

Qu'est-ce que la correction *gamma* ?

Christine Potier et Christine Vercken

Dpt Inf, Ecole nationale supérieure des télécommunications, 46 rue Barrault, Paris

En photographie, vidéo et informatique graphique le facteur *gamma* modélise la non linéarité de la reproduction de l'intensité lumineuse. Ce facteur *gamma* s'explique par divers phénomènes relevant non seulement de la physique mais aussi de la perception visuelle humaine.

Pour obtenir des résultats visuellement satisfaisants au moment de la création, du traitement et de l'affichage d'images numériques, il est nécessaire de bien comprendre ce facteur *gamma*. Cet article développe le phénomène pour les tubes cathodiques mais il faut être conscient que des phénomènes semblables existent, par exemple, en photographie, acquisition vidéo, impression.

La correction *gamma*

Un tube cathodique est naturellement non linéaire : l'intensité lumineuse reproduite à l'écran est une fonction non linéaire de la tension d'entrée. Du point de vue de la physique, la **correction *gamma*** peut être considérée comme un procédé permettant de compenser ce phénomène pour obtenir une reproduction fidèle de l'intensité lumineuse.

Les tubes cathodiques habituels produisent à la surface de l'écran une intensité lumineuse en fonction de la différence de potentiel appliquée aux bornes des électrodes des canons à électrons. Cette intensité est approximativement :

$$I \approx V^{\text{gamma}}$$

Suivant les tubes, *gamma* peut varier de 2,3 à 2,6. Mais généralement *gamma* est proche de 2,5 et les variations sont dues à un mauvais réglage de la luminosité et du contraste qui devraient être ajustés de la façon suivante :

- Afficher une image avec beaucoup de noir et régler la *luminosité* pour reproduire un vrai noir à l'écran.
- Ajuster ensuite le contraste pour que l'intensité soit "confortable".

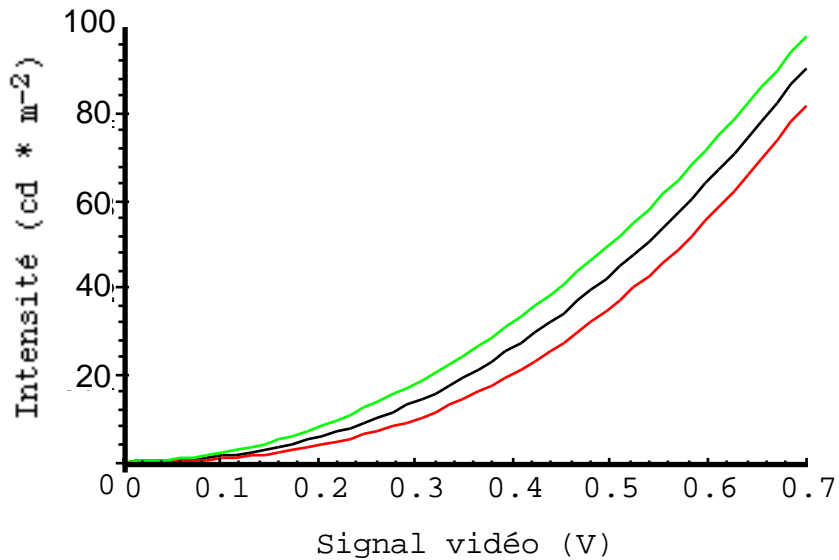


Figure 1 : Ces courbes représentent l'intensité affichée en fonction de la tension (en Volts) appliquée au tube cathodique . Elles ont été obtenues avec 3 réglages de contraste sur le même moniteur.

Les systèmes d'informatique graphique effectuent, sur les valeurs numériques des couleurs, une "correction gamma", élévation à une puissance g , proche de l'inverse de $gamma$, qui compense la non linéarité du tube et permet une restitution correcte de la luminosité et du contraste quand l'éclairage ambiant est faible (ex : cinémas)

La perception

Certaines sensations sont perçues non linéairement et sont modélisées par une élévation à la puissance, par exemple :

Perception	Quantité physique	Exposant
Son	Niveau de pression sonore	0,67
Salinité	Concentration en chlorure de sodium	1,4
Odorant	Concentration des molécules aromatiques	0,6
Poids	Masse	1,45
Luminosité	Luminance	0,333

Une étonnante coïncidence : la réponse perceptuelle à la luminance (la luminosité) est environ l'inverse de la réponse du tube cathodique !

Les systèmes vidéo font une approximation de cette réponse par une élévation à la puissance 0,45 qui est proche de la puissance 0,333.

Le voltage, transmis aux canons à électrons, correspond à l'information de luminosité. Celle-ci est transformée en information de luminance par la fonction de transfert du tube cathodique.

La plupart du temps la luminance et, plus généralement, les trois composantes de couleur sont codées avec 8 bits, c'est à dire un octet qui prend donc une valeur de 0 à 255.

