

## APPROCHE PARAMETRIQUE DU RENDU DES COULEURS

EMBRECHTS, J-J.

Aspirant du Fonds National de la Recherche Scientifique (Belgique)  
Service d'Eclairage - Université de Liège - Belgique

### 1. Introduction

Un indice général  $R_a$ , défini par la C.I.E.<sup>1</sup>, permet de comparer entre eux les divers illuminants du point de vue rendu des couleurs. Cependant, une ambiance lumineuse dans un local est souvent composée de plusieurs rayonnements, c'est-à-dire, outre les sources artificielles, la contribution des parois et de l'éclairage naturel. La distribution spectrale de l'éclairage disponible à un certain endroit est donc une fonction complexe de ces divers apports, et son propre indice  $R_a$  diffère, en général, des indices des sources présentes dans le local. Cette étude propose une formulation mathématique adéquate pour traiter le problème de manière assez constructive, dans l'optique du concepteur.

### 2. Approche paramétrique

Partant de l'idée que tout rayonnement lumineux pourrait être caractérisé, du point de vue rendu des couleurs, par un nombre fini et restreint de paramètres spectraux, une procédure a été déterminée permettant de définir ces derniers.

Remarquons tout d'abord que, en ce qui concerne la chromaticité du rayonnement, deux paramètres existent : ce sont, par exemple <sup>2</sup>,  $x$  et  $y$ , que l'on obtient en colorimétrie à l'aide de trois filtrages du spectre d'énergie par  $\bar{x}(\lambda)$ ,  $\bar{y}(\lambda)$  et  $\bar{z}(\lambda)$  où  $\lambda$  est la longueur d'onde <sup>2</sup>. En général, deux illuminants de chromaticité  $(x,y)$  identique peuvent présenter des propriétés de rendu des couleurs très différentes, ce qui semble indiquer que le nombre de paramètres cherché soit supérieur à deux.

Procédons de manière similaire et examinons si quatre filtrages suffisent à caractériser tout spectre lumineux du point de vue rendu des couleurs. Les quatre filtres proviennent des primaires fondamentaux de Judd <sup>3</sup>  $\bar{p}(\lambda)$ ,  $\bar{d}(\lambda)$  et  $\bar{t}(\lambda)$  et de l'optimisation d'une fonction de type gaussien <sup>4</sup>  $\bar{f}(\lambda)$ .

Comme nous allons le voir, le choix de ces derniers nous a déjà conduit à d'intéressants résultats, ceci n'excluant pas d'autres filtres aux caractéristiques optimales que déterminerait la poursuite des recherches.

Les trois paramètres sont  $B_y$ ,  $G_y$  et  $R_y$  tels que :

$$B_y = \frac{100}{y} \int \bar{t}(\lambda)e(\lambda)d\lambda, \quad y = \int \bar{p}(\lambda)e(\lambda)d\lambda \quad (1)$$

et de même pour  $G_y$  et  $R_y$  à partir de  $\bar{d}(\lambda)$  et  $\bar{f}(\lambda)$ . Dans cette formule,  $e(\lambda)$  représente la répartition spectrale du rayonnement étudié.

Il a été montré <sup>4</sup> que le rendu des couleurs de tout spectre  $e(\lambda)$  pouvait être caractérisé par  $B_y$ ,  $G_y$  et  $R_y$ . Un indice  $\hat{R}_a$  a été défini dans ce sens et l'optimisation du filtre  $\bar{f}(\lambda)$  conduite de telle manière que son échelle corresponde au mieux avec celle de l'indice C.I.E. ( $R_a$ ), l'étude étant basée sur plus de 1.000 spectres lumineux représentatifs.

### 3. Représentations graphiques

Aucune formulation mathématique de la relation entre  $\hat{R}_a$  et les trois paramètres n'a été développée actuellement. On peut voir cependant à la figure 1 deux types de représentation riches en informations. Elle nous montre l'importance de la variation de  $\hat{R}_a$  en fonction de  $G_y$  et  $R_y$ , le paramètre  $B_y$  étant moins significatif.

