

NOTE – La méthode PQ permet d'obtenir une très vaste gamme de niveaux de brillance pour une profondeur binaire donnée en utilisant une fonction de transfert non linéaire bien adaptée au système de vision de l'être humain. La méthode HLG permet d'obtenir une certaine compatibilité avec les dispositifs d'affichage plus anciens en raison d'une meilleure concordance avec les courbes de transfert précédemment établies pour la télévision. Le Rapport UIT-R BT.2390 fournit des informations supplémentaires concernant les méthodes PQ et HLG, la conversion entre ces formats ainsi que la compatibilité avec les systèmes antérieurs.

TABLEAU 1

Caractéristiques spatiales de l'image

Paramètre	Valeurs
Forme du conteneur de l'image ^{1a}	16:9
Nombre de pixels du conteneur ^{1b} Horizontal × vertical	7 680 × 4 320 3 840 × 2 160 1 920 × 1 080
Grille d'échantillonnage	Orthogonale
Format de pixel	1:1 (pixels carrés)
Ordre des pixels	Les pixels sont ordonnés de gauche à droite dans chaque ligne, et les lignes sont ordonnées de haut en bas.

TABLEAU 1 (*fin*)

Paramètre	Valeurs
Fréquence de trame (Hz)	120, 120/1,001, 100, 60, 60/1,001, 50, 30, 30/1,001, 25, 24, 24/1,001
Format d'image	Progressif

Note 1a – Le conteneur sert à définir les contraintes horizontales et verticales du format de l'image.

Note 1b – Pour la production, il convient d'utiliser le format d'image de solution la plus élevée réalisable. Il est admis que, souvent, les productions de haute résolution seront sous-échantillonnées en des formats de résolution inférieure aux fins de la diffusion. On sait que la production suivant un format de haute résolution suivie d'un sous-échantillonnage électronique pour la diffusion donne un résultat de meilleure qualité que la production effectuée directement avec la résolution utilisée pour la diffusion.

TABLEAU 2

Colorimétrie utilisée dans le système

Paramètre		Valeurs		
		Spectre optique (à titre d'information)	Coordonnées de chromaticité (CIE, 1931)	
			<i>x</i>	<i>y</i>
Couleurs primaires	Rouge primaire (R)	monochromatique 630 nm	0,708	0,292
	Vert primaire (G)	monochromatique 532 nm	0,170	0,797
	Bleu primaire (B)	monochromatique 467 nm	0,131	0,046
Blanc de référence		D65 selon ISO 11664-2:2007	0,327	0,3290
Fonctions d'égalisation des couleurs		CIE 1931		

Le Tableau 3 spécifie les paramètres permettant d'établir des conditions d'observation de référence pour l'observation critique d'éléments de programme ou de programmes complets HDR pouvant produire des résultats reproductibles d'une installation à l'autre lors de l'observation d'un même programme. Des installations d'observation peuvent continuer et continueront d'être mises en place de nombreuses manières différentes par les organismes s'occupant du montage, de la correction des couleurs, du filtrage, etc.; les spécifications figurant dans ce Tableau ne sauraient imposer l'uniformité absolue de ces installations.

TABLEAU 3
**Conditions d'observation de référence pour l'observation critique
des éléments de programme HDR**

Paramètre	Valeurs
Zone environnante et zone périphérique ^{3a}	Gris neutre à D65
Luminance de la zone environnante	5 cd/m ²
Luminance de la zone périphérique	≤ 5 cd/m ²
Éclairage ambiant	Éviter l'éclairage direct de l'écran
Distance d'observation ^{3b}	Pour le format 1 920 × 1 080: 3,2 hauteurs de l'image Pour le format 3 840 × 2 160: de 1,6 à 3,2 hauteurs de l'image Pour le format 7 680 × 4 320: de 0,8 à 3,2 hauteurs de l'image
Valeur de crête de la luminance de l'écran ^{3c}	≥ 1 000 cd/m ²
Valeur minimale de la luminance de l'écran (niveau noir) ^{3d}	≤ 0,005 cd/m ²

Note 3a – Le terme «zone environnante» désigne l'espace situé autour de l'écran pouvant avoir une incidence sur l'adaptation visuelle; il s'agit généralement du mur ou du rideau se trouvant derrière l'écran. La «zone périphérique» désigne le reste de l'environnement, au-delà de la zone environnante.

Note 3b – Lorsque l'évaluation de l'image porte sur la résolution, il convient d'utiliser la valeur de distance d'observation la plus faible. Dans le cas contraire, on pourra choisir n'importe quelle distance dans l'intervalle indiqué.

Note 3c – Cela ne signifie pas que ce niveau de luminance doit être atteint pour un blanc plein écran, mais plutôt pour des zones claires de petite taille.

