

Que se passe-t-il en Ultra HD avec la colorimétrie ?

Régie de production IP



Vidéo Ultra-Haute Définition



Formats de fichier /codage

Binaural

Audio codé objet

Vidéo 360°

Transmedia



Bases de connaissances

Sémantique

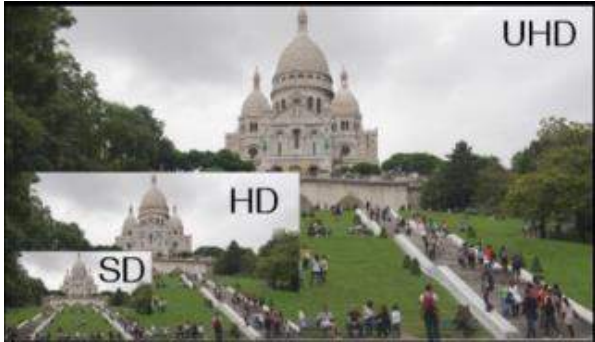
Accessibilité

Recommandation



Innovations&Développements est la direction en charge d'explorer et maîtriser les principales mutations technologiques dans le domaine des outils de fabrication des programmes audiovisuels

Problématiques



Définition
HD => UHD



Dynamique
SDR => HDR

L'Ultra HD améliore la qualité vidéo dans 4 axes : la définition, la dynamique, la colorimétrie et le nombre d'images par seconde



Colorimétrie
BT.709 => BT.2020



Nb d'images/seconde
25 => 100

Problématiques



Définition : plus de pixels



Dynamique : des contrastes plus détaillés



Colorimétrie : des dégradés de couleurs plus fins



Nb d'images/seconde : multiplier les images

Pour améliorer la définition et le nombre d'images par seconde, il suffit d'augmenter le nombre d'éléments capturés

Problématiques



Définition : plus de pixels



Dynamique : des contrastes plus détaillés



Colorimétrie : des dégradés de couleurs plus fins

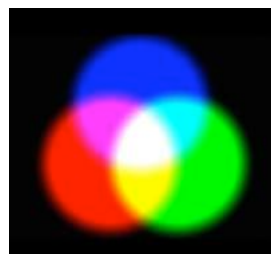


Nb d'images/seconde : multiplier les images

Concernant la dynamique et la colorimétrie, ces 2 améliorations sont liées par l'augmentation d'information portée par chaque pixel

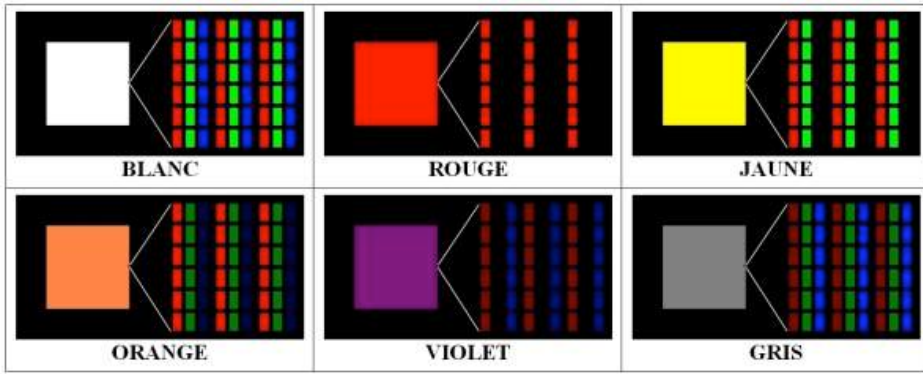
La quantification des pixels

La reproduction d'une image en couleur dépend des niveaux de luminosité des composantes Rouge, Vert et Bleu de chaque pixel



Principe de la synthèse additive tri-chromatique

Chaque pixel de l'image comporte une valeur de Rouge, Vert et Bleu. Leur association permet de reproduire les couleurs par synthèse additive.



