

Calibrage colorimétrique des écrans à LED

Mots clés

Colorimétrie,
Affichage polychromatique,
Ecran à LED,
Décalage spectral

■ John SADI
Lightnics Sarl

1. Introduction

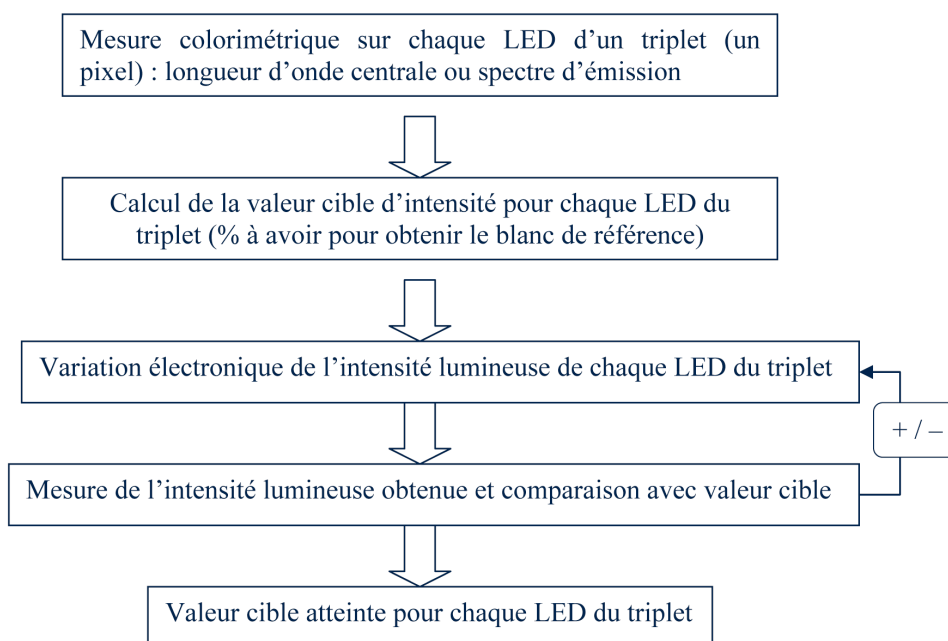
Dans le cadre du développement d'un colorimètre adapté au calibrage des grands écrans à LED (diodes électroluminescentes), Lightnics a mené une étude théorique permettant d'ajuster correctement les composantes rouge (R), verte (V) et bleue (B) de ces écrans. On observe souvent, en effet, une dérive colorimétrique due aux caractéristiques particulières des LED. Cette dérive est particulièrement visible lors de la reconstitution d'un blanc de référence. Dans cette étude, nous nous proposons donc d'évaluer l'influence sur la colorimétrie de fac-

teurs tels que la température extérieure que subit l'écran ou la largeur des pics spectraux émis par ces sources.

2. Calibrage automatique des écrans à LED

a) Principe

L'écran géant à LED est calibré automatiquement par le colorimètre selon la boucle de rétroaction suivante opérant en logique floue :



L'ESSENTIEL

Afin d'effectuer le calibrage colorimétrique d'écrans à LED dans les circonstances les plus appropriées, il est important d'identifier la source majeure de décalage colorimétrique des LED. Ceux-ci sont essentiellement causés par deux phénomènes : d'une part, la variabilité du processus de fabrication industrielle des LED influe sur la largeur spectrale de celles-ci ; d'autre part, les variations thermiques liées au climat ont une incidence sur le décalage spectral des LED. La modélisation présentée ici met en évidence l'influence prépondérante des variations thermiques sur la dérive colorimétrique des LED. Il apparaît donc essentiel de réaliser des calibrages réguliers, suivant les changements climatiques, sur les écrans à LED disposés en plein air.

