

NORME
INTERNATIONALE

ISO/CIE
10527

Première édition
1991-12-15

Observateurs de référence colorimétriques CIE

CIE standard colorimetric observers

iTeh STANDARD PREVIEW
(standards.iteh.ai)

ISO/CIE 10527:1991

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/bb861a4c-74d9-477a-9741-4a25a9c78cdb/iso-cie-10527-1991>



Numéro de référence
ISO/CIE 10527 : 1991 (F)

Sommaire

	Page
Introduction	v
1 Domaine d'application	1
2 Références normatives	1
3 Définitions	1
4 Spécifications	2
4.1 Fonctions colorimétriques	2
4.2 Coordonnées trichromatiques spectrales	2
5 Détermination des fonctions colorimétriques de l'observateur de référence colorimétrique CIE 1931	2
5.1 Données expérimentales	2
5.2 Méthodes de conversion	2
5.3 Propriétés de la transformation	3
5.4 Comparaison avec les données antérieures	3
6 Détermination des fonctions colorimétriques de l'observateur de référence colorimétrique supplémentaires CIE 1984	3
6.1 Bases expérimentales	3
6.2 Méthodes de conversion	3
6.3 Propriétés de la transformation	3
6.4 Comparaison avec les données antérieures	3
7 Applications pratiques des fonctions colorimétriques des observateurs de référence colorimétriques CIE	4
7.1 Obtention des composantes trichromatiques	4
7.2 Base de la méthode d'intégration	4
7.3 Activités des bâtonnets	4
7.4 Emploi de données réduites	4
7.5 Étalon de réflexion	4
Annexe	
A Bibliographie	25

© ISO 1991

Droits de reproduction réservés. Aucune partie de cette publication ne peut être reproduite ni utilisée sous quelque forme que ce soit et par aucun procédé, électronique ou mécanique, y compris la photocopie et les microfilms, sans l'accord écrit de l'éditeur.

Organisation internationale de normalisation
Case postale 56 • CH-1211 Genève 20 • Suisse

Imprimé en Suisse

Avant-propos

L'ISO (Organisation internationale de normalisation) est une fédération mondiale d'organismes nationaux de normalisation (comités membres de l'ISO). L'élaboration des Normes internationales est en général confiée aux comités techniques de l'ISO. Chaque comité membre intéressé par une étude a le droit de faire partie du comité technique créé à cet effet. Les organisations internationales, gouvernementales et non gouvernementales, en liaison avec l'ISO participent également aux travaux. L'ISO collabore étroitement avec la Commission électrotechnique internationale (CEI) en ce qui concerne la normalisation électrotechnique.

La Commission internationale de l'éclairage (CIE) est une organisation qui se donne pour but la coopération internationale et l'échange d'informations entre les pays membres sur toutes les questions relatives à l'art et à la science de l'éclairage.

La CIE a pour objectifs

- (standards.iteh.ai)**
- a) de constituer un centre d'étude international pour toute matière relevant de la science, de la technologie et de l'art de la lumière et de l'éclairage, et pour l'échange d'informations dans ces domaines entre pays;
 - b) d'élaborer des normes et des méthodes de base pour la métrologie dans les domaines de la lumière et de l'éclairage;
 - c) de donner des directives pour l'application des principes et des méthodes d'élaboration de normes internationales et nationales dans les domaines de la lumière et de l'éclairage;
 - d) de préparer et publier des normes, rapports et autres textes, concernant toutes matières relatives à la science, la technologie et l'art dans les domaines de la lumière et de l'éclairage;
 - e) de maintenir une liaison et une collaboration technique avec les autres organisations internationales concernées par des sujets relatifs à la science, la technologie, la normalisation et l'art dans les domaines de la lumière et de l'éclairage.

Dans ce but, les domaines de la lumière et de l'éclairage comprennent des sujets fondamentaux, tels que la vision, la photométrie et la colorimétrie, le rayonnement naturel et le rayonnement provoqué par l'homme dans les domaines de l'ultraviolet, visible et de l'infrarouge du spectre, et des domaines d'application concernant tous les usages de l'éclairage intérieur et extérieur, y compris les effets esthétiques et l'impact sur l'environnement, ainsi que les moyens de production et de contrôle de la lumière et du rayonnement.

Les activités techniques de la CIE sont dirigées par sept divisions, chacune étant responsable d'un secteur particulier majeur touchant les intérêts de la CIE. Chaque division établit des comités techniques composés de petits groupes d'experts, pour conduire des tâches techniques spécifiques. Le texte de la présente Norme internationale a été élaboré par la division 1: *Vision et couleur*. La ratification d'une norme CIE exige l'approbation des membres de la division, du Conseil et des comités nationaux de la CIE.