Quelques exemples de combinaisons Rouge/Vert/Bleu

La quantification des pixels

2 solutions majoritaires pour capturer les primaires Rouge, Vert et Bleu d'une image

caméra tri-capteurs



caméra mono-capteur

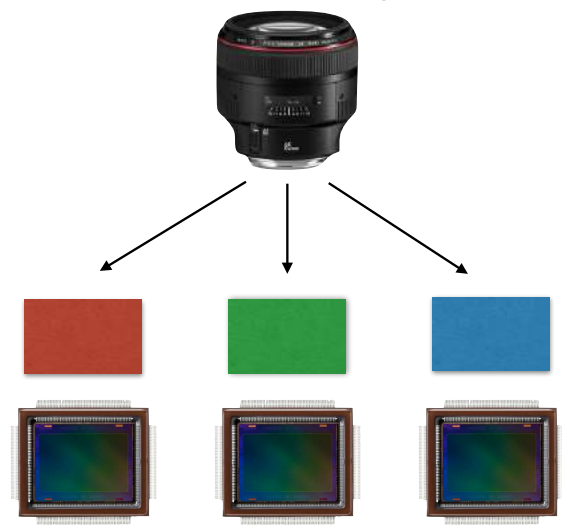


Pour créer l'information nécessaire à l'affichage de chaque pixel, 2 solutions de capture sont répandues : mono et tri-capteurs

La quantification des pixels

2 solutions majoritaires pour capturer les primaires Rouge, Vert et Bleu d'une image

caméra tri-capteurs



Filtrage colorimétrique en amont de chaque capteur

caméra mono-capteur



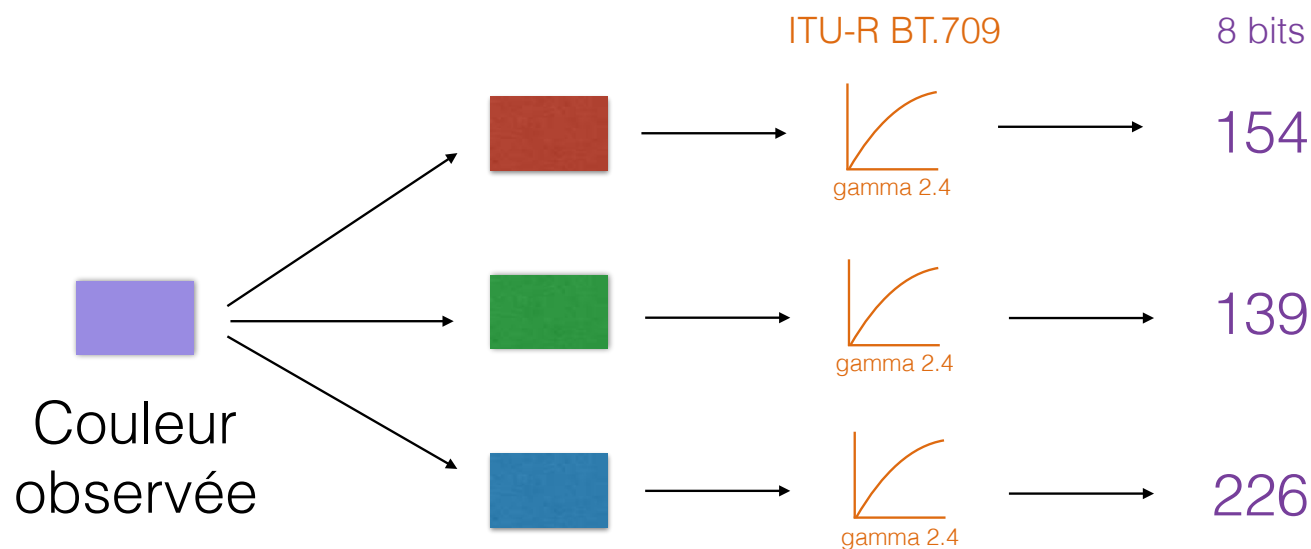
Filtrage de Bayer superposé au capteur

La solution tri-capteurs est plus coûteuse et historiquement performante en vidéo.

Les grands capteurs reprennent la philosophie de la pellicule au cinéma, une esthétique appréciée.

La quantification des pixels en HD

A l'issue de la capture, chaque pixel comprend les valeurs de ses composantes Rouge, Vert et Bleu



Couleur observée

Quantification numérique sur 8 bits (0 à 255)

En RVB vidéo :

16 = noir, 235 = primaire saturée à 100%

En RVB informatique (DATA) :

1 = noir, 254 = primaire saturée à 100%

Le standard ITU-R BT.709 définit les paramètres des signaux HD.