SYNOPSIS

In order to perform colorimetric calibration of LED displays under the most requiring situations, it is of interest to identify the major cause of color drifting in LED. The latter is essentially linked to two parameters: on the one hand, the variations in the manufacturing process of LED lead to spectral width changes; on the other hand, thermal variations related to climatic conditions affect the spectral shifting of LED. The modelling exposed here stresses the major influence of thermal variations as far as color drifting of LED is concerned. It thus appears essential to perform repeated calibration measurements, depending on climatic changes, on outdoor LED displays.

Afin de cerner les difficultés qui pourraient survenir dans le cas particulier des LED pour l'obtention d'un blanc de référence, nous avons analysé le cas plus simple des lasers.

b) Principe des calculs colorimétriques

Le blanc de référence D65 est choisi en raison du standard qu'il représente dans le domaine des écrans de télévision (standards EBU et SMPTE) [2]. Il a pour coordonnées chromatiques : $x_{D65} = 0,313$ et $y_{D65} = 0,329$ dans la norme CIE 1931.

Les fonctions de tristimulus définies par le standard CIE 1931 [1] permettent de calculer les coordonnées chromatiques équivalentes à toute distribution spectrale.

La relation de passage entre l'espace RVB, utilisé pour représenter les couleurs de l'écran, et l'espace XYZ utilisé dans la norme CIE 1931 est :

$$\begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x_R & x_V & x_B \\ y_R & y_V & y_B \\ z_R & z_V & z_B \end{pmatrix} \begin{pmatrix} R \\ V \\ B \end{pmatrix}$$

Dans la matrice de passage, les coordonnées (x_R, y_R, z_R) définissent la source primaire utilisée pour le rouge. Les autres coordonnées de cette matrice représentent les couleurs primaires associées aux spectres des sources verte et bleue.

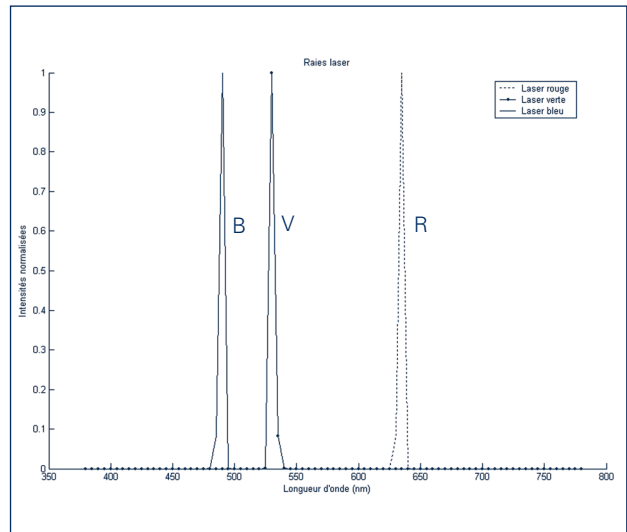
Dans la norme NTSC, la matrice utilisée est par exemple :

$$\begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0,412453 & 0,357580 & 0,180423 \\ 0,212671 & 0,715160 & 0,072169 \\ 0,019334 & 0,119193 & 0,950227 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} R \\ V \\ B \end{pmatrix}$$

Connaissant les spectres d'émission des sources primaires, nous calculons leurs coordonnées chromatiques grâce aux fonctions de tristimulus. Le blanc cible D65 à atteindre nous fournit d'autre part les coordonnées (X, Y, Z) qui apparaissent dans la relation matricielle (1). En inversant cette relation, nous trouvons donc les valeurs des coordonnées (R, V, B) à affecter aux pixels pour obtenir le blanc D65 de référence.

3. Cas d'un écran laser (LASER DISPLAY)

Dans la suite nous utilisons les 3 longueurs d'onde laser : R = 633 nm, V = 532 nm et B = 480 nm. La distribution spectrale pour ces trois sources forme le spectre global suivant :



Après calcul suivant les principes énoncés dans la partie 1, les coordonnées RVB à affecter à chaque pixel de l'écran pour obtenir du blanc D65 sont, pour un écran laser :

Réglage d'un écran laser		
Couleur	Longueur d'onde (nm)	Coordonnées RVB
R	633	0.3378
V	532	0.2117
B	480	0.4505

4. Cas des LEDs

Contrairement aux lasers, chaque source d'un écran à LED possède une largeur spectrale à mi-hauteur non négligeable : nous étudierons ici les cas de 5 nm et celui de 40 nm. De ce fait, les LED émettent des couleurs moins saturées que les lasers.