Note 3d – Pour la méthode PQ dans des conditions d'observation différentes des conditions de référence, ou pour la méthode HLG (quelles que soient les conditions d'observation), le niveau noir doit être ajusté au moyen du signal d'essai PLUGE et selon la procédure spécifiée dans la Recommandation UIT-R BT.814.

Les Tableaux 4 et 5 décrivent les fonctions de transfert applicables respectivement au format PQ et au format HLG. Lors de la production et de l'affichage de la télévision à grande plage dynamique, il convient d'utiliser les fonctions de transfert de façon cohérente entre les différents systèmes et de ne pas les mélanger. L'Annexe informative 1 illustre la signification des diverses fonctions de transfert et précise à quelle étape de la chaîne du signal elles sont utilisées. On trouvera dans l'Annexe informative 2 des informations sur des équations de substitution propres à faciliter la mise en œuvre de ces fonctions de transfert.

TABLEAU 4
Fonctions de transfert non linéaire de référence pour les systèmes PQ

Paramètre	Valeurs
Signal d'entrée vers fonction de transfert électro-optique PQ (EOTF)	Valeur codée PQ non linéaire. La fonction EOTF met en correspondance le signal PQ non linéaire avec la lumière de l'écran.

TABLEAU 4 (*fin*)

Paramètre	Valeurs
EOTF PQ de référence ^{4a}	$F_D = \text{EOTF}[E'] = 10000 Y$ $Y = \left(\frac{\max[(E'^{1/m_2} - c_1), 0]}{c_2 - c_3 E'^{1/m_2}} \right)^{1/m_1}$ <p>où:</p> <p>E' désigne une valeur de couleur non linéaire $\{R', G', B'\}$ ou $\{L', M', S'\}$ dans l'espace PQ dans l'intervalle [0:1]</p> <p>F_D désigne la luminance d'une composante linéaire affichée $\{R_D, G_D, B_D\}$ ou Y_D ou I_D, en cd/m^2 ^{4b}</p> <p>Y désigne la valeur de couleur linéaire normalisée, dans l'intervalle [0:1]</p> <p>$m_1 = 2610/16384 = 0,1593017578125$</p> <p>$m_2 = 2523/4096 \times 128 = 78,84375$</p> <p>$c_1 = 3424/4096 = 0,8359375 = c_3 - c_2 + 1$</p> <p>$c_2 = 2413/4096 \times 32 = 18,8515625$</p> <p>$c_3 = 2392/4096 \times 32 = 18,6875$</p>
Signal d'entrée vers fonction de transfert opto-optique PQ (OOTF)	<p>Lumière linéaire de la scène.</p> <p>La fonction OOTF met en correspondance la lumière linéaire relative de la scène avec la lumière linéaire à l'écran.</p>
OOTF PQ de référence	$F_D = \text{OOTF}[E] = G_{1886} [G_{709}[E]]$ <p>où:</p> <p>$E = \{R_S, G_S, B_S; Y_S; \text{ou } I_S\}$ désigne le signal déterminé par la lumière de la scène et pondéré par l'exposition de la caméra</p> <p>Les valeurs $E, R_S, G_S, B_S, Y_S, I_S$ sont dans l'intervalle [0:1] ^{4c}</p> <p>E' désigne une représentation non linéaire de E</p> <p>F_D désigne la luminance d'une composante linéaire affichée ($R_D, G_D, B_D; Y_D; \text{ou } I_D$)</p> $F_D = G_{1886} [G_{709}[E]] = G_{1886} E'$ $E' = G_{709}[E] = 1,099 (59,5208 E)^{0,45} - 0,099 \text{ pour } 1 \geq E > 0,0003024$ $= 267,84 E \text{ pour } 0,0003024 \geq E \geq 0$ $F_D = G_{1886}[E'] = 100 E'^{2,4}.$
Signal d'entrée vers fonction de transfert opto-électronique PQ (OETF)	<p>Lumière linéaire de la scène.</p> <p>La fonction OETF met en correspondance la lumière linéaire relative de la scène avec la valeur du signal PQ non linéaire.</p>
OETF PQ de référence L'utilisation de cette fonction OETF donnera la fonction OOTF de référence lorsque le signal est affiché sur un téléviseur de référence utilisant la fonction EOTF de référence.	$E' = \text{OETF}[E] = \text{EOTF}^{-1}[\text{OOTF}[E]] = \text{EOTF}^{-1}[F_D]$ <p>où:</p> $\text{EOTF}^{-1}[F_D] = \left(\frac{c_1 + c_2 Y^{m_1}}{1 + c_3 Y^{m_1}} \right)^{m_2}$ $Y = F_D / 10000$ <p>E' désigne le signal non linéaire résultant (R', G', B') dans l'intervalle [0:1].</p> <p>F_D, E, sont tels que spécifiés dans la fonction de transfert opto-optique.</p> <p>m_1, m_2, c_1, c_2, c_3 sont tels que spécifiés dans la fonction de transfert électro-optique.</p>

Notes relatives au Tableau 4:

Note 4a – Il convient d'utiliser cette non-linéarité (et son inverse) lorsqu'il faut effectuer une conversion entre la représentation non linéaire et la représentation linéaire.