Une courbe de gamma vient pré-corriger les valeurs des primaires R, V et B, historiquement pour faciliter la reproduction des écrans à tubes cathodiques.

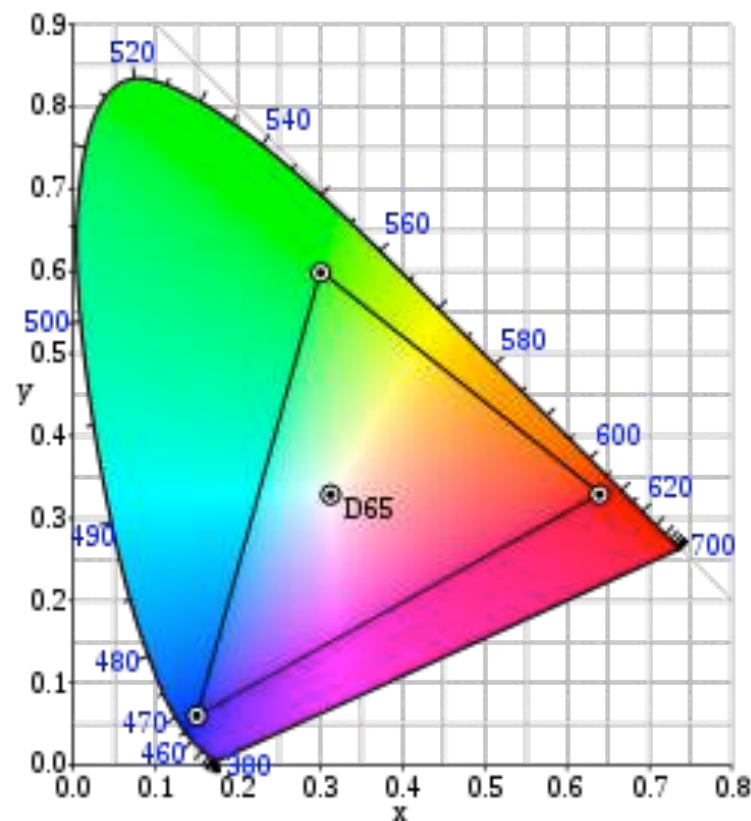
L'espace colorimétrique BT.709

Le diagramme de chromaticité (ou gamut) permet de visualiser l'ensemble des couleurs communément perçues par l'oeil humain, ainsi que l'emplacement des primaires vidéo R, V et B délimitant l'ensemble des teintes prises en compte dans l'espace de couleurs.

Le diagramme de chromaticité indique les valeurs (x, y) des teintes **qui peuvent être enregistrées** par un système répondant au standard.

En TV HD ce sont uniquement les teintes comprises dans le triangle noir. Les autres teintes sont assimilées à la teinte du triangle la plus proche.

ITU-R BT.709



La quantification des pixels en HD

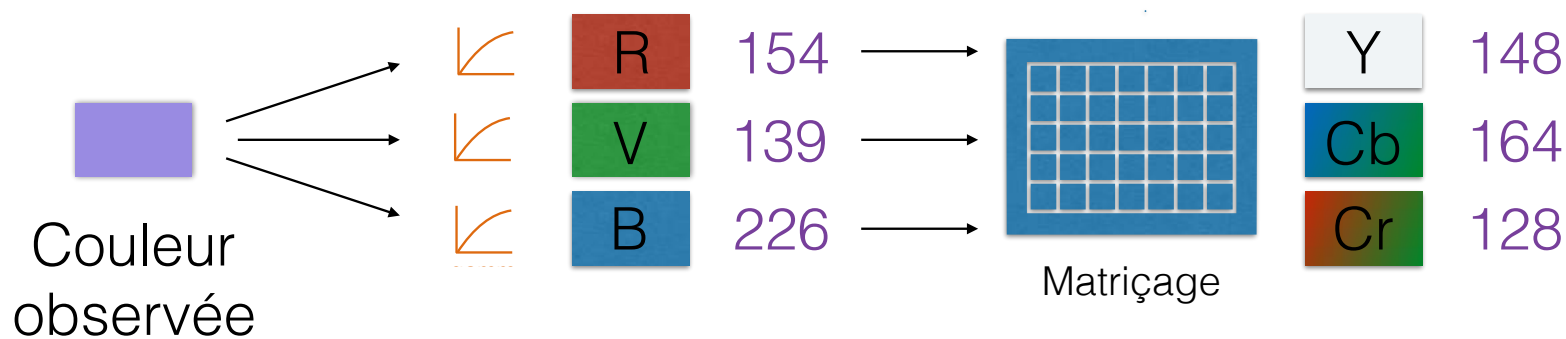
En vidéo, l'information est plutôt combinée sous la forme de composantes Y-Cb-Cr, optimisant le stockage et la transmission via la séparation des informations de luminance (Y) et de chrominance (Cb-Cr)