De plus, les pics d'émission des LED peuvent se déplacer jusqu'à 10 nm vers les grandes longueurs d'onde pour une augmentation de la température ambiante de 40° C.

a) Influence de la largeur spectrale à mi-hauteur des pics d'émission des LEDs

En modélisant le pic d'émission des LEDs par une fonction sinc ayant une largeur à mi-hauteur FWHM de 5 nm, nous calculons les coordonnées suivantes pour chacune des trois sources primaires :

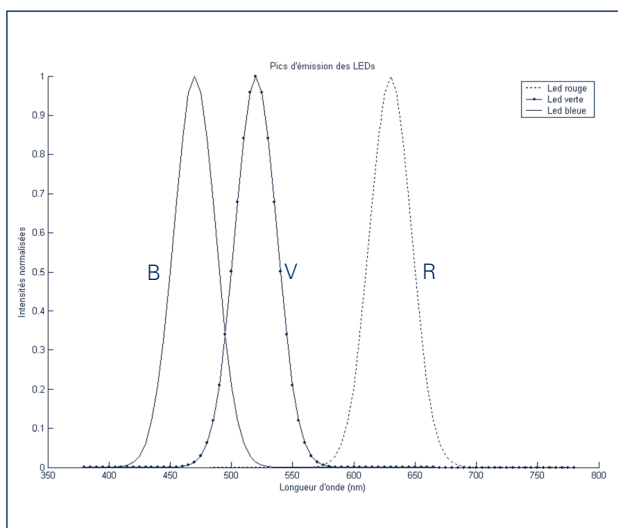
Coordonnées des sources primaires			
Couleur	Longueur d'onde (nm)	x	y
R	630	0.7078	0.2922
V	520	0.0747	0.8330
B	470	0.1242	0.0580

En inversant la relation (1), nous trouvons à l'aide de ces coordonnées primaires, les valeurs RVB à affecter aux pixels :

Valeurs RVB des pixels		
Couleur	Longueur d'onde (nm)	Valeurs RVB
R	630	0.3444
V	520	0.2456
B	470	0.4100

Les coordonnées du blanc ainsi obtenues sont bien celles du D65 : $x_{D65} = 0.3130$; $y_{D65} = 0.3290$.

Si la largeur à mi-hauteur augmente jusqu'à la valeur de 40 nm, standard pour la majorité des LEDs, les couleurs sont moins saturées. Par conséquent, si nous conservons les mêmes proportions R/V/B que précédemment, la couleur résultante ne correspond plus au blanc D65. Avec ces mêmes proportions et une largeur à mi-hauteur de 40 nm, nous avons les pics d'émission suivants :



Avec cette largeur de pic, les valeurs RVB à affecter aux pixels pour obtenir le blanc de référence D65 deviennent :

Valeurs RVB des pixels		
Couleur	Longueur d'onde (nm)	Valeurs RVB
R	630	0.3300
V	520	0.2685
B	470	0.4015

En effet, nous voyons par le calcul que les coordonnées des trois sources primaires se sont modifiées avec l'élargissement spectral :

Coordonnées des sources primaires			
Couleur	Longueur d'onde (nm)	x	y
R	630	0.6734	0.3185
V	520	0.1396	0.7028
B	470	0.1327	0.0876

Sans ce réajustement, nous aurions obtenu une résultante blanche dérivant vers le violet (trop de rouge et de bleu avec un déficit en vert). La référence de blanc D65 (0,313 ; 0,329) n'aurait donc plus été respectée.