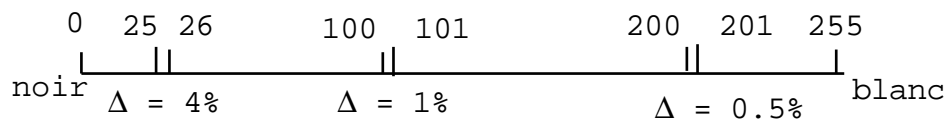


Figure 2 : Codage de la luminance

La vision humaine distingue deux luminances si leur rapport est supérieur à 1,01. Le codage linéaire de la luminance sur un octet est correct aux alentours de la valeur 100 mais au dessous de 100 on observe des sauts (par exemple en passant de 25 à 26) et aux environs de 200, 2 codes adjacents ne peuvent pas être distingués par l'oeil.

Pour un codage linéaire correct, il faut 12 à 14 bits par composante (9000 niveaux). Cependant si l'intensité n'est pas codée linéairement, un octet par composante est suffisant (TVHD : télévision haute définition).

L'influence de la luminosité ambiante

La vision humaine s'adapte à des conditions de vue extrêmement variées. Par exemple, notre sensibilité à des petites variations lumineuses augmente quand la zone d'intérêt est entourée d'éléments lumineux. Le système visuel compense l'effet de la luminosité ambiante en dilatant sa gamme de contraste pour augmenter la vision des éléments sombres sur fond clair, et inversement. Ces effets sont montrés sur la figure 3.

L'influence de la luminosité ambiante a des implications pour la visualisation d'images dans une pièce sombre comme la projection de film au cinéma, la projection de diapositives ou la télévision dans le salon. Si une image est vue dans la pénombre et que l'intensité de la scène est reproduite avec une intensité physique correcte, l'image semblera manquer de contraste.

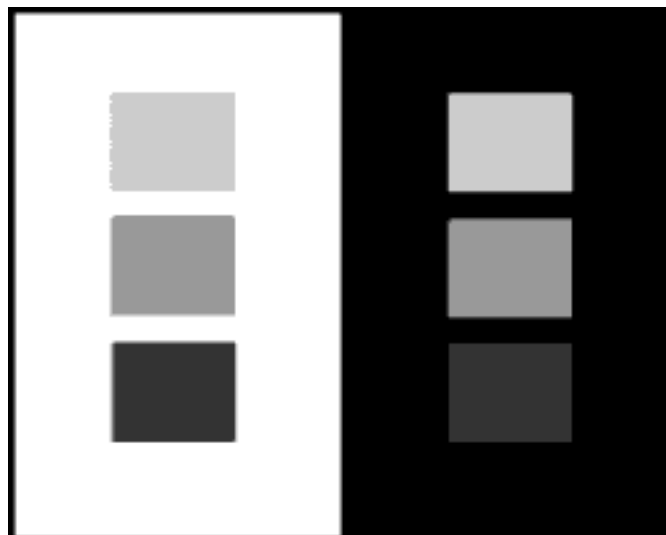


Fig 3: Les 3 carrés gris entourés de blanc sont identiques aux 3 carrés entourés de noir mais les carrés entourés de noir apparaissent moins contrastés que les carrés entourés de blanc.

La production de films, cinéma ou télévision, est conçue de façon à compenser ces problèmes de luminosité ambiante. Les diapositives sont faites pour être vues dans le noir. Ces films ont une "correction gamma" nettement supérieure à 1 (élévation à une puissance g d'environ $1/1,5$) de façon à ce que les contrastes de la scène augmentent à la projection.

En conclusion, le codage d'une image pour la reproduction de photos et films n'est pas seulement concernée par les mathématiques, la physique, la chimie et l'électronique ; des considérations de perception jouent un rôle essentiel dans les bons systèmes de visualisation.

Le facteur gamma en vidéo

Dans les systèmes de vidéo, une "correction gamma" est faite sur la caméra à la fois pour coder dans un espace perceptuellement uniforme et pour précompenser la non linéarité des tubes cathodiques. Appliquer la correction gamma à la caméra est plus économique que de l'appliquer à chaque téléviseur.

Le codage dans un domaine perceptuel était, aussi, important dans les premiers systèmes télévisuels afin d'éliminer les parasites dûs à la transmission par satellite. Les mêmes considérations de parasitage s'appliquent à l'enregistrement sur bande analogique ainsi qu'à l'erreur due à la quantification qui est introduite à l'entrée d'un système numérique quand le signal représentant l'intensité est quantifié sur un nombre fini de bits. Pour ces différentes raisons, on transmet donc des signaux vidéo qui sont corrigés par un facteur de "correction gamma".

Il est important, pour des raisons de perception, d'augmenter les contrastes d'une image destinée à être regardée dans un environnement sombre. En vidéo, cet "étirement" est fait par la caméra en sous-compensant légèrement la fonction de puissance du tube cathodique pour obtenir une fonction de puissance de bout en bout ayant un exposant de 1,1 ou 1,2. Ceci donne des images qui sont subjectivement plus plaisantes à regarder que si elles étaient produites avec un système linéaire mathématiquement correct.