$$Y = 0,2126 R + 0,7152 V + 0,0722 B$$

$$Cb = -0,1687 R - 0,3313 V + 0,5 B$$

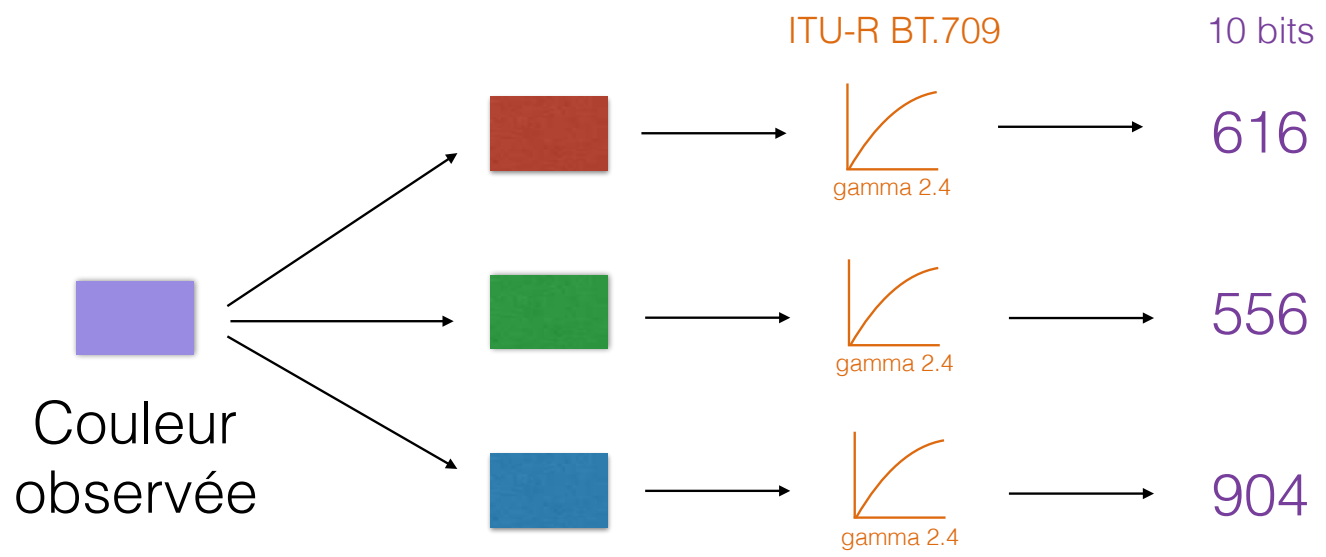
$$Cr = 0,5 R - 0,4187 V - 0,0813 B$$

L'ITU-R BT.709 indique les coefficients de la matrice RVB vers YCbCr, ils diffèrent de ceux utilisés en vidéo SD car ces nouveaux coefficients ajustent mieux la valeur du blanc de référence en vidéo : D65



La quantification des pixels en HD

En post-production haut de gamme, la quantification est réalisée sur 10 bits pour offrir plus de précision à l'étalonnage



Les niveaux vidéo encodés sur 8 bits n'offrent en réalité que 220 valeurs par couleur, soit 10 millions de couleurs possibles (16 millions en Data)