Les normes établies par la CIE sont des recueils concis de caractéristiques, concernant la lumière et l'éclairage, pour lesquelles l'harmonisation internationale implique une

ISO/CIE 10527 : 1991 (F)

définition unique pour chacune d'elles. Ainsi, les normes CIE constituent des sources primaires de données, acceptées internationalement, qui peuvent être introduites sans modification dans des systèmes universels de normes.

La Norme internationale ISO/CIE 10527 a été préparée en tant que Norme CIE S002 par la Commission internationale de l'éclairage qui a été reconnue par le Conseil de l'ISO comme étant un organisme international de normalisation. Elle a été adoptée par l'ISO selon une procédure spéciale qui requiert l'approbation de 75 % au moins des comités membres votants et est publiée comme norme conjointe ISO/CIE.

La Norme internationale ISO/CIE 10527 a été élaborée par le Comité technique CIE/TC 1.3, *Colorimétrie*.

L'annexe A de la présente Norme internationale est donnée uniquement à titre d'information.

iTeh STANDARD PREVIEW (standards.iteh.ai)

[ISO/CIE 10527:1991](https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/bb861a4c-74d9-477a-9741-4a25a9c78cdb/iso-cie-10527-1991)

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/bb861a4c-74d9-477a-9741-4a25a9c78cdb/iso-cie-10527-1991>

Introduction

Des couleurs ayant des compositions spectrales différentes peuvent paraître identiques. Un rôle important de la colorimétrie est de déterminer si de telles couleurs métamères apparaîtront identiques. L'emploi dans ce but de colorimètres visuels est gêné par les variations dans les égalisations colorimétriques que peuvent faire divers observateurs ayant cependant une vision normale des couleurs. La colorimétrie visuelle conduit de plus à des opérations très longues. Pour ces raisons, la colorimétrie utilise depuis longtemps un ensemble de fonctions colorimétriques permettant de calculer les composantes trichromatiques des couleurs : l'égalité des composantes trichromatiques pour une paire de couleurs indique que l'apparence colorée de ces deux couleurs est identique, tout au moins quand elles sont vues dans les mêmes conditions, par un observateur pour lequel les fonctions colorimétriques sont valables. L'emploi d'ensembles normalisés de fonctions colorimétriques rend possible la comparaison de composantes trichromatiques obtenues à des époques et en des lieux différents.

iTeh STANDARD PREVIEW
(standards.iteh.ai)

[ISO/CIE 10527:1991](https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/bb861a4c-74d9-477a-9741-4a25a9c78cdb/iso-cie-10527-1991)

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/bb861a4c-74d9-477a-9741-4a25a9c78cdb/iso-cie-10527-1991>

Page blanche

iTeh STANDARD PREVIEW
(standards.iteh.ai)

ISO/CIE 10527:1991

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/bb861a4c-74d9-477a-9741-4a25a9c78cdb/iso-cie-10527-1991>

Observateurs de référence colorimétriques CIE

1 Domaine d'application

La présente Norme internationale définit deux ensembles de fonctions colorimétriques employées en colorimétrie, à savoir :

- a) Fonctions colorimétriques de l'observateur de référence colorimétrique CIE 1931

Cet ensemble de fonctions colorimétriques est représentatif des caractéristiques d'égalisation colorée d'observateurs ayant une vision normale des couleurs, pour un champ visuel d'amplitude angulaire d'environ 1° à 4°, et pour une vision adaptée au niveau photopique.

- b) Fonctions colorimétriques de l'observateur de référence colorimétrique supplémentaire CIE 1964

Cet ensemble de fonctions colorimétriques est représentatif des caractéristiques d'égalisation colorée d'observateurs ayant une vision normale des couleurs, pour un champ visuel d'amplitude angulaire supérieur à environ 4°, et pour une vision à un niveau photopique suffisamment élevé et avec une répartition spectrale d'énergie telle qu'il n'y ait pas lieu de supposer une intervention des bâtonnets rétinien.

2 Références normatives

Les normes suivantes contiennent des dispositions qui, par suite de la référence qui en est faite, constituent des dispositions valables pour la présente Norme internationale. Au moment de la publication, les éditions indiquées étaient en vigueur. Toute norme est sujette à révision et les parties prenantes des accords fondés sur la présente Norme internationale sont invitées à rechercher la possibilité d'appliquer les éditions les plus récentes des normes indiquées ci-après. Les membres de la CEI et de l'ISO possèdent le registre des Normes internationales en vigueur à un moment donné.

Publication CIE 15.2 : 1986, *Colorimétrie*.

Publication CIE 17.4 : 1987, *Vocabulaire international de l'éclairage* (publication conjointe CEI/CIE).

3 Définitions

Pour les besoins de la présente Norme internationale, les définitions suivantes s'appliquent. Ces termes sont extraits de la Publication CIE 17.4 où d'autres termes connexes peuvent être trouvés.