Note 4b – Dans la présente Recommandation, la luminance d'une seule composante de couleur (R_D , G_D , B_D) désigne la luminance d'un signal achromatique équivalent pour lequel les trois composantes de couleur ont la même valeur.

Note 4c – La correspondance entre le signal de sortie du capteur de la caméra et E peut être choisie de manière à ce que la scène ait la brillance désirée.

TABLEAU 5

Fonctions de transfert non linéaire de référence pour les systèmes hybrides log-gamma (HLG)

Paramètre	Valeurs
Signal d'entrée vers OETF HLG	Lumière linéaire de la scène. La fonction OETF met en correspondance la lumière linéaire relative de la scène avec la valeur du signal non linéaire.
OETF de référence HLG ^{5a}	$E' = \text{OETF}[E] = \begin{cases} \sqrt{3E} & 0 \leq E \leq \frac{1}{12} \\ a \cdot \ln(12E - b) + c & \frac{1}{12} < E \leq 1 \end{cases}$ <p>où: E correspond au signal de chacune des composantes de couleur $\{R_s, G_s, B_s\}$ proportionnel à la lumière linéaire de la scène et normalisé dans l'intervalle $[0:1]$.^{5b} E' désigne le signal non linéaire résultant $\{R', G', B'\}$ dans l'intervalle $[0:1]$ $a = 0,17883277$, $b = 1 - 4a$, $c = 0,5 - a \cdot \ln(4a)$.^{5c}</p>
Signal d'entrée HLG vers OOTF	Lumière linéaire de la scène. La fonction OOTF met en correspondance la lumière linéaire relative de la scène avec la lumière linéaire à l'écran.
OOTF de référence HLG ⁵ⁱ	$F_D = \text{OOTF}[E] = \alpha Y_s^{\gamma-1} E$ $R_D = \alpha Y_s^{\gamma-1} R_s$ $G_D = \alpha Y_s^{\gamma-1} G_s$ $B_D = \alpha Y_s^{\gamma-1} B_s$ $Y_s = 0,2627R_s + 0,6780G_s + 0,0593B_s$ <p>où: F_D désigne la luminance d'une composante linéaire affichée $\{R_D, G_D, B_D\}$, en cd/m^2.^{5d} E correspond au signal de chacune des composantes de couleur $\{R_s, G_s, B_s\}$ proportionnel à la lumière linéaire de la scène et normalisé dans l'intervalle $[0:1]$. Y_s désigne la luminance de la scène linéaire normalisée. α est la variable désignant le gain d'utilisateur en cd/m^2. Elle représente L_w, la valeur de crête de la luminance nominale d'un écran pour les pixels achromatiques. γ désigne le gamma système. $\gamma = 1,2$ à la valeur de crête de la luminance nominale de l'écran de $1\,000\text{ cd/m}^2$. Dans le cas des écrans présentant une luminance de crête nominale d'une valeur autre que $1\,000\text{ cd/m}^2$, la valeur gamma système devrait être ajustée conformément à la formule gamma donnée dans la note 5f.^{5e, 5f, 5g}</p>

TABLEAU 5 (*fin*)

Paramètre	Valeurs
Signal d'entrée vers EOTF HLG	Valeur codée HLG non linéaire. La fonction EOTF met en correspondance le signal HLG non linéaire avec la lumière de l'écran.
EOTF de référence HLG	$F_D = \text{EOTF}[\max(0, (1-\beta)E' + \beta)]$ $= \text{OOTF}[\text{OETF}^{-1}[\max(0, (1-\beta)E' + \beta)]]$ <p>où:</p> <p>F_D désigne la luminance d'une composante linéaire affichée $\{R_D, G_D, \text{ ou } B_D\}$, en cd/m^2.</p> <p>E' désigne le signal non linéaire $\{R', G', B'\}$ tel que défini pour la fonction OETF de référence HLG.^{5h}</p> <p>β est la variable correspondant au décollement du niveau noir par l'utilisateur.</p> <p>OETF[] est telle que définie pour la fonction OETF de référence HLG.</p> $\text{OETF}^{-1}[x] = \begin{cases} x^2/3 & 0 \leq x \leq 1/2 \\ \{\exp((x-c)/a) + b\}/12 & 1/2 < x \leq 1 \end{cases}$ <p>Les valeurs des paramètres a, b et c sont ceux définis pour la fonction OETF de référence HLG.</p> <p>et:</p> $\beta = \sqrt{3(L_B / L_W)^{1/\gamma}}$ <p>L_W désigne la valeur de crête de la luminance nominale de l'écran, en cd/m^2, pour les pixels achromatiques.</p> <p>L_B désigne la luminance de l'écran pour le noir, en cd/m^2.</p>

Note 5a – Il convient d'utiliser l'inverse de cette non-linéarité lorsqu'il faut effectuer une conversion entre la représentation non linéaire et la représentation linéaire de la lumière de la scène.