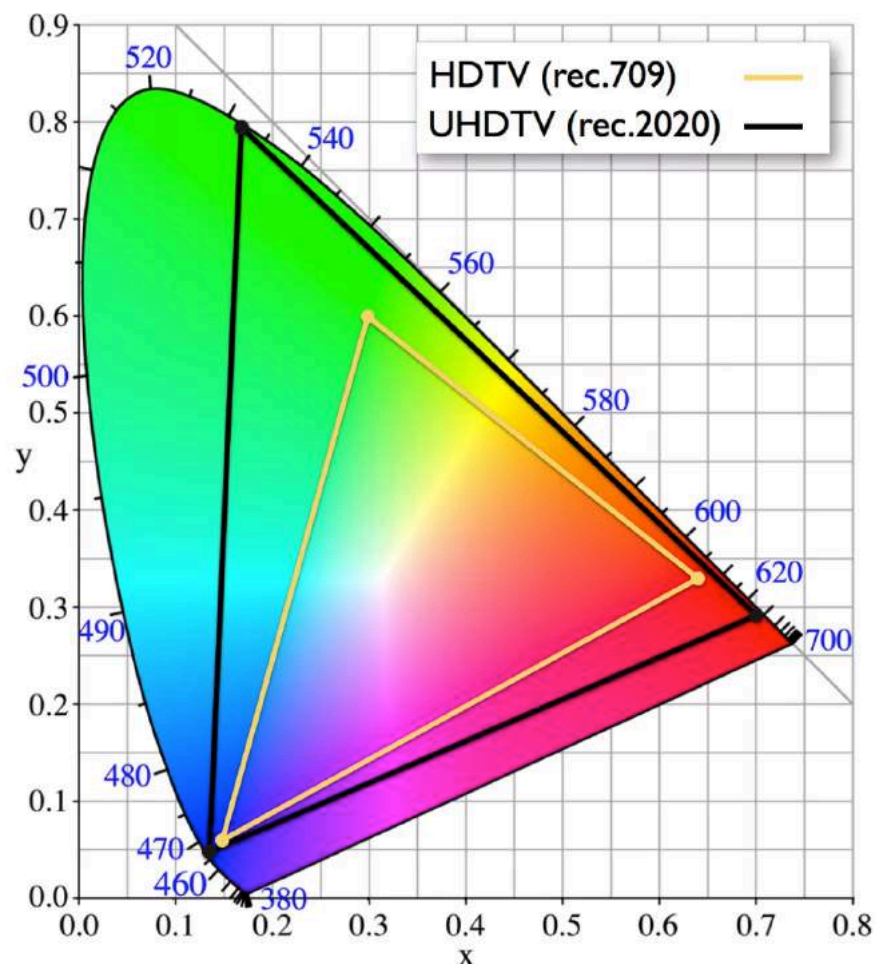
En 10 bits, ce sont en théorie 675 millions de couleurs possibles (1 milliard en Data)

Quantification numérique sur 10 bits (0 à 1024)

En RVB vidéo :
64 = noir, 940 = primaire saturée à 100%

En RVB informatique (DATA) :
4 = noir, 1019 = primaire saturée à 100%

L'espace colorimétrique BT.2020



UHD TV vs HDTV Color Gamuts

La généralisation de la quantification sur 10 bits a offert la possibilité de modifier les primaires et d'augmenter le nombre de teintes couvertes.

Ce nouveau standard ITU BT.2020 est celui de l'Ultra HD, également nommé Wide Color Gamut (WCG).

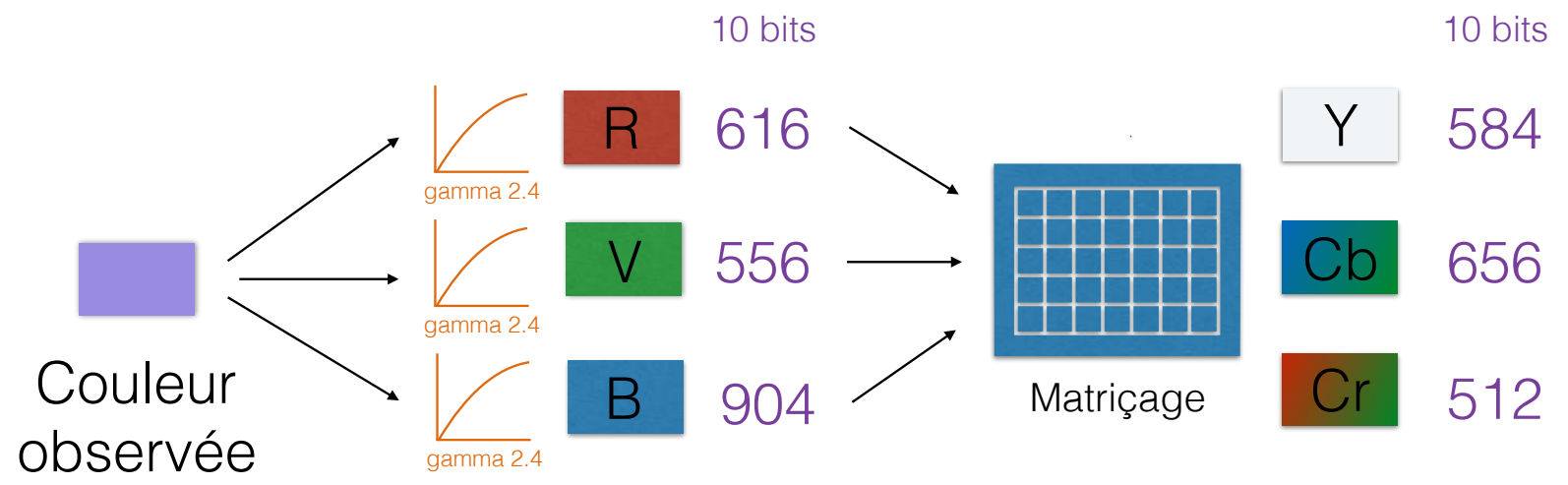
Il est impératif de stocker au moins 10 bits par pixel, la NHK a retenu 12 bits pour son format 8K, le 16 bits existe aussi.