3.1 courbe spectrale d'un stimulus de couleur, $\varphi_\lambda(\lambda)$: Description d'un stimulus de couleur par la densité spectrale d'une grandeur énergétique, telle que la luminance énergétique ou le flux énergétique, en fonction de la longueur d'onde.

3.2 courbe spectrale relative d'un stimulus de couleur, $\phi(\lambda)$: Répartition spectrale relative d'énergie de la courbe spectrale d'un stimulus de couleur.

3.3 stimulus de couleur métamères; métamères: Stimulus de couleur de composition spectrales différentes qui ont les mêmes composantes trichromatiques.

3.4 stimulus monochromatique; stimulus spectral: Stimulus composé d'un rayonnement monochromatique.

3.5 spectre d'égalité d'énergie: Spectre d'un rayonnement dont la densité spectrale d'une grandeur énergétique en fonction de la longueur d'onde est constante dans toute l'étendue du spectre visible.

3.6 mélange additif de stimulus de couleur: Stimulation qui cumule au niveau de la rétine les actions de différents stimulus de couleur de telle façon qu'ils ne puissent pas être perçus individuellement.

3.7 égalisation de couleur: Action de rendre un stimulus de couleur tel qu'il donne lieu à la même couleur perçue qu'un stimulus de couleur donné.

3.8 système trichromatique: Système de spécification des stimulus de couleur par des composantes trichromatiques, fondé sur des égalisations de couleur par mélange additif de trois stimulus de couleur de référence convenablement choisis.

3.9 stimulus de couleur de référence, [R], [G], [B]; [X], [Y], [Z]; [X₁₀], [Y₁₀], [Z₁₀]; etc.: Ensemble de trois stimulus de couleur sur lequel est fondé un système trichromatique.

3.10 composantes trichromatiques, R, G, B; X, Y, Z; X₁₀, Y₁₀, Z₁₀; etc.: Quantités de trois stimulus de couleur de référence qui, dans un système trichromatique donné, sont nécessaires pour égaliser la couleur du stimulus considéré.

3.11 fonctions colorimétriques, $\bar{r}(\lambda)$, $\bar{g}(\lambda)$, $\bar{b}(\lambda)$; $\bar{x}(\lambda)$, $\bar{y}(\lambda)$, $\bar{z}(\lambda)$; $\bar{x}_{10}(\lambda)$, $\bar{y}_{10}(\lambda)$, $\bar{z}_{10}(\lambda)$; etc.: Composantes trichromatiques de stimulus monochromatiques de même flux énergétique.

3.12 système de référence colorimétrique CIE 1931 (X , Y , Z): Système permettant l'évaluation des composantes trichromatiques d'une répartition spectrale d'énergie quelconque en utilisant l'ensemble des stimulus de couleur de référence $[X]$, $[Y]$, $[Z]$ et les trois fonctions colorimétriques CIE $\bar{x}(\lambda)$, $\bar{y}(\lambda)$, $\bar{z}(\lambda)$ adoptés en 1931 par la CIE.

3.13 système de référence colorimétrique supplémentaire CIE 1964 (X_{10} , Y_{10} , Z_{10}): Système permettant l'évaluation des composantes trichromatiques d'une répartition spectrale d'énergie quelconque en utilisant l'ensemble des stimulus de couleur de référence $[X_{10}]$, $[Y_{10}]$, $[Z_{10}]$ et les trois fonctions colorimétriques CIE $\bar{x}_{10}(\lambda)$, $\bar{y}_{10}(\lambda)$, $\bar{z}_{10}(\lambda)$ adoptés en 1964 par la CIE.

3.14 fonctions colorimétriques CIE: Fonctions colorimétriques $\bar{x}(\lambda)$, $\bar{y}(\lambda)$, $\bar{z}(\lambda)$ dans le système de référence colorimétrique CIE 1931, ou $\bar{x}_{10}(\lambda)$, $\bar{y}_{10}(\lambda)$, $\bar{z}_{10}(\lambda)$ dans le système de référence colorimétrique supplémentaire CIE 1964.

3.15 observateur de référence colorimétrique CIE 1931: Observateur idéal dont les propriétés colorimétriques sont conformes aux fonctions colorimétriques CIE $\bar{x}(\lambda)$, $\bar{y}(\lambda)$, $\bar{z}(\lambda)$ adoptées en 1931 par la CIE.

3.16 observateur de référence colorimétrique supplémentaire CIE 1964: Observateur idéal dont les propriétés colorimétriques sont conformes aux fonctions colorimétriques CIE $\bar{x}_{10}(\lambda)$, $\bar{y}_{10}(\lambda)$, $\bar{z}_{10}(\lambda)$ adoptées en 1964 par la CIE.

3.17 coordonnées trichromatiques, $r, g, b; x, y, z; x_{10}, y_{10}, z_{10}$; etc.: Rapport de chacune des trois composantes trichromatiques à leur somme.