Note 5b – La correspondance entre le signal de sortie du capteur de la caméra et E peut être choisie de manière à ce que la scène ait la brillance désirée.

Note 5c – Pour b et c , on obtient les valeurs suivantes: $b = 0,28466892$ et $c = 0,55991073$.

Note 5d – Dans la présente Recommandation, lorsqu'il est fait référence à la luminance d'une seule composante de couleur (R_D, G_D, B_D), il s'agit de la luminance d'un signal achromatique équivalent dont les composantes de couleur ont toutes les trois la même valeur.

Note 5e – Cette fonction EOTF applique gamma à la composante de luminance du signal, mais certains écrans d'ancienne génération peuvent appliquer gamma séparément aux composantes de couleur. Avec ces anciens écrans, on obtient une valeur approchée de la fonction OETF de référence.

Note 5f – Dans le cas des écrans présentant une luminance de crête nominale (L_W) d'une valeur autre que $1\,000\text{ cd/m}^2$, où lorsque la luminance de crête nominale efficace est ajustée au moyen d'un contrôle du contraste, la valeur gamma système devrait être ajustée conformément à la formule ci-dessous, et peut être arrondie à trois chiffres significatifs:

$$\gamma = 1,2 + 0,42 \log_{10}(L_W/1\,000)$$

Dans le cas des applications pour lesquelles la valeur L_W est en dehors de l'intervalle habituel de contrôle de la production compris entre 400 cd/m^2 et $2\,000\text{ cd/m}^2$, il convient d'utiliser la formule ci-après relative à une plage étendue:

$$\gamma = 1,2 \times \kappa^{\log_2(L_W/1\,000)} \text{ où } \kappa = 1,111$$

Notes relatives au Tableau 5 (fin):

Note 5g – La valeur gamma système pourra être réduite lorsque l'arrière-plan et la périphérie sont plus lumineux.

Note 5h – Pendant la production, on peut s'attendre à ce que les valeurs de signal sortent de l'intervalle $E' = [0,0; 1,0]$. Cela offre une marge de sécurité pour le traitement et permet d'éviter la dégradation du signal pendant le traitement en cascade. Ces valeurs de E' , inférieures à 0,0 ou supérieures à 1,0, ne devraient pas être écrêtées pendant la production et l'échange. Les valeurs inférieures à 0,0 ne devraient pas être écrêtées sur les écrans de référence (bien qu'elles représentent une lumière «négative») de sorte que le niveau noir du signal (L_B) puisse être correctement établi au moyen de signaux de test connus sous le nom de «PLUGE».

Note 5i – L'inverse de la fonction OOTF HLG est donnée par les équations suivantes:

$$R_s = \left(\frac{Y_D}{\alpha} \right)^{(1-\gamma)/\gamma} \frac{R_D}{\alpha}$$

$$G_s = \left(\frac{Y_D}{\alpha} \right)^{(1-\gamma)/\gamma} \frac{G_D}{\alpha}$$

$$B_s = \left(\frac{Y_D}{\alpha} \right)^{(1-\gamma)/\gamma} \frac{B_D}{\alpha}$$

$$Y_D = 0,2627R_D + 0,6780G_D + 0,0593B_D$$

À des fins de traitement, lorsque l'écran réel n'est pas connu, il est possible de prendre α égal à 1,0 cd/m².

Les Tableaux 6 et 7 décrivent différentes représentations des signaux de luminance et de chrominance adaptées au sous-échantillonnage couleur et/ou au codage de la source. Le format «luminance non constante» (NCL, *Non-Constant Luminance*) est couramment utilisé et est considéré comme le format par défaut. Le format «intensité constante» (CI, *Constant Intensity*) est introduit pour la première fois dans la présente Recommandation et ne devrait pas être utilisé pour l'échange de programmes, sauf accord de toutes les parties prenantes.

TABLEAU 6

Format de signal luminance non constante

$Y'C'_BC'_R$ ^{6a}

Paramètre	Valeurs PQ	Valeurs HLG
Calcul de R', G', B'	$\{R', G', B'\} = \text{EOTF}^{-1}(F_D)$ où $F_D = \{R_D, G_D, B_D\}$	$\{R', G', B'\} = \text{OETF}(E)$ où $E = \{R_s, G_s, B_s\}$
Calcul de Y'	$Y' = 0,2627R' + 0,6780G' + 0,0593B'$	
Calcul des signaux de chrominance	$C'_B = \frac{B' - Y'}{1,8814}$ $C'_R = \frac{R' - Y'}{1,4746}$	

Note 6a – Par souci de cohérence avec les termes utilisés précédemment, Y', C'_B et C'_R sont suivis du symbole «prime» pour indiquer qu'ils proviennent des valeurs non linéaires Y, B et R .