Les instances internationales de normalisation recommandent de prendre, pour cette correction, une fonction puissance d'exposant 0,45. Le produit de l'exposant $g = 0,45$ de "correction gamma" de la caméra et de l'exposant $gamma = 2,5$ de l'écran donne un exposant de 1,125 pour l'ensemble.

$$0,45 \times 2,5 = 1,125$$

Un exposant de 0,45 est un bon compromis à la fois pour les tubes cathodiques et pour la perception visuelle. Quelques normes vidéo sont spécifiées avec un exposant de $1/2,2$.

$$0,45 \approx 1 / 2,2222 \quad 1 / 2,2 \approx 0,4545$$

Les nouveaux écrans comme les écrans à cristaux liquides (LCD) ont une nonlinéarité différente de celle des tubes cathodiques. Mais il reste important d'utiliser un codage d'image qui soit bien adapté à la vision. De plus les normes d'échange d'images qui utilisent la valeur 0,45 sont très répandues. On suppose que les nouveaux écrans incorporent une "correction gamma" locale pour s'adapter à leur propre fonction de transfert et à la fonction de transfert qui a été normalisée pour l'échange d'images.

Gamma en informatique graphique

Les logiciels de représentation graphique effectuent généralement des calculs pour la visualisation de scènes : l'ombrage, la perspective et l'antialiasing* en utilisant des valeurs d'intensité qui modélisent la lumière physique (trois composantes comprises entre 0 et 1). Ces valeurs, une fois quantifiées, sont stockées dans la mémoire d'image puis corrigées au vol par les tables de "correction gamma" avant d'être transmises aux canons à électrons. La fonction de transfert du tube agit sur les voltages du signal corrigé pour reproduire des valeurs d'intensité correctes à l'écran.

$$\text{intensité corrigée} = \text{intensité}^g = \text{intensité}^{(1 / \text{gamma})}$$

Les logiciels supposent des valeurs de *gamma* par défaut.

En l'absence de données précisant la valeur du *gamma* du moniteur ou pour l'échange d'images, la valeur recommandée pour le facteur *g* de "correction gamma" est de 1/2,222 (0,45).

Si des signaux vidéo avec une "correction gamma" sont chargés dans la mémoire d'image, alors un facteur de "correction gamma" de 1 est mieux adapté.

La plupart des systèmes (ex : PC ou Sun) effectuent une "correction gamma" de 0,45 compensant un *gamma* de 2,22. Le Macintosh effectue d'abord une "correction gamma" de 1/1,8 qui compense la non linéarité des imprimantes laser puis une correction finale de 1/1,4 avant de transmettre l'intensité aux canons à électrons.



(a)

(b)

La même photo, optimisée pour le Macintosh, affichée (a) sur un Macintosh et (b) sur un PC

* correction d'effets dûs à la représentation sur une grille de pixels comme le crénelage obtenu pour une droite oblique

La correction gamma dans l'avenir

La tendance actuelle est de mettre en oeuvre, dans les systèmes graphiques, des modèles permettant la spécification des couleurs de façon indépendante du terminal. Les applications et les utilisateurs doivent pouvoir utiliser des couleurs basées sur les normes de la CIE (Commission Internationale de l'Eclairage) sans s'occuper de la "correction gamma".

Actuellement on peut :

- Obtenir une meilleure perception des images en réduisant la lumière ambiante si on utilise un écran à tube cathodique.
- S'assurer que l'écran reproduit bien les noirs.
- Utiliser des représentations RVB corrigées par un facteur g de "correction gamma" (on dit alors R'V'B') dès que possible. Une image codée avec une "correction gamma" sera de bien meilleure qualité qu'une image codée linéairement par des valeurs d'intensité sur 8 bits.
- Pour échanger des images sur le réseau Internet, coder les valeurs R'V'B' en utilisant un $gamma$ de 1/0,45 ou utiliser le format PNG (Portable Network Graphic) qui contient un champ pour la valeur de $gamma$.
- En l'absence d'information sur le moniteur, afficher les images en supposant que le $gamma$ du moniteur vaut 2,5. Si le moniteur est dans la pénombre, utiliser une valeur plus petite d'environ 2,2.

Bibliographie

"Frequently Asked Questions About Gamma" par Charles Poynton
disponible sur Internet aux adresses suivantes :

<ftp://ftp.inforamp.net/pub/users/poynton/doc/colour/> (Toronto, Canada)

<ftp://elaine.crcg.edu/pub/doc/colour/> (Rhode Island, USA)

<ftp://ftp.igd.fhg.de/pub/doc/colour/> (Darmstadt, Allemagne)

"A Technical Introduction to Digital Video" par Charles Poynton, John Wiley & Sons, 1996

Annexe : Quelques questions

- Citez d'autres phénomènes où la relation entre le signal d'entrée et le signal de sortie est non linéaire.
- Comment expliquez-vous la particularité du Mac?
- Avec quel éclairage ambiant regardez-vous l'écran de votre ordinateur et qu'en pensez-vous?
- Est-ce qu'une mauvaise correction gamma ou l'absence de correction gamma peut entraîner une modification des couleurs?