3.18 coordonnées trichromatiques spectrales, $r(\lambda), g(\lambda), b(\lambda); x(\lambda), y(\lambda), z(\lambda); x_{10}(\lambda), y_{10}(\lambda), z_{10}(\lambda)$; etc.: Coordonnées trichromatiques des stimulus monochromatiques.

3.19 efficacité lumineuse relative spectrale, $V(\lambda)$: Rapport du flux énergétique de la longueur d'onde λ_m au flux de la longueur d'onde λ , les deux rayonnements produisant des sensations lumineuses également intenses dans des conditions photométriques prescrites et λ_m étant choisi de façon que la valeur maximale de ce rapport soit égale à 1.

3.20 diffuseur parfait par réflexion: Diffuseur isotrope idéal dont le facteur de réflexion est égal à 1.

4 Spécifications

4.1 Fonctions colorimétriques

Les fonctions colorimétriques $\bar{x}(\lambda)$, $\bar{y}(\lambda)$, $\bar{z}(\lambda)$ de l'observateur de référence colorimétrique CIE 1931 sont définies par les valeurs données dans le tableau 1, et celles $\bar{x}_{10}(\lambda)$, $\bar{y}_{10}(\lambda)$, $\bar{z}_{10}(\lambda)$ de l'observateur de référence colorimétrique supplémentaire CIE 1964 sont définies par les valeurs données dans le tableau 2. Les valeurs numériques sont données pour des intervalles de longueur d'onde de 1 nm entre 360 nm et 830 nm. Si

des valeurs sont nécessaires pour des intervalles de longueur d'onde plus petits que 1 nm, elles doivent être déterminées par interpolation linéaire.

4.2 Coordonnées trichromatiques spectrales

Les tableaux 1 et 2 donnent aussi les coordonnées trichromatiques spectrales $x(\lambda)$, $y(\lambda)$, $z(\lambda)$; $x_{10}(\lambda)$, $y_{10}(\lambda)$, $z_{10}(\lambda)$; elles ont été obtenues à partir des fonctions colorimétriques appropriées en calculant les rapports:

$$x(\lambda) = \bar{x}(\lambda) / [\bar{x}(\lambda) + \bar{y}(\lambda) + \bar{z}(\lambda)]$$

$$y(\lambda) = \bar{y}(\lambda) / [\bar{x}(\lambda) + \bar{y}(\lambda) + \bar{z}(\lambda)]$$

$$z(\lambda) = \bar{z}(\lambda) / [\bar{x}(\lambda) + \bar{y}(\lambda) + \bar{z}(\lambda)]$$

$$x_{10}(\lambda) = \bar{x}_{10}(\lambda) / [\bar{x}_{10}(\lambda) + \bar{y}_{10}(\lambda) + \bar{z}_{10}(\lambda)]$$

$$y_{10}(\lambda) = \bar{y}_{10}(\lambda) / [\bar{x}_{10}(\lambda) + \bar{y}_{10}(\lambda) + \bar{z}_{10}(\lambda)]$$

$$z_{10}(\lambda) = \bar{z}_{10}(\lambda) / [\bar{x}_{10}(\lambda) + \bar{y}_{10}(\lambda) + \bar{z}_{10}(\lambda)]$$

NOTE — Toutes les longueurs d'onde sont données pour le vide.

5 Détermination des fonctions colorimétriques de l'observateur de référence colorimétrique CIE 1931

5.1 Données expérimentales

Les fonctions colorimétriques CIE 1931, $\bar{x}(\lambda)$, $\bar{y}(\lambda)$, $\bar{z}(\lambda)$ ont été déterminées à partir des travaux expérimentaux effectués par Wright^[6] et par Guild^[7] au cours desquels un total de 17 observateurs ont réalisé des égalisations de stimulus monochromatiques du spectre dans le domaine d'environ 400 nm à 700 nm, avec des mélanges additifs de lumières rouge, verte et bleue, en utilisant un champ visuel d'une étendue angulaire de 2°.

5.2 Méthodes de conversion

Les résultats expérimentaux furent convertis pour être ceux qui auraient été obtenus par égalisation chromatique avec des stimulus de couleur de référence monochromatiques de longueur d'onde de 700 nm pour le rouge [R], 546,1 nm pour le vert [G] et 435,8 nm pour le bleu [B], chacun mesuré avec des unités telles que des quantités égales des stimulus [R], [G] et [B] soient nécessaires pour reproduire le spectre d'égale énergie.

