

## A. Questions

1. Le système RGB a l'avantage d'avoir des primaires physiquement réalisables, alors que les primaires du système XYZ sont des couleurs idéales, c'est-à-dire, non-réalisables.

En contrepartie, le système XYZ offre les avantages suivants :

- Quelle que soit la couleur considérée, ses coordonnées sont positives.
- La composante Y est égale à la luminance du rayonnement considéré.
- Le blanc idéal peut être obtenu en additionnant une unité de chaque primaire.

2. Toute source dont le spectre est suffisamment continu et lisse, c'est-à-dire contenant un grand nombre de longueurs d'onde différentes d'intensité comparables, produit une sensation de lumière blanche. C'est le cas du soleil, des lampes à incandescence, de certains tubes fluorescents par exemple. On constate toutefois, lorsque plusieurs de ces sources sont observées simultanément, des différences de teinte (lumière blanche plus ou moins rougeâtre ou jaunâtre), imperceptible à l'œil lorsque ces sources sont observées séparément. Ce phénomène est dû à un « mécanisme de mémoire » du cerveau humain, qui tend à conserver la mémoire d'une « couleur blanche » durant un certain temps; celle-ci est oubliée après quelques minutes.
3. La couleur pourpre est absente du spectre de décomposition de la lumière solaire. Ce dernier est constitué des couleurs spectrales, qui sont dans l'ordre : le rouge, l'orange, le jaune, le vert, le bleu et le violet.

Le pourpre vient ainsi « fermer » les deux extrémités du spectre, qui sont le violet (380 nm) et le rouge (780 nm). Il est lui-même issu d'un mélange de ces deux couleurs et correspond à la limite inférieure du diagramme chromatique CIE (segment de droite).

## B. Problèmes

### Problème 1 :

a)

Le blanc idéal se distingue par le fait qu'il contient toutes les longueurs d'onde en quantité exactement identiques : il est désigné par la lettre E sur le diagramme chromatique CIE (système chromatique XYZ).

Comme bien d'autres couleurs, on peut obtenir la même sensation chromatique par un mélange approprié de deux couleurs différentes choisies judicieusement : on désigne par métamérisme ce phénomène (même couleur perçue par mélange d'autres couleurs).

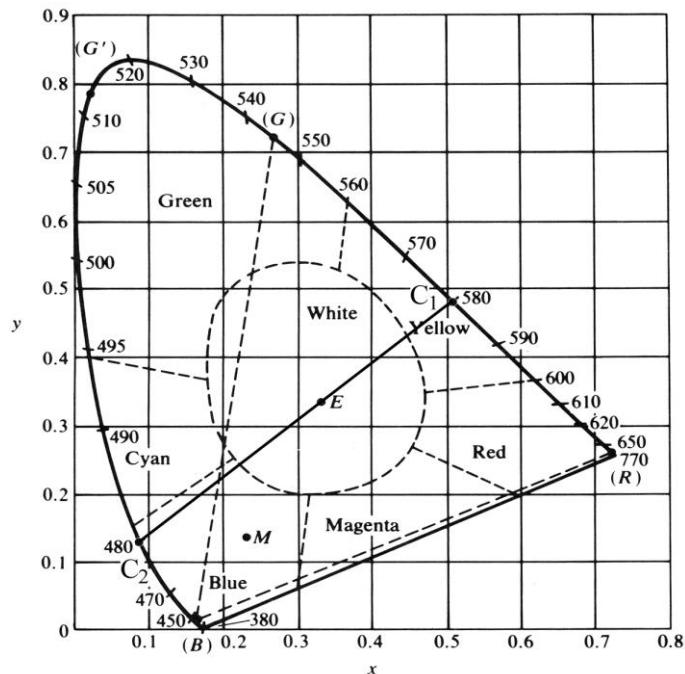
Sachant que la résultante du mélange de deux couleurs se trouve sur le segment qui relie ces dernières dans le diagramme CIE, on trace donc la droite  $C_1E$ , qui relie la couleur pure  $C_1$  de 580 nm (couleur jaune) avec le point E, pour obtenir la couleur pure  $C_2$  de 480 nm (couleur bleu-cyan), à l'intersection avec le bord du diagramme (cf. diagramme page suivante).