TABLEAU 7

Format de signal intensité constante $IC_T C_P^{7a, 7b}$

Paramètres	Valeurs PQ	Valeurs HLG
Espace des couleurs L, M, S	$L = (1688R + 2146G + 262B)/4096$ $M = (683R + 2951G + 462B)/4096$ $S = (99R + 309G + 3688B)/4096$	
Calcul de L', M', S' ^{7c}	$\{L', M', S'\} = \text{EOTF}^{-1}(F_D)$ où $F_D = \{L_D, M_D, S_D\}$	$\{L', M', S'\} = \text{OETF}(E)$ où $E = \{L_S, M_S, S_S\}$
Calcul de I	$I = 0,5L' + 0,5M'$	
Calcul des signaux de chrominance	$C_T = (6610L' - 13613M' + 7003S')/4096$ $C_P = (17933L' - 17390M' + 543S')/4096$	$C_T = (3625L' - 7465M' + 3840S')/4096$ $C_P = (9500L' - 9212M' - 288S')/4096$

Note 7a – Les symboles I, C_T et C_P nouvellement introduits ne sont pas suivis du symbole «prime» par souci de simplification.

Note 7b – Les couleurs devraient être maintenues à l'intérieur du triangle défini par les couleurs primaires RGB du Tableau 2.

Note 7c – Les indices D et S correspondent respectivement à la lumière affichée (*display light*) et à la lumière de la scène (*scene light*).

TABLEAU 8

Sous-échantillonnage de la couleur

Paramètre	Valeurs		
Signal codé	R', G', B' ou Y', C'_B, C'_R ou I, C_T, C_P		
Grille d'échantillonnage – R', G', B', Y', I	Orthogonale, se répétant en ligne et en image et coïncidant		
Grille d'échantillonnage – C'_B, C'_R, C_T, C_P	Orthogonale, se répétant en ligne et en image, en coïncidence l'un avec l'autre. Le premier échantillon (en haut à gauche) coïncide avec les premiers échantillons Y' ou I' .		
	Système 4:4:4	Système 4:2:2	Système 4:2:0
	Chaque composante a le même nombre d'échantillons horizontaux que la composante Y' ou I'	Horizontalement sous-échantillonnée selon un facteur 2 par rapport à la composante Y' ou I'	Horizontalement et verticalement sous-échantillonnée selon un facteur 2 par rapport à la composante Y' ou I'

Le Tableau 9 décrit deux représentations de signal différentes, l'une «étroite», l'autre «complète». La représentation à intervalle étroit est couramment utilisée et est considérée comme la représentation par défaut. La représentation à intervalle complet est introduite pour la première fois dans la présente Recommandation et ne devrait pas être utilisée pour l'échange de programmes, sauf accord de toutes les parties prenantes.

TABLEAU 9
Représentation numérique par entiers sur 10 et 12 bits

Paramètre	Valeurs			
Signal codé	R', G', B' ou Y', C'_B, C'_R , ou I, C_T, C_P			
Format de codage	$n = 10$ ou 12 bits par composante			
Quantification de R', G', B', Y', I (les valeurs obtenues dépassant l'intervalle des données vidéos doivent être écrêtées et ramenées dans cet intervalle)	Intervalle étroit		Intervalle complet	
	$D = \text{Round} [(219 \times E' + 16) \times 2^{n-8}]$		$D = \text{Round} [(2^n - 1) \times E']$	
Quantification de C'_B, C'_R, C_T, C_P (les valeurs obtenues dépassant l'intervalle des données vidéos doivent être écrêtées et ramenées dans cet intervalle)	$D = \text{Round} [(224 \times E' + 128) \times 2^{n-8}]$		$D = \text{Round} [(2^n - 1) \times E' + 2^{n-1}]$	
Niveaux de quantification	Codage à 10 bits	Codage à 12 bits	Codage à 10 bits	Codage à 12 bits
Niveau du noir ($R' = G' = B' = Y' = I = 0$) DR', DG', DB', DY', DI	64	256	0	0
Crête nominale ($R' = G' = B' = Y' = I = 1$) DR', DG', DB', DY', DI	940	3 760	1 023	4 095
Achromatique ($C'_B = C'_R = 0$) DC'_B, DC'_R, DC_T, DC_P	512	2 048	512	2 048
Crête nominale ($C'_B = C'_R = +0,5$) DC'_B, DC'_R, DC_T, DC_P	960	3 840	1 023	4 095
Crête nominale ($C'_B = C'_R = -0,5$) DC'_B, DC'_R, DC_T, DC_P	64	256	1	1
Intervalle des données vidéo ^{9a, 9b}	4 à 1 019	16 à 4 079	0 à 1 023	0 à 4 095

Où:

$$\text{Round}(x) = \text{Sign}(x) \times \text{Floor}(|x| + 0,5)$$

$\text{Floor}(x)$ est le plus grand entier inférieur ou égal à x

$$\text{Sign}(x) = \begin{cases} 1 & ; x > 0 \\ 0 & ; x = 0 \\ -1 & ; x < 0 \end{cases}$$

Note 9a – Les signaux à intervalle étroit peuvent s'étendre au-dessous du noir (sous-noirs) et dépasser les valeurs de crête nominales (super-blancs), mais ne doivent pas sortir de l'intervalle des données vidéo.