La moyenne des résultats des 17 observateurs fut calculée, puis légèrement ajustée de sorte qu'en ajoutant des proportions convenables des fonctions colorimétriques $\bar{r}(\lambda)$, $\bar{g}(\lambda)$, $\bar{b}(\lambda)$ relatives aux stimulus [R], [G] et [B], il soit possible d'obtenir une fonction identique à celle de l'efficacité lumineuse relative spectrale $V(\lambda)$; les quantités ajoutées le furent dans les rapports 1,000 0 à 4,590 7 à 0,060 1. Ces nombres sont donc les luminances relatives des quantités unitaires des stimulus [R], [G] et [B]. Les fonctions colorimétriques CIE 1931 furent ainsi déterminées par les équations suivantes:

$$\bar{x}(\lambda) = [0,49\bar{r}(\lambda) + 0,31\bar{g}(\lambda) + 0,20\bar{b}(\lambda)]n$$

$$\bar{y}(\lambda) = [0,176\ 97\bar{r}(\lambda) + 0,812\ 40\bar{g}(\lambda) + 0,010\ 63\bar{b}(\lambda)]n$$

$$\bar{z}(\lambda) = [0,00\bar{r}(\lambda) + 0,01\bar{g}(\lambda) + 0,99\bar{b}(\lambda)]n$$

où n est un facteur de normalisation donnée par la relation

$$n = V(\lambda) / [0,176\,97\bar{r}(\lambda) + 0,812\,40\bar{g}(\lambda) + 0,010\,63\bar{b}(\lambda)]$$

n n'est pas une fonction de la longueur d'onde, mais une constante, car les trois coefficients 0,176 97; 0,812 40 et 0,010 63 sont dans les rapports 1,000 0 à 4,590 7 à 0,060 1; n est donc égal à:

$$(1,000\,0 + 4,590\,7 + 0,060\,1) / (0,176\,97 + 0,812\,40 + 0,010\,63) = 5,650\,8$$

Les valeurs de $\bar{x}(\lambda)$, $\bar{y}(\lambda)$, $\bar{z}(\lambda)$ données dans le tableau 1 de 360 nm à 400 nm et de 700 nm à 830 nm sont des extrapolations.

5.3 Propriétés de la transformation

La transformation donnée dans les équations précédentes a été choisie pour satisfaire les desiderata qui suivent. D'abord, que la fonction $\bar{y}(\lambda)$ soit identique à la fonction $V(\lambda)$. Deuxièmement, que les valeurs de $\bar{x}(\lambda)$, $\bar{y}(\lambda)$, $\bar{z}(\lambda)$ soient toujours positives à toutes longueurs d'onde du spectre [contrairement à $\bar{r}(\lambda)$, $\bar{g}(\lambda)$, $\bar{b}(\lambda)$ dont l'une est négative pour la plupart des longueurs d'onde du fait qu'il est nécessaire de désaturer les stimulus monochromatiques quand on les égalise avec des mélanges des stimulus de référence rouge, vert et bleu]. Troisièmement, que les valeurs de $\bar{z}(\lambda)$ soient nulles pour des longueurs d'onde supérieures à 650 nm. Quatrièmement, que les valeurs de $\bar{x}(\lambda)$ soient proches de zéro aux environs de 505 nm. Cinquièmement, que les valeurs de $\bar{x}(\lambda)$ et $\bar{y}(\lambda)$ soient petites à l'extrémité des courtes longueurs d'onde du spectre. Sixièmement enfin, que le spectre d'égalité d'énergie corresponde à des valeurs égales de X , Y et Z .

Du fait que la fonction $\bar{y}(\lambda)$ est identique à la fonction $V(\lambda)$, la composante trichromatique Y est proportionnelle à la luminance.

5.4 Comparaison avec les données antérieures

Les valeurs de $\bar{x}(\lambda)$, $\bar{y}(\lambda)$, $\bar{z}(\lambda)$ données dans le tableau 1 pour le domaine spectral de 380 nm à 780 nm à des intervalles de 5 nm, lorsqu'elles sont arrondies à quatre décimales sont en accord étroit avec les valeurs initiales publiées en 1931. Il existe seulement trois différences mineures; à $\lambda = 775$ nm la nouvelle valeur de $\bar{x}(\lambda)$ est 0,000 1 au lieu de 0,000 0; à $\lambda = 555$ nm $\bar{y}(\lambda) = 1,000 0$ au lieu de 1,000 2 et à $\lambda = 740$ nm $\bar{y}(\lambda) = 0,000 2$ au lieu de 0,000 3. Ces changements sont considérés comme insignifiants dans la plupart des applications en colorimétrie.

Quand les luminances relatives des quantités unitaires de [R], [G] et [B] sont déduites des données du tableau 1, les valeurs obtenues sont dans les rapports 1,000 0 à 4,588 8 à 0,060 3 au lieu de 1,000 0 à 4,590 7 à 0,060 1 et les luminances énergétiques relatives obtenues sont dans les rapports 71,893 8 à 1,374 7 à 1,000 0 au lieu de 72,096 2 à 1,379 1 à 1,000 0. Ces différences sont également considérées comme insignifiantes d'un point de vue pratique.