b)

Les distances  $\overline{C_1E}$  et  $\overline{C_2E}$  donnant la proportion des "quantité de couleur" ( $q = X + Y + Z$ ) de  $C_1$  et  $C_2$  pour obtenir le blanc idéal E, on obtient :

$$\frac{q_2}{q_1} = \frac{\overline{C_1E}}{\overline{C_2E}} = 0.77$$

Ces distances se trouvent dans le rapport inverse des "quantités de couleur" respectives.



c)

Pour trouver la luminance de la deuxième source, il faut calculer  $q_1$  pour en déduire  $q_2$ . On a les définitions suivantes :

$$x_i = \frac{X_i}{q_i}, \quad y_i = \frac{Y_i}{q_i}, \quad z_i = \frac{Z_i}{q_i}$$

Le diagramme CIE ou l'annexe 2.3 (plus précise) permettent de trouver les coordonnées x et y de nos sources :

$$x_1 = 0.5125 \quad y_1 = 0.4866 \rightarrow z_1 = 0.0009$$

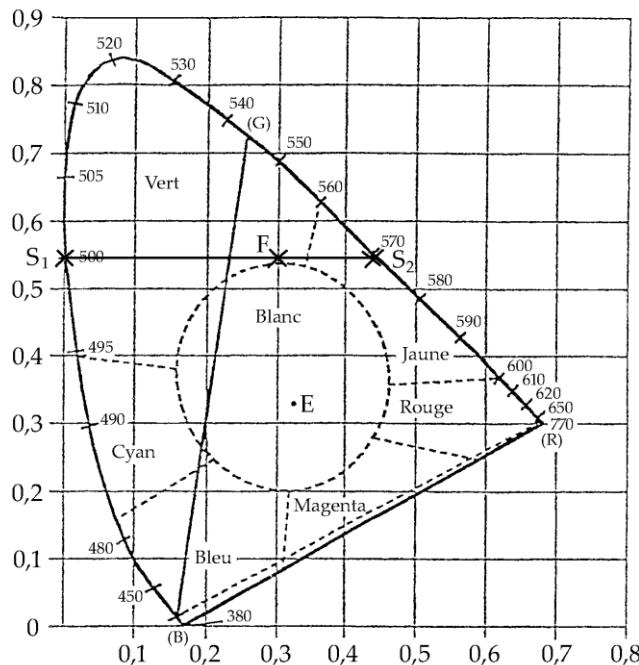
$$x_2 = 0.0913 \quad y_2 = 0.1327 \rightarrow z_2 = 0.7760$$

Connaissant  $y_1$  et la luminance  $Y_1$  de la source 1, on en déduit facilement  $q_1 = 308,3$ . Le rapport  $q_2 / q_1$  donne  $q_2 = 237,4$ . On calcule facilement  $Y_2$  avec  $q_2$  et  $y_2$  :  $Y_2 = 31,5 \text{ Cd/m}^2$ .

## Problème 2 :

- a) Les sources sont monochromatiques : ce sont donc des couleurs pures, dont le point caractéristique est situé sur le parcours du diagramme CIE.

On peut donc déterminer leurs coordonnées chromatiques  $(x_1 ; y_1)$  et  $(x_2 ; y_2)$  respectives en utilisant le diagramme, ainsi que l'échelle des longueurs d'onde reportée le long de son pourtour. On obtient ainsi les points  $S_1$  et  $S_2$  donnés à la figure suivante : ces sources sont de couleurs « vert » et « jaune ».