La figure 2 introduit une autre manière de décomposer cette variation :

$$\hat{R}_a = \hat{R}_{aM}(B_y, G_y) - X(B_y, G_y, R_y - R_{yM}) \quad (2)$$

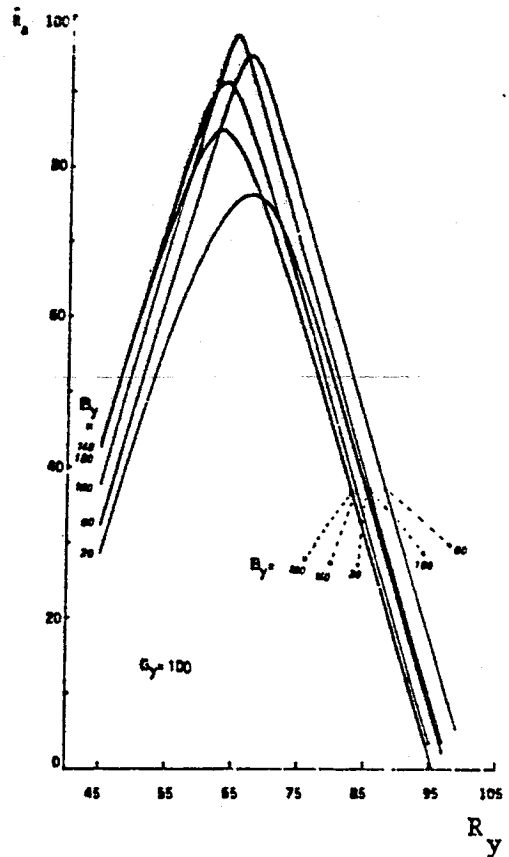
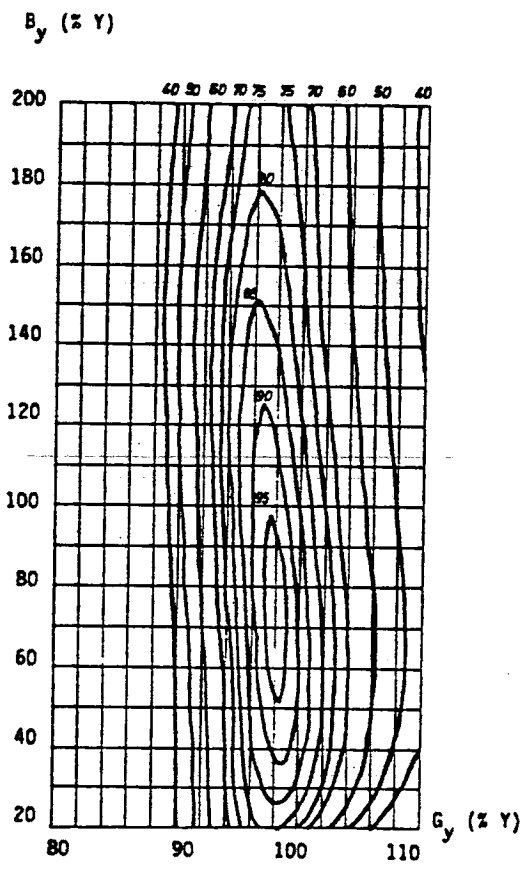
$\hat{R}_{aM}$  est la valeur maximale de  $\hat{R}_a$  (fig. 1b) et  $R_{yM}$  la valeur correspondante de  $R_y$ . En pratique,  $X$  est linéaire (en dehors du voisinage de  $R_{yM}$ ) et dépend principalement <sup>5</sup> de  $R_y - R_{yM}$ .

### 4. Combinaison de plusieurs illuminants

Par définition, les paramètres caractéristiques du mélange de deux sources lumineuses sont linéairement reliés aux paramètres individuels de chaque source. L'indice de rendu des couleurs  $\hat{R}_a$  du mélange peut donc être estimé très simplement comme le montre l'exemple suivant.

Soit un local éclairé par plusieurs tubes fluorescents (spectre de rayonnement  $S$ ) d'indice  $\hat{R}_a$  connu (81), produisant en un point un éclairage  $E_1$ . Soit, d'autre part, l'apport  $E_2$  d'éclairage naturel, représenté par le spectre de l'illuminant  $D_{65}$  ( $\hat{R}_a = 100$ ).

Sur la figure 2a sont localisés les points  $D_{65}$  et  $S$ , caractéristiques des deux rayonnements.  $\hat{R}_{aM}$  dépend de  $\alpha = E_1/(E_1+E_2)$  qui gradue linéairement le segment de droite joignant  $S$  et  $D_{65}$ .



$R_y = 70 \% Y$

Fig.1.a) Courbes d'indice  $\hat{R}_a$  constant dans l'espace  $(B_y, G_y), R_y = 70 \% Y$   
 b)  $\hat{R}_a$ , fonction de  $R_y$ , pour quelques valeurs de  $B_y$  et  $G_y$ .