6 Détermination des fonctions colorimétriques de l'observateur de référence colorimétrique supplémentaire CIE 1964

6.1 Bases expérimentales

Les fonctions colorimétriques CIE 1964, $\bar{x}_{10}(\lambda)$, $\bar{y}_{10}(\lambda)$, $\bar{z}_{10}(\lambda)$ ont été déterminées à partir des travaux expérimentaux effectués par Stiles et Burch^[8] et par Speranskaya^[9] au cours desquels un total de 67 observateurs ont réalisé des égalisations de stimulus monochromatiques du spectre dans le domaine d'environ 390 nm à 830 nm, avec des mélanges additifs de lumières rouge, verte et bleue, en utilisant un champ visuel d'une étendue angulaire de 10° (mais en faisant abstraction de la partie centrale de 4° environ).

6.2 Méthodes de conversion

Les résultats expérimentaux furent convertis pour être ceux qui auraient été obtenus par égalisation chromatique avec des stimulus de couleur de référence monochromatiques de nombre d'ondes (ν) 15 500 cm^{-1} pour le rouge [R₁₀], 19 000 cm^{-1} pour le vert [G₁₀] et 22 500 cm^{-1} pour le bleu [B₁₀], correspondant approximativement aux longueurs d'ondes 645,2 nm, 526,3 nm et 444,4 nm respectivement. Les unités employées pour les grandeurs [R₁₀], [G₁₀] et [B₁₀] étaient telles que des quantités égales étaient nécessaires pour reproduire le spectre d'égalité d'énergie. Une moyenne pondérée des résultats des 67 observateurs fut calculée de façon à fournir un ensemble de fonctions colorimétriques $\bar{r}_{10}(\nu)$, $\bar{g}_{10}(\nu)$, $\bar{b}_{10}(\nu)$. Les fonctions colorimétriques CIE 1964 furent ensuite déterminées par les équations suivantes:

$$\bar{x}_{10}(\nu) = 0,341\,080\bar{r}_{10}(\nu) + 0,189\,145\bar{g}_{10}(\nu) + 0,387\,529\bar{b}_{10}(\nu)$$

$$\bar{y}_{10}(\nu) = 0,139\,058\bar{r}_{10}(\nu) + 0,837\,460\bar{g}_{10}(\nu) + 0,073\,316\bar{b}_{10}(\nu)$$

$$\bar{z}_{10}(\nu) = 0,000\,000\bar{r}_{10}(\nu) + 0,039\,553\bar{g}_{10}(\nu) + 2,026\,200\bar{b}_{10}(\nu)$$

Le tableau 2 donne les fonctions colorimétriques CIE 1964 $\bar{x}_{10}(\lambda)$, $\bar{y}_{10}(\lambda)$, $\bar{z}_{10}(\lambda)$ sur une base de longueurs d'onde obtenues par interpolation des fonctions des fréquences données plus haut. Les valeurs du domaine de longueurs d'onde de 360 nm à 390 nm sont des extrapolations.

6.3 Propriétés de la transformation

La transformation donnée dans les équations en 6.2 a été choisie pour obtenir un système colorimétrique (X_{10} , Y_{10} , Z_{10}) ayant d'une façon générale une allure semblable à celle du système CIE 1931 (X , Y , Z). Cependant, dans le système 1964, les données ne sont pas soumises à la contrainte de satisfaire à la fonction d'efficacité lumineuse relative spectrale $V(\lambda)$ et donc la composante trichromatique Y_{10} n'est pas proportionnelle à la luminance.

6.4 Comparaison avec les données antérieures

Les valeurs données dans le tableau 2 sont les mêmes que celles données dans la Publication CIE 15 (1971).

7 Applications pratiques des fonctions colorimétriques des observateurs de référence colorimétriques CIE

7.1 Obtention des composantes trichromatiques

Les données des tableaux 1 et 2 fournissent les composantes trichromatiques et les coordonnées trichromatiques de tous les stimulus monochromatiques, soit directement, soit à l'aide d'une interpolation. Pour des stimulus composés de rayonnements de longueurs d'onde variées, les composantes trichromatiques X , Y , Z et X_{10} , Y_{10} , Z_{10} sont calculables par intégration sur tout le domaine spectral de 360 nm à 830 nm en utilisant les équations suivantes :

$$X = k \int_{\lambda} \varphi_{\lambda}(\lambda) \bar{x}(\lambda) d\lambda \quad X_{10} = k_{10} \int_{\lambda} \varphi_{\lambda}(\lambda) \bar{x}_{10}(\lambda) d\lambda$$

$$Y = k \int_{\lambda} \varphi_{\lambda}(\lambda) \bar{y}(\lambda) d\lambda \quad Y_{10} = k_{10} \int_{\lambda} \varphi_{\lambda}(\lambda) \bar{y}_{10}(\lambda) d\lambda$$

$$Z = k \int_{\lambda} \varphi_{\lambda}(\lambda) \bar{z}(\lambda) d\lambda \quad Z_{10} = k_{10} \int_{\lambda} \varphi_{\lambda}(\lambda) \bar{z}_{10}(\lambda) d\lambda$$

où

$\varphi_{\lambda}(\lambda)$ est la courbe du stimulus de couleur considéré;

$\bar{x}(\lambda)$, $\bar{y}(\lambda)$, $\bar{z}(\lambda)$, $\bar{x}_{10}(\lambda)$, $\bar{y}_{10}(\lambda)$, $\bar{z}_{10}(\lambda)$ sont les fonctions colorimétriques appropriées;

k et k_{10} sont des constantes.