Note 9b – Certaines interfaces d'images numériques réservent des valeurs numériques, par exemple, pour des informations temporelles, rendant ainsi l'intervalle vidéo utilisable de ces interfaces plus étroit que l'intervalle complet du signal. La correspondance entre des images définies sur l'intervalle complet et leurs équivalents pour ces interfaces dépend de l'application considérée.

Le Tableau 10 introduit une représentation du signal à virgule flottante sur 16 bits pour les applications de l'échange international de programmes à grande plage dynamique.

Les valeurs R , G et B qui sont directement proportionnelles à la lumière de la scène (basées sur une scène), ou qui représentent la lumière de l'écran en termes absolus sur l'écran référence (basées sur l'écran), peuvent être représentées par des valeurs à virgule flottante, comme indiqué dans le tableau ci-dessous. Il est à noter que cette représentation est indépendante de la plage dynamique type (SDR) et de la grande plage dynamique (HDR), mais que les signaux HDR peuvent utiliser une plus grande partie de la plage dynamique disponible dans la représentation à virgule flottante.

Actuellement, il n'existe pas d'interface temps réel pour ce format. On prévoit que ce format sera d'abord utilisé dans les flux de travail et les échanges de programmes fondés sur des fichiers.

TABLEAU 10

Représentation du signal en virgule flottante (FP, *Floating Point*)

Paramètre	Valeurs
Représentation du signal	R, G, B linéaire
Codage du signal	Format d'échange binaire à virgule flottante sur 16 bits conformément à la norme IEEE 754-2019.
Normalisation	$R = G = B = 1,0$ correspond au blanc de référence HDR. ^{10a, 10b}

Note 10a – Le blanc de référence HDR est le niveau nominal du signal obtenu avec une caméra HDR et une carte blanche à réflectance de 100%, dont le résultat est une valeur nominale de luminance de 203 cd/m² sur un écran PQ ou sur un écran HLG ayant une capacité nominale de luminance de crête de 1 000 cd/m².

Note 10b – Afin d'obtenir une meilleure précision à proximité du noir, certaines productions peuvent utiliser une normalisation où $R = G = B = 1,0$ correspond au blanc avec une luminance de 1,0 cd/m² sur l'écran de référence.

Annexe 1 (informative)

Relations entre les fonctions OETF, EOTF et OOTF

Dans la présente Recommandation, on emploie largement les termes suivants:

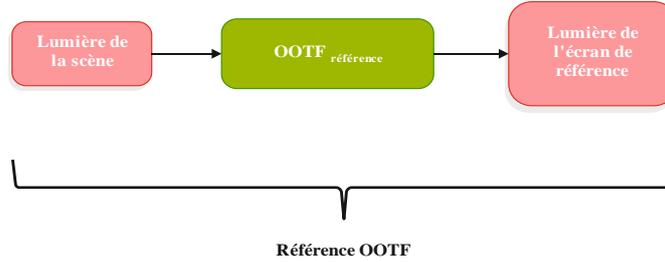
OETF: fonction de transfert opto-électronique qui convertit une lumière de scène linéaire en signal vidéo, habituellement dans une caméra.

EOTF: fonction de transfert électro-optique qui convertit le signal vidéo en lumière linéaire en sortie de l'écran.

OOTF: fonction de transfert opto-optique dont le rôle est d'appliquer l'«intention de rendu».