Carpet's colour	$\hat{R}_a$	CRI	E (lux)
9. Saturated red	75.5	76	579
12. Saturated blue	89.5	89.7	571
20. Olive - green	92.4	91.9	562
Light source	91.1	90.7	

Table 1 : Influence de la couleur du sol sur le rendu des couleurs ( cf.§5).

$\hat{R}_{aM}$  est reporté à la figure 3; en particulier,  $\hat{R}_{aM} (\alpha=0) = 100$  (référence) et  $\hat{R}_{aM} (\alpha=1) \approx 98$ .

Sur la figure 2b, on peut lire de la même manière  $R_{yM} (\alpha=0) \approx 59$  et  $R_{yM} (\alpha=1) \approx 75$ .  $R_y - R_{yM}$  est également une fonction linéaire <sup>5</sup> de  $\alpha$  passant de 0 à -6.7 et la contribution X de l'équation (2) est du type de la figure 3.

Le calcul des éclairiments  $E_1$  et  $E_2$  détermine donc, aux divers endroits du local, la plage de variation de  $\alpha$  et de  $\hat{R}_a$  par la figure 3.

Ce bref exemple illustre l'intérêt de l'approche paramétrique. Remarquons (fig. 2) que l'indice de rendu des couleurs du mélange est presque toujours supérieur à l'indice de l'illuminant le moins performant.

### 5. Influence de la couleur des parois

Lorsqu'un local est éclairé par des sources de même type, l'indice  $\hat{R}_a$  du rayonnement éclairant un point particulier du plan de travail diffère d'autant plus de celui des sources que la réflexion des parois est spectralement sélective.

Le calcul des paramètres spectraux du rayonnement global (direct + indirect), suivant une formulation que nous avons également définie <sup>5</sup>, permet d'analyser toute situation où la contribution des parois est importante. On remarque entre autres l'importance des couleurs rouges et, dans une moindre mesure, vertes sur le rendu des couleurs, ainsi que leur effet antagoniste.

Un bref exemple illustre cette affirmation. La table 1 nous montre, dans un cas particulier, l'effet de la réflexion du sol, toutes autres choses égales, dans un local éclairé par des lampes de même type <sup>5</sup>. Dans cette table, CRI représente l'indice C.I.E. correspondant.

### 6. Conclusion

L'approche paramétrique du rendu des couleurs, exposée brièvement ci-dessus, est un outil précieux pour l'analyse et la conception d'ambiances colorées où plusieurs illuminants contribuent à l'éclairage. Elle établit en outre une relation entre le spectre énergétique d'un rayonnement, donnée fondamentale mesurable, et le rendu des couleurs. La poursuite des recherches dans ce domaine a principalement pour but l'optimisation des filtres et, par là, des paramètres spectraux.