L'annexe A 2.3 du polycopié de photo/colorimétrie donne directement les coordonnées chromatiques de couleurs pures (rayonnements monochromatiques) à partir de leurs longueurs d'onde ; on obtient :

$$S_1: \lambda_1 = 500\text{nm} \Rightarrow x_1 = 0.0082; y_1 = 0.5384; z_1 = 0.4534$$

$$S_2: \lambda_2 = 570\text{nm} \Rightarrow x_2 = 0.4444; y_2 = 0.5547; z_2 = 0.0012$$

La couleur apparente de la feuille (de couleur intrinsèque blanche) peut être déterminée à partir des équations complémentaires de l'énoncé, en y introduisant les valeurs numériques ci-dessus. On obtient :

$$x = \frac{0.0082 \cdot (100/0.5384) + 0.4444 \cdot (200/0.5547)}{(100/0.5384) + (200/0.5547)} = 0.2961$$

$$y = \frac{100 + 200}{(100/0.5384) + (200/0.5547)} = 0.5492$$

$$(z = 1 - 0.2961 - 0.5492 = 0.1547)$$

On peut constater en reportant ce point caractéristique sur le diagramme CIE (point F), que la couleur apparente de la feuille est un blanc teinté de vert-jaune.

Le point F est situé, par ailleurs, exactement sur la droite S<sub>1</sub> - S<sub>2</sub>, qui correspond aux couleurs de l'ensemble des mélanges possibles des sources S<sub>1</sub> et S<sub>2</sub>. Le point F se trouve sur ce segment, parce que la feuille de couleur intrinsèque n'altère pas la teinte du flux lumineux qui l'éclaire, lui-même composé d'un mélange des sources S<sub>1</sub> et S<sub>2</sub>.

- b) On peut déterminer tout d'abord les luminances réfléchies L<sub>1</sub> et L<sub>2</sub>, qui diffèrent des précédentes :

$$L_1 = \frac{\rho_1 \cdot E_1}{\pi} = \frac{0.9 \cdot 390}{3.14} = 112 \text{ Cd/m}^2$$

$$L_2 = \frac{\rho_2 \cdot E_2}{\pi} = \frac{0.05 \cdot 785}{3.14} = 12.5 \text{ Cd/m}^2$$

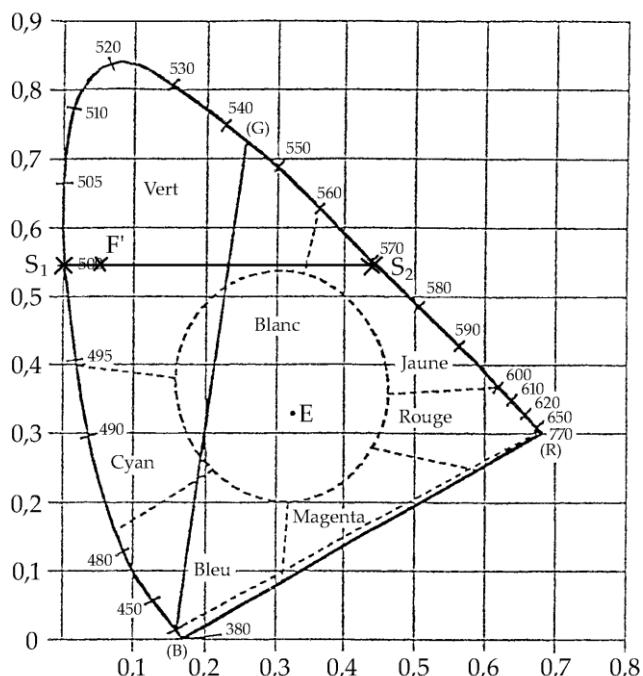
$$L = L_1 + L_2 = 124.5 \text{ Cd/m}^2$$

Les coordonnées chromatiques de la couleur apparente de la nouvelle feuille sont alors données par :

$$x = \frac{0.0082 \cdot (112/0.5384) + 0.4444 \cdot (12.5/0.5547)}{(112/0.5384) + (12.5/0.5547)} = 0.05$$

$$y = \frac{124.5}{(112/0.5384) + (12.5/0.5547)} = 0.54$$

La couleur apparente est « verte » (voir diagramme CIE de la page suivante), cela s'explique par le fait que le flux lumineux provenant de la source  $S_1$  (vert) est fortement réfléchi et non celui de la source  $S_2$  (vert-jaune).