Les composantes trichromatiques sont d'ordinaire évaluées de façon relative et les constantes k et k_{10} sont de ce fait choisies selon des conventions habituelles; il est, cependant, essentiel que, pour des stimulus qui doivent être considérés ensemble, on adopte la même valeur de k (ou de k_{10}), de sorte que toutes les composantes trichromatiques en cause soient jugées sur la même base. Pour des couleurs d'objets réfléchissants, k et k_{10} doivent être choisis pour que Y et Y_{10} soient égaux à 100 pour le diffuseur parfait par réflexion, et, pour des couleurs d'objets qui transmettent la lumière, ce choix doit être fait pour que Y et Y_{10} soient égaux à 100 pour le diffuseur parfait par transmission. Dans le cas de sources lumineuses primaires, s'il est

nécessaire que Y soit égal à la valeur absolue d'une grandeur photométrique, k doit être égal à K_m , l'efficacité lumineuse spectrale maximale (qui est 683 lm/W) et $\varphi_{\lambda}(\lambda)$ doit alors être la densité spectrale de la grandeur énergétique correspondant à la grandeur photométrique cherchée.

7.2 Base de la méthode d'intégration

L'étape d'intégration citée dans les équations données en 7.1 implique l'additivité des égalisations colorimétriques: c'est-à-dire que si deux stimulus de couleur $[C_1]$ et $[C_2]$ ont des composantes trichromatiques X_1 , Y_1 , Z_1 et X_2 , Y_2 , Z_2 , respectivement, alors le mélange additif de $[C_1]$ et de $[C_2]$ doit avoir les composantes trichromatiques $X_1 + X_2$, $Y_1 + Y_2$, $Z_1 + Z_2$. Bien que cette additivité soit parfois en défaut, les recherches expérimentales ont montré que le principe d'additivité est suffisamment valide pour prédire les égalisations colorimétriques dans la plupart des situations envisagées par la colorimétrie.

7.3 Activité des bâtonnets

Les composantes trichromatiques du système de référence colorimétrique supplémentaire CIE 1964 sont valables seulement dans des conditions d'observation pour lesquelles les luminances sont suffisamment élevées et les répartitions spectrales d'énergie telles qu'il n'y a pas lieu de s'attendre à une participation significative des récepteurs rétiniens de type bâtonnets.

7.4 Emploi de données réduites

Dans la plupart des applications en colorimétrie, il est suffisant d'utiliser des valeurs des fonctions colorimétriques à des intervalles de longueurs d'onde moindres que 1 nm et s'étendant dans un domaine plus réduit que de 360 nm à 830 nm, et en recourant à moins de décimales qu'il n'en figure dans les tableaux 1 et 2. Des données et des recommandations facilitant une telle pratique sont fournies dans la Publication CIE 15.2 ainsi que diverses autres méthodes recommandées pour la colorimétrie usuelle.

7.5 Étalon de réflexion

Le diffuseur parfait par réflexion est l'étalon de référence CIE pour la colorimétrie des matériaux réfléchissants.

Tableau 1 — Fonctions colorimétriques et coordonnées trichromatiques de l'observateur de référence colorimétrique CIE 1931