Sans englober l'ensemble du spectre visible par l'œil humain, l'espace colorimétrique ITU BT.2020 en explore les limites.

A ce jour il s'agit surtout d'un standard pour stocker/traiter cet espace de couleurs étendu, mais on attend encore les écrans capables d'en afficher la totalité

La quantification des pixels en Ultra HD

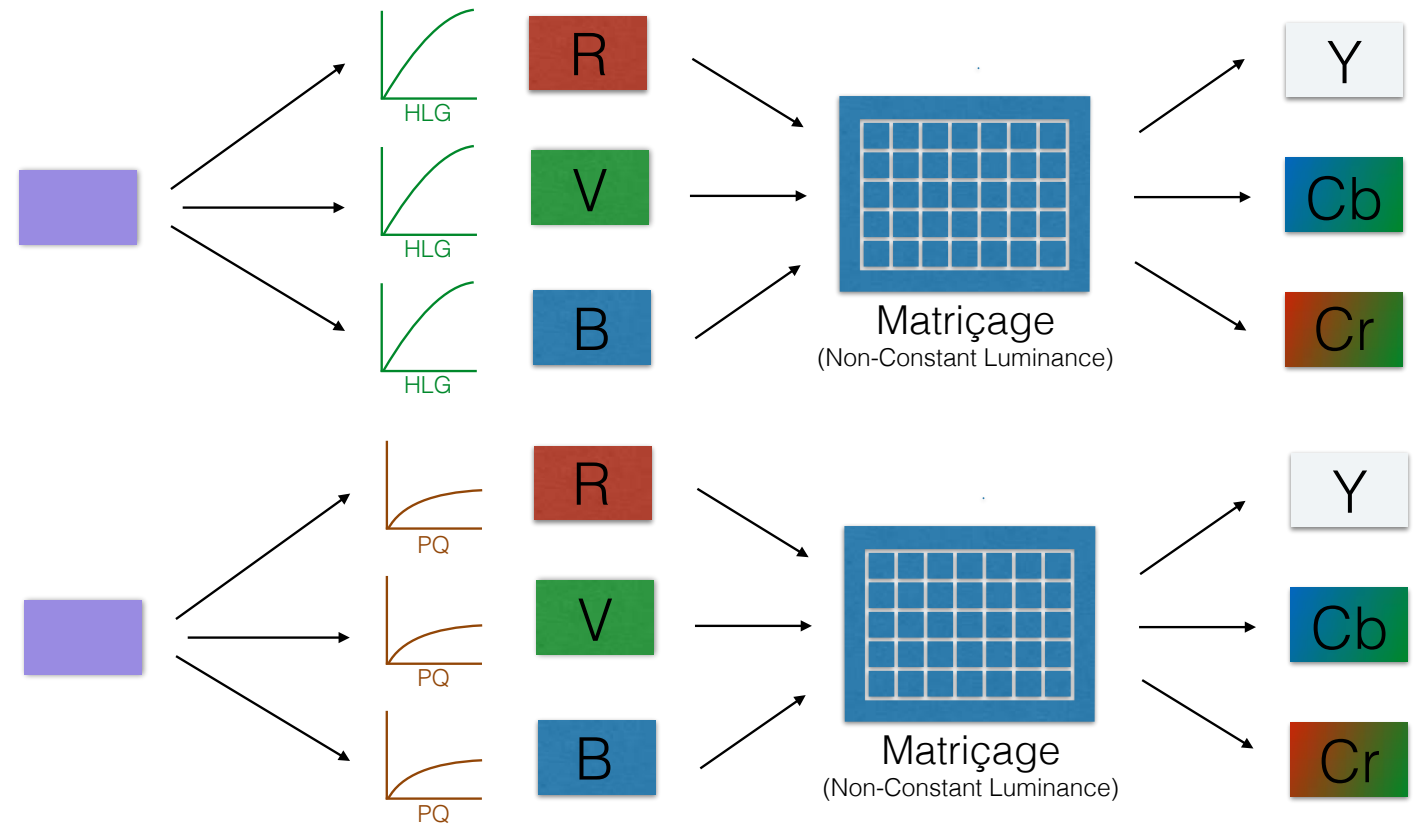
En vidéo Ultra HD, la dynamique standard des signaux de luminance implique l'utilisation de la même courbe de gamma 2.4 telle que définie pour la HD.