### Problème 3 :

Le système chromatique XYZ est défini de manière à ce que Y représente la luminance d'une couleur ( $L_1 = Y_1$  et  $L_2 = Y_2$ ). À partir de la donnée, on obtient :

$$L_1 = 12,0 \quad L_2 = 9,5$$

Grâce au complément d'énoncé, on peut déterminer les coordonnées x et y de la couleur résultante de la combinaison de ces deux couleurs :

$$x = \frac{0.272 \cdot (12.0/0.494) + 0.329 \cdot (9.5/0.218)}{(12.0/0.494) + (9.5/0.218)} = 0.309$$

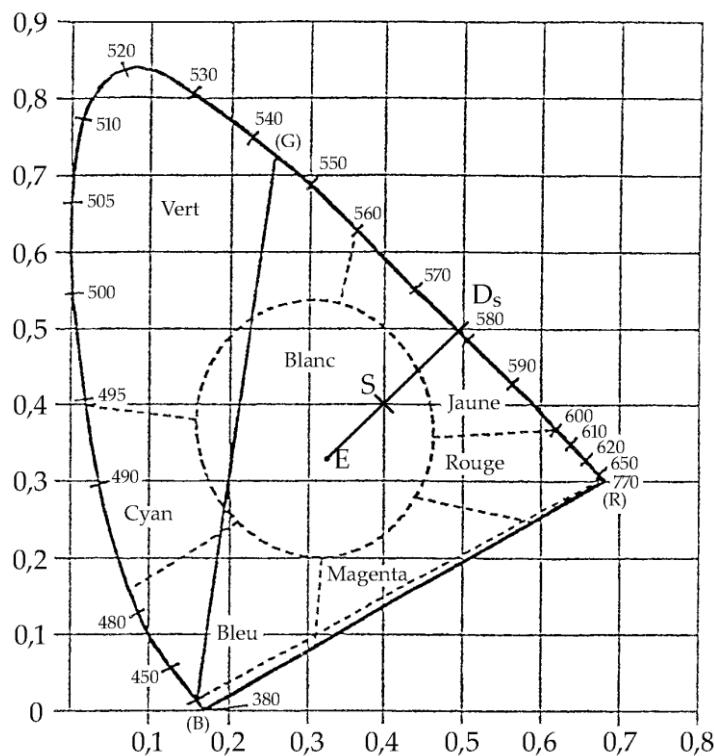
$$y = \frac{12.0 + 9.5}{(12.0/0.494) + (9.5/0.218)} = 0.317$$

La luminance résultante vaut :  $L = L_1 + L_2 = 21,5 \text{ Cd/m}^2$

On vérifie bien sur le diagramme CIE que la résultante des deux couleurs correspond bien à un « blanc », proche du « blanc idéal » équi-énergétique, de coordonnées chromatiques égales à (0,333 ; 0,333 ; 0,333).

**Problème 4 :**

Le point caractéristique S, représentant la source en question, est tout d'abord reporté sur le diagramme CIE (voir figure suivante).



On constate que sa teinte est « blanche » : ce n'est toutefois pas un « blanc idéal », dont les coordonnées chromatiques sont  $x = 0,33$ ,  $y = 0,33$ ,  $z = 0,33$  (point E). De par sa situation, il s'agit vraisemblablement d'un blanc teinté de jaune. La détermination de la couleur dominante doit permettre de confirmer cela. Pour l'obtenir, on trace la droite E-S et on cherche son intersection avec la frontière du diagramme CIE : on obtient ainsi le point  $D_s$ , caractéristique de la couleur dominante de la teinte de la Source S.

A l'aide d'une règle, on mesure les distances du  $D_s$  de 570 et 580 nm et on constate que cette dominante possède une longueur d'onde de 578 nm ; il s'agit bien d'une couleur pure « jaune ».