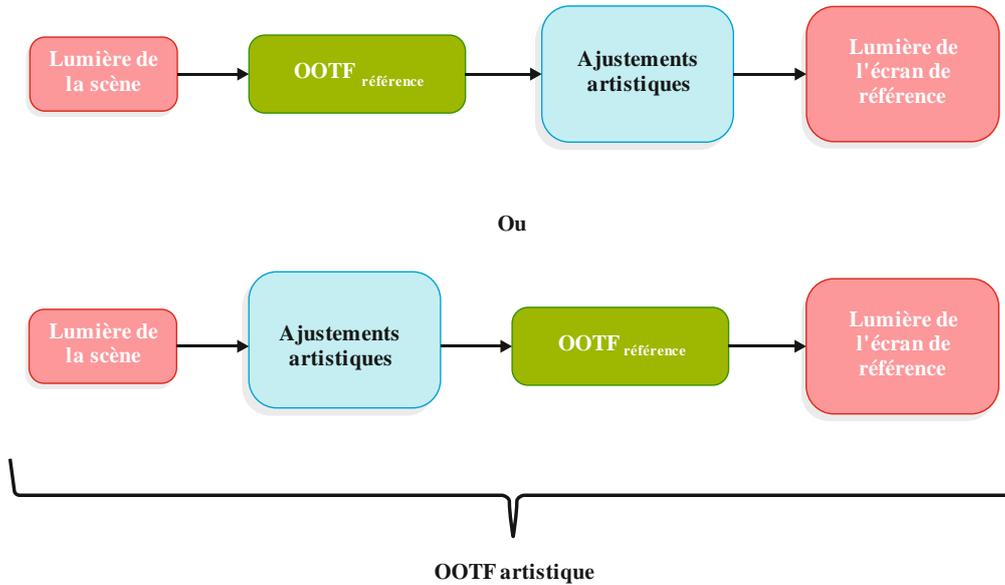
Ces fonctions étant liées, seules deux d'entre elles sont indépendantes. Si deux d'entre elles, quelles qu'elles soient, sont connues, la troisième peut être calculée. La présente section explique comment elles se présentent dans les systèmes de télévision et comment elles sont liées.

Dans les systèmes de télévision, la lumière affichée n'est pas linéairement liée à la lumière captée par la caméra. Une non-linéarité globale s'applique: la fonction OOTF. La fonction OOTF «de référence» compense la différence de perception tonale entre l'environnement de la caméra et celui de l'écran. La spécification et l'utilisation d'une fonction «OOTF de référence» permet la reproduction cohérente de l'image de bout en bout, élément qui est important en production télévisuelle.



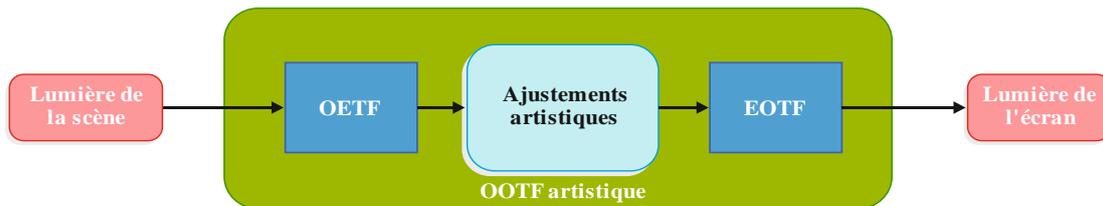
BT.2100-Ann1-01

Un ajustement artistique peut être effectué pour améliorer l'image. La fonction est alors modifiée et peut être appelée «OOTF artistique». L'ajustement artistique peut être effectué avant ou après la fonction OOTF de référence.



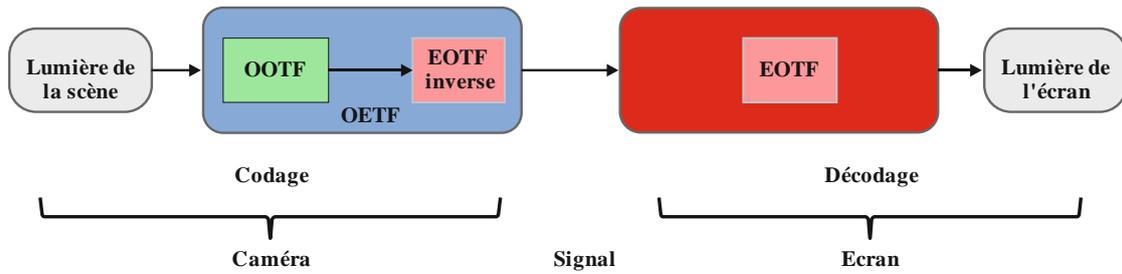
BT.2100-Ann1-02

En règle générale, la fonction OOTF est la concaténation de la fonction OETF, des ajustements artistiques et de la fonction EOTF.



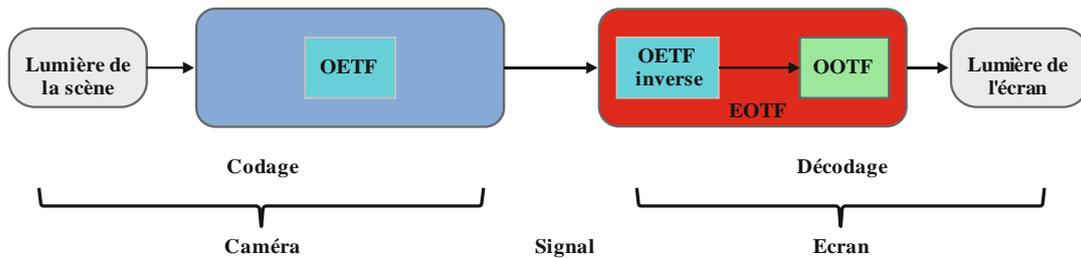
BT.2100-Ann1-03

Le système PQ a été conçu à partir du modèle ci-dessous, dans lequel la fonction OOTF est par hypothèse située dans la caméra (ou imposée dans le processus de production).