L'Ultra HD implique l'utilisation de l'espace colorimétrique ITU-R BT.2020. Mais les coefficients de matriçages restent les mêmes qu'en BT.709

La quantification des pixels en Ultra HD

Pour tirer meilleure partie de cette quantification accrue et acter la disparition des écrans à tube cathodique au profit **des écrans plats beaucoup plus lumineux**, les technologies de **High Dynamic Range** proposent d'autres solutions pour l'encodage des informations de luminance.



En HDR, la courbe de gamma 2.4 prévue pour compenser les défauts des tubes cathodiques disparaît.

A la place on utilise soit la courbe HLG, soit la courbe PQ

Les principales différences entre HLG et PQ sont les suivantes :

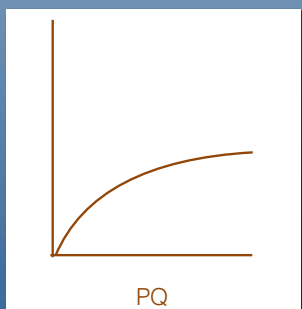
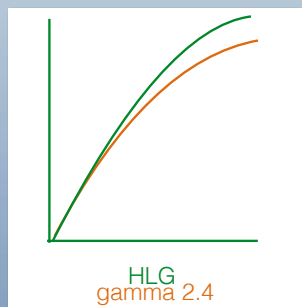
Hybrid Log Gamma (HLG) est une courbe pragmatique, en grande partie héritée du gamma 2.4 pour permettre une rétro-compatibilité.

A l'instar du gamma 2.4, c'est une échelle relative :

La scène filmée est sombre => toute la dynamique est utilisée pour détailler les basses lumières
La scène filmée est très claire => toute la dynamique est utilisée pour détailler les hautes lumières
La scène comporte des détails sombres et clairs => l'essentiel de la dynamique est consacré aux basses lumières (là où l'oeil est le plus sensible) et le reste aux hautes lumières

Perceptual Quantizer (PQ) est une courbe issue d'études sur la perception humaine des couleurs et de l'intensité lumineuse. C'est une échelle absolue.

La luminosité d'une source est toujours encodée à la même valeur, et l'échelle couvre toute la dynamique physiologique d'un oeil humain, de la vision nocturne à la vision en plein jour/plein soleil.
C'est ensuite à la télévision de s'adapter en fonction de ses possibilités de reproduction. Là encore, l'oeil humain étant plus sensible aux basses lumières, un plus grand nombre de valeurs est prévu.



L'oeil est composé de deux types de cellules sensibles, les cônes (sensibles à la couleur) et les bâtonnets (sensibles à la lumière).

Une même teinte (au sens photométrique) sera perçue différemment par un oeil humain en fonction de son intensité lumineuse, et différemment d'une personne à l'autre suivant le rapport cônes/bâtonnets de sa rétine.

Le HDR offre la possibilité d'importantes variations de luminance.