Le degré de pureté colorimétrique de cette teinte se mesure à partir de la longueur des segments E-S et E- $D_s$  grâce à la relation<sup>1</sup>:

$$\text{degré de pureté}(S) = \frac{\overline{ES}}{\overline{ED_s}} \cdot 100\% \approx 42\%$$

Remarque : ne pas confondre avec le rapport des longueurs de segments E-S et S- $D_s$  qui est inversement proportionnel aux rapport des quantités de couleur de « blanc idéal » (point E) et de « jaune 578 nm » (point  $D_s$ ) nécessaires pour reproduire la teinte de la source S.

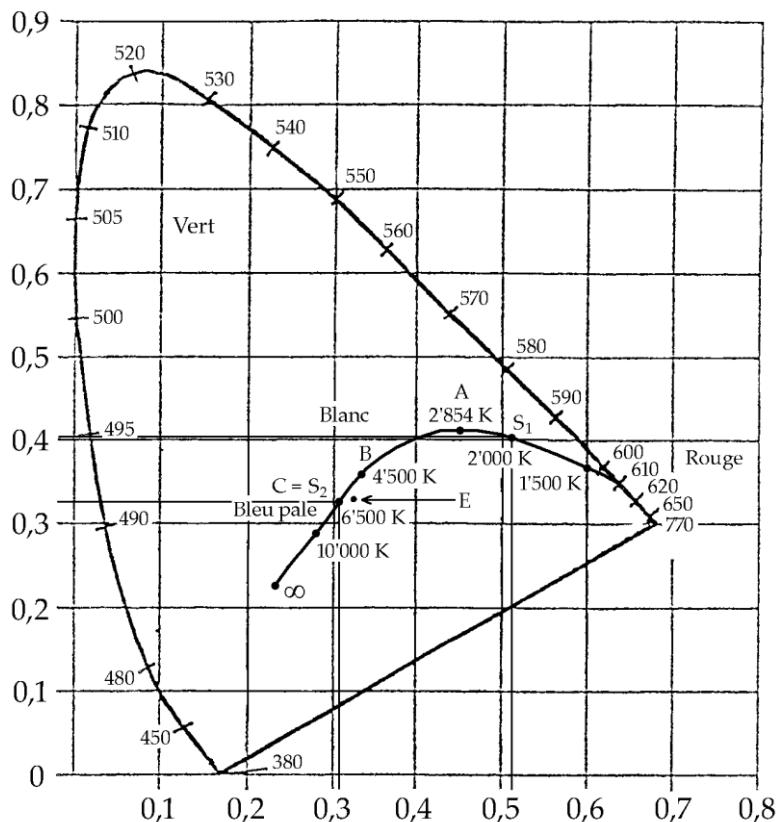
$$\frac{q_{\text{jaune}}}{q_{\text{blanc}}} = \frac{\overline{ES}}{\overline{SD_s}} \approx 0.75 \text{ avec } q_i = X_i + Y_i + Z_i$$

On voit donc bien ainsi que plus la part d'un des composants est élevée (ici le blanc, point E, par ex.) plus le point correspondant au mélange s'en rapproche.

<sup>1</sup> Pour des distances plus précises, voir l'annexe A 2.2 du complément de photométrie et colorimétrie.

**Problème 5 :**

La Figure 2.4.5 du complément indique la couleur d'un corps noir en fonction de sa température. On y reporte la position du « corps noir » aux 2 températures données :



$$S_1 (T = 2'000 \text{ K}) : (x_1, y_1, z_1) = (0,52 ; 0,41 ; 0,07)$$

$$S_2 (T = 6'500 \text{ K}) : (x_2, y_2, z_2) = (0,31 ; 0,32 ; 0,37)$$

Les teintes respectives sont « jaune-orange » pour le premier et « blanc » teinté de bleu pâle pour le second. La détermination des couleurs dominantes permettrait de vérifier cela précisément.

On constate toutefois que le corps noir à 6'500 K est très proche du blanc idéal (point E : 0,33 ; 0,33 ; 0,33). Sa caractéristique est de fait celle de la lumière du jour, puisque le Soleil qui émet cette lumière est un « corps noir » d'une température de surface de 6'500 K.