BT.2100-Ann1-04

Le système HLG a été conçu à partir du modèle ci-dessous, dans lequel la fonction OOTF est par hypothèse située dans l'écran.



BT.2100-Ann1-05

Seules deux des trois non-linéarités, OETF, EOTF et OOTF, sont indépendantes. En notation fonctionnelle (les indices désignant la composante de couleur):

$$\begin{aligned} \text{OOTF}_R(R, G, B) &= \text{EOTF}_R(\text{OETF}_R(R, G, B)) \\ \text{OOTF}_G(R, G, B) &= \text{EOTF}_G(\text{OETF}_G(R, G, B)) \\ \text{OOTF}_B(R, G, B) &= \text{EOTF}_B(\text{OETF}_B(R, G, B)) \end{aligned}$$

Les choses sont plus claires si la concaténation est représentée par le symbole \otimes . Les trois relations entre les non-linéarités s'écrivent alors:

$$\begin{aligned} \text{OOTF} &= \text{OETF} \otimes \text{EOTF} \\ \text{EOTF} &= \text{OETF}^{-1} \otimes \text{OOTF} \\ \text{OETF} &= \text{OOTF} \otimes \text{EOTF}^{-1} \\ \text{OOTF}^{-1} &= \text{EOTF}^{-1} \otimes \text{OETF}^{-1} \\ \text{EOTF}^{-1} &= \text{OOTF}^{-1} \otimes \text{OETF} \\ \text{OETF}^{-1} &= \text{EOTF} \otimes \text{OOTF}^{-1} \end{aligned}$$

La méthode PQ est définie par sa fonction EOTF. Dans le cas de la méthode PQ, la fonction OETF peut être calculée à partir de la fonction OOTF au moyen de la troisième équation ci-dessus. De manière complémentaire, la méthode HLG est définie par son OETF. Dans le cas de la méthode HLG, la fonction EOTF peut être calculée à partir de la fonction OOTF au moyen de la deuxième équation ci-dessus.

Annexe 2 (informative)

Représentation paramétrique des fonctions de transfert électro-optiques et opto-électroniques

La présente Annexe, accompagnée des jeux de paramètres appropriés, a pour objet de faciliter la mise en œuvre des fonctions de transfert opto-électroniques de référence (OETF) et des fonctions de transfert électro-optiques de référence (EOTF) dont il est question dans la présente Recommandation.

Une fonction EOTF peut être représentée par l'équation (1):

$$L(V) = \left(\frac{c - (V - m)st}{V - m - s} \right)^{1/n} \quad (1)$$

où:

V : valeur de couleur non linéaire

L : valeur de couleur linéaire correspondante.

Le jeu de paramètres $\{s, t, c, n, m\}$ peut être fixé en fonction de l'application souhaitée.

Une fonction OETF peut être représentée par l'équation (2):

$$V(L) = \frac{sL^n + c}{L^n + st} + m \quad (2)$$

Il convient de noter que si les paramètres s, t, c, n et m sont fixés à des valeurs identiques dans les équations (1) et (2), alors $L(V)$ et $V(L)$ sont l'inverse mathématique l'un de l'autre.

Dans certaines applications, il peut être utile de normaliser V dans les équations (1) et (2) en appliquant l'équation (3):

$$\hat{V} = \frac{V - p}{k} + m \quad (3)$$

où:

V : valeur de couleur non linéaire

\hat{V} : valeur de couleur non linéaire normalisée qui remplace V dans les équations (1) et (2).

Les paramètres k et p peuvent être fixés en fonction de l'application.

Dans certaines applications, il peut être utile de normaliser L dans les équations (1) et (2) en appliquant l'équation (4):

$$\hat{L} = \frac{L - b}{a} \quad (4)$$

où:

L : valeur de couleur linéaire

\hat{L} : valeur de couleur linéaire normalisée qui remplace L dans les équations (1) et (2).

Les paramètres a et b peuvent être fixés en fonction de l'application.

À l'aide de ces équations, il est possible de créer une mise en œuvre réelle en précisant des valeurs pour chaque paramètre. Par exemple, afin de reproduire un signal linéaire normalisé, les paramètres de l'équation (3) seraient: $p = m = 0$ et $k = 1$. Ceux de l'équation (4) seraient alors: $a = 1$ y $b = 0$. Une paire d'échantillons des fonctions OETF et EOTF avec une valeur gamma système de 1,0, comme de point de départ, peut être mise en œuvre au moyen des équations (1) et (2) en utilisant les paramètres suivants: $s = 1$, $t = m = 0,2701$, $c = 0,0729$ et $n = 0,4623$.