Mais ces variations augmentent les dérives sur la perception des couleurs



Teinte : 21°
Saturation : 100%
Luminosité : 96%



Teinte : 21°
Saturation : 100%
Luminosité : 65%

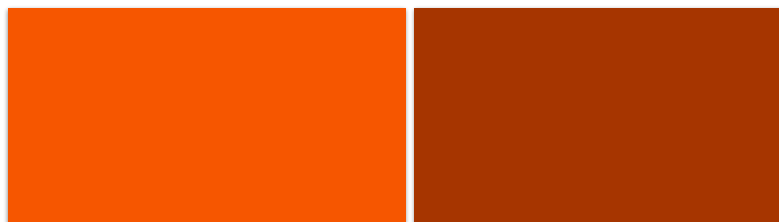
HDR et colorimétrie

En dynamique standard, la luminosité de l'écran de référence est de 100 Cd/m² (ou 100 Nits). Cette valeur représente l'intensité du flux lumineux maximum produit par des pixels blancs.

En haute dynamique, le HLG préconise un blanc maximum à au moins 1.000 Cd/m², le PQ enregistre même des valeurs jusqu'à 10.000 Cd/m². Cette augmentation importante de la luminosité multiplie le risque de percevoir des couleurs différentes.

Pour permettre à des systèmes Haute Dynamique une reproduction fidèle des teintes malgré les variations de luminosité des écrans de restitution, on ajuste les teintes via les fonctions **tone mapping** en production et **inverse tone mapping** des TV.

Teinte : 21°
Saturation : 100%
Luminosité : 96%



Teinte : 19°
Saturation : 100%
Luminosité : 65%

Exemple de déviation de la teinte pour maintenir une perception équivalente

En HDR, le tone mapping est indispensable et adapté dans chaque écran de restitution.

Il peut freiner les velléités artistiques en production, d'où les systèmes Dolby Vision ou Technicolor qui cherchent à garantir le respect de l'intention artistique de bout en bout en certifiant chaque écran

Réalisme des couleurs en Ultra HD

En offrant 70 fois plus de teintes qu'en HD, l'espace colorimétrique BT.2020 permet une grande fidélité dans la reproduction des dégradés de couleurs, notamment à l'origine d'une sensation de relief réaliste.

En TV HD, l'image est très souvent « peinte » pour apparaître esthétiquement plus contrastée et plus saturée qu'en réalité. Mais ce type d'artifice se voit beaucoup lorsque cette image HD s'affiche sur un écran Ultra HD, en raison de l'**inverse tone mapping** calibré pour des couleurs naturelles.

L'Ultra HD offrira ses meilleures performances lorsque sa production sera indépendante de l'image HD.



Image naturelle



Image étalonnée pour la HD



Image HD reproduite en UHD

Pourquoi les TV HDR ne semblent pas au point ?

Hollywood a fourni la majorité des contenus pour la mise au point de l'inverse tone mapping des TV Ultra HD HDR.

Au cinéma, les contrastes et saturations élevés ne sont pas recherchés, car on projette dans le noir là où l'oeil est très sensible.

Les industriels ont besoin de multiplier les tests sur des contenus TV (sport, spectacle, documentaire) pour ajuster leur rendu.

HDR et rétro-compatibilité SDR

En raison des différences technologiques (LED, OLED) entraînant déjà des performances variées en HDR, la rétro-compatibilité vers les écrans SDR inquiète aussi beaucoup...

Règle d'or
n°1

Toute TV Ultra HD doit traiter l'espace colorimétrique BT.2020 par défaut ! Et ce n'est pas toujours le cas sur les premiers modèles sortis en 2013 et 2014.

Règle d'or
n°2

Toute TV Ultra HD, sauf capacité d'interprétation des métadonnées HDR, doit considérer un gamma = 2.4

Les courbes HLG et gamma 2.4 restant proches, le HLG est estimé rétro-compatible par défaut (et a été conçu pour ça).

La rétro-compatibilité des contenus PQ sur les TV Ultra HD de 1ère génération nécessite impérativement l'usage d'une technologie qui pourra leur « présenter » une image SDR.

Les solutions Dolby Vision et Advanced HDR by Technicolor proposent un flux rétro-compatible SDR accompagné de métadonnées permettant la reconstruction du flux HDR d'origine (PQ)

À suivre...