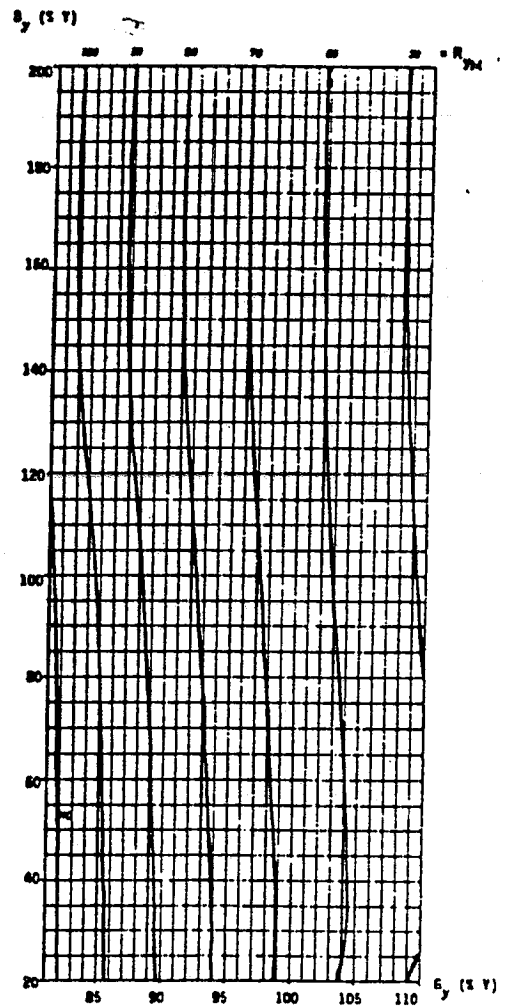
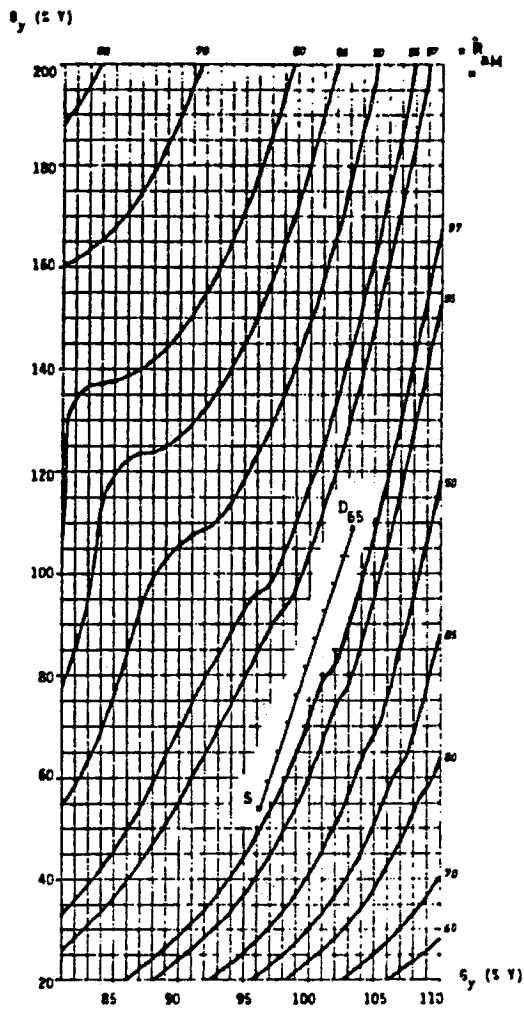


Fig. 2:  $\hat{R}_{aM}$  et  $R_{yM}$  en fonction de  $B_y$  et  $G_y$ . Position des illuminants  $D_{65}$  ( $R_y=59$ ) et  $S$  ( $R_y=68.3$ ).

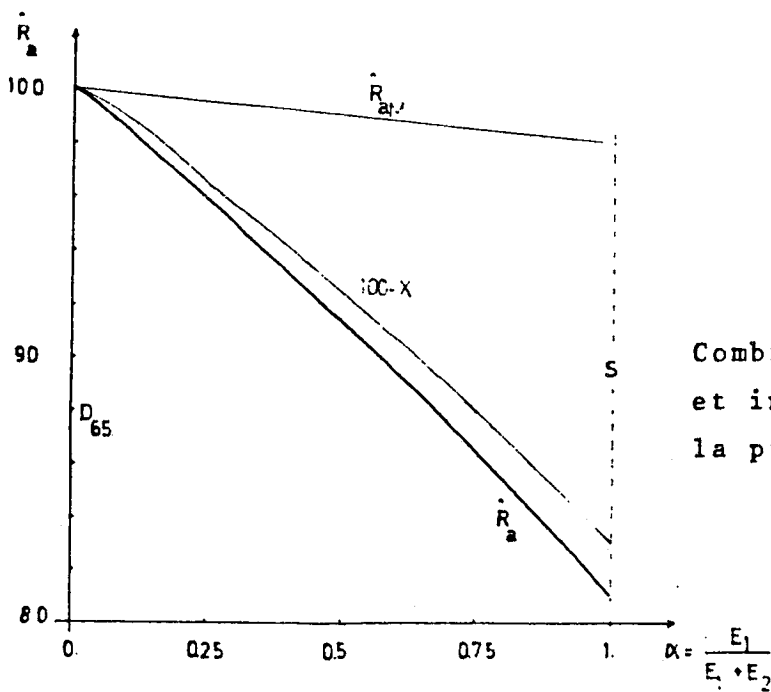


Fig. 3:

Combinaison de  $D_{65}$  et  $S$  (§4) et indice  $\hat{R}_a$  en fonction de la proportion  $\alpha$  du mélange.

## Références

1. Publication C.I.E. n° 13.2 (TC-3.2) (1974);
2. Publication C.I.E. n° 15 (1971);
3. Judd D.B., Standard response functions for protanopic and deuteranopic vision, J. Research NBS, 33, 407 (1944);
4. Embrechts J-J., Colour rendering and spectral power distribution - a new parametric approach, Ltg. Res. & Technol., 16 (3), 119 (1984);
5. Embrechts J-J., Walls' effect on colour rendering, to be published.