La variation des coordonnées colorimétriques à la suite de cet élargissement spectral représente, en % :

Variation des coordonnées colorimétriques avec la largeur spectrale		
5 nm	40 nm	Var %
0,34	0,33	-0,04
0,25	0,27	0,09
0,41	0,4	-0,02

b) Influence du décalage de la longueur d'onde centrale avec la température

Nous conservons dans cette partie des pics d'émission de même largeur spectrale à mi-hauteur de 40 nm. Nous évaluons cette fois uniquement l'influence sur le rendu colorimétrique d'un décalage de 10 nm dû à une élévation de la température ambiante de 40° C. Une telle variation thermique correspond à ce que subit un écran à LEDs placé en extérieur lors du passage du changement de saison hiver/été.

Nous supposons que le décalage spectral affecte de la même manière les trois types de LEDs R, V et B.

Nous obtenons dans ce cas :

Valeurs RVB des pixels		
Couleur	Longueur d'onde (nm)	Valeurs RVB
R	630	0.3184
V	520	0.2209
B	470	0.4607

La variation thermique provoque la dérive des coordonnées colorimétriques suivante :

Variation des coordonnées colorimétriques avec la température		
T1	T1+40° C	Var %
0,33	0,32	-0,04
0,27	0,22	-0,18
0,4	0,46	0,15

Une dérive du blanc de référence vers le vert est alors observée en l'absence d'effet correctif.

5. Conclusion

Nous avons modélisé le rendu colorimétrique d'écrans laser et d'écrans à LED. En modélisant trois sources LED courantes, nous avons déterminé les coordonnées RVB qu'il faut leur affecter pour que le rendu colorimétrique résultant coïncide avec le blanc de référence D65.

Nous avons donné des indications de réglage de ces coordonnées RVB lors :

- d'une variation de la largeur spectrale des pics d'émission des LED ;
- d'une variation thermique affectant les LED.

L'élargissement spectral des pics d'émission des LED étudiées provoque une dérive du blanc de référence vers le violet. La variation thermique provoque, elle, une dérive du blanc vers le vert.

Il est apparu que le décalage thermique des pics a un effet plus marqué que leur largeur à mi-hauteur sur le rendu colorimétrique. Ainsi, le décalage spectral thermique possède une influence déterminante sur le rendu colorimétrique de ces écrans. Les corrections à apporter sur les réglages des proportions de couleurs sont en effet plus importantes lors d'un décalage spectral thermique que lors d'un élargissement spectral des pics des LEDs. Ainsi, lors de la conception d'un écran à LEDs, il faudra particulièrement veiller à sa stabilisation thermique et à la coïncidence des longueurs d'onde centrales pour les pics de toutes les LEDs qui le composent.

A ces conditions, une meilleure uniformité colorimétrique sera obtenue sur toute la surface de l'écran lors d'une utilisation en extérieur. De même, lors de la procédure de calibrage, un rendu colorimétrique uniforme sera

procuré en testant préférentiellement la position des pics d'émission plutôt que leur largeur spectrale.

Les espaces CIE n'étant pas linéaires, la prochaine étape consistera à calculer et comparer les dérivées colorimétriques à l'aide d'un indice de rendu colorimétrique non linéaire en fonction des coordonnées colorimétriques.

Références

- [1] G. WYSZECKI & W. S. STILES, *"Color Science: Concepts and Methods"*, Quantitative Data and Formulae, 2^{ème} édition, John Wiley & Sons, Canada, 1982.
- [2] D. MARTINDALE & A. W. PAETH, *"Television Color Encoding and "Hot" Broadcast Colors"*,. In James Arvo, Editor, Graphics Gems II, pages 147-158. Academic Press, Boston, 1991.

L ' a u t e u r

John Sadi, après une thèse en imagerie cohérente multicolore et haute résolution, appliquée à la biopsie optique, a créé Lightrics, société qui conçoit, développe et fabrique des systèmes de vision haute résolution. Des applications en métrologie ont été développées à destination d'industriels intervenant, entre autres, dans les domaines de l'affichage et l'éclairage à LED, de l'authentification et de la biotechnologie.