Longueur d'onde, λ nm	Fonctions colorimétriques CIE			Coordonnées trichromatiques		
	$\bar{x}(\lambda)$	$\bar{y}(\lambda)$	$\bar{z}(\lambda)$	$x(\lambda)$	$y(\lambda)$	$z(\lambda)$
360	0.000 129 900 0	0.000 003 917 000	0.000 606 100 0	0.175 56	0.005 29	0.819 15
61	0.000 145 847 0	0.000 004 393 581	0.000 680 879 2	0.175 48	0.005 29	0.819 23
62	0.000 163 802 1	0.000 004 929 604	0.000 765 145 6	0.175 40	0.005 28	0.819 32
63	0.000 184 003 7	0.000 005 532 136	0.000 860 012 4	0.175 32	0.005 27	0.819 41
64	0.000 206 690 2	0.000 006 208 245	0.000 966 592 8	0.175 24	0.005 26	0.819 50
365	0.000 232 100 0	0.000 006 965 000	0.001 086 000	0.175 16	0.005 26	0.819 58
66	0.000 260 728 0	0.000 007 813 219	0.001 220 586	0.175 09	0.005 25	0.819 66
67	0.000 293 075 0	0.000 008 767 336	0.001 372 729	0.175 01	0.005 24	0.819 75
68	0.000 329 388 0	0.000 009 839 844	0.001 543 579	0.174 94	0.005 23	0.819 83
69	0.000 369 914 0	0.000 011 043 23	0.001 734 286	0.174 88	0.005 22	0.819 90
370	0.000 414 900 0	0.000 012 390 00	0.001 946 000	0.174 82	0.005 22	0.819 96
71	0.000 464 158 7	0.000 013 886 41	0.002 177 777	0.174 77	0.005 23	0.820 00
72	0.000 518 986 0	0.000 015 557 28	0.002 435 809	0.174 72	0.005 24	0.820 04
73	0.000 581 854 0	0.000 017 442 96	0.002 731 953	0.174 66	0.005 24	0.820 10
74	0.000 655 234 7	0.000 019 583 75	0.003 078 064	0.174 59	0.005 22	0.820 19
375	0.000 741 600 0	0.000 022 020 00	0.003 486 000	0.174 51	0.005 18	0.820 31
76	0.000 845 029 6	0.000 024 839 65	0.003 975 227	0.174 41	0.005 13	0.820 46
77	0.000 964 526 8	0.000 028 041 26	0.004 540 880	0.174 31	0.005 07	0.820 62
78	0.001 094 949	0.000 031 531 04	0.005 158 320	0.174 22	0.005 02	0.820 76
79	0.001 231 154	0.000 035 215 21	0.005 802 907	0.174 16	0.004 98	0.820 86
380	0.001 368 000	0.000 039 000 00	0.006 450 001	0.174 11	0.004 96	0.820 93
81	0.001 502 050	0.000 042 826 40	0.007 083 216	0.174 09	0.004 96	0.820 95
82	0.001 642 328	0.000 046 914 60	0.007 745 488	0.174 07	0.004 97	0.820 96
83	0.001 802 382	0.000 051 589 60	0.008 501 152	0.174 06	0.004 98	0.820 96
84	0.001 995 757	0.000 057 176 40	0.009 414 544	0.174 04	0.004 98	0.820 98
385	0.002 236 000	0.000 064 000 00	0.010 549 9991	0.174 01	0.004 98	0.821 01
86	0.002 535 385	0.000 072 344 21	0.011 965 80	0.173 97	0.004 97	0.821 06
87	0.002 892 603	0.000 082 212 24	0.013 655 87	0.173 93	0.004 94	0.821 13
88	0.003 300 829	0.000 093 508 16	0.015 588 05	0.173 89	0.004 93	0.821 18
89	0.003 753 236	0.000 106 136 1	0.017 730 15	0.173 84	0.004 92	0.821 24
390	0.004 243 000	0.000 120 000 0	0.020 050 01	0.173 80	0.004 92	0.821 28
91	0.004 762 389	0.000 134 984 0	0.022 511 36	0.173 76	0.004 92	0.821 32
92	0.005 330 048	0.000 151 492 0	0.025 202 88	0.173 70	0.004 94	0.821 36
93	0.005 978 712	0.000 170 208 0	0.028 279 72	0.173 66	0.004 94	0.821 40
94	0.006 741 117	0.000 191 816 0	0.031 897 04	0.173 61	0.004 94	0.821 45
395	0.007 650 000	0.000 217 000 0	0.036 210 00	0.173 56	0.004 92	0.821 52
96	0.008 751 373	0.000 246 906 7	0.041 437 71	0.173 51	0.004 90	0.821 59
97	0.010 028 88	0.000 281 240 0	0.047 503 72	0.173 47	0.004 86	0.821 67
98	0.011 421 70	0.000 318 520 0	0.054 119 88	0.173 42	0.004 84	0.821 74
99	0.012 869 01	0.000 357 266 7	0.060 998 03	0.173 38	0.004 81	0.821 81
400	0.014 310 00	0.000 396 000 0	0.067 850 01	0.173 34	0.004 80	0.821 86
01	0.015 704 43	0.000 433 714 7	0.074 486 32	0.173 29	0.004 79	0.821 92
02	0.017 147 44	0.000 473 024 0	0.081 361 56	0.173 24	0.004 78	0.821 98
03	0.018 781 22	0.000 517 876 0	0.089 153 64	0.173 17	0.004 78	0.822 05
04	0.020 748 01	0.000 572 218 7	0.098 540 48	0.173 10	0.004 77	0.822 13
405	0.023 190 00	0.000 640 000 0	0.110 200 0	0.173 02	0.004 78	0.822 20
06	0.026 207 36	0.000 724 560 0	0.124 613 3	0.172 93	0.004 78	0.822 29
07	0.029 782 48	0.000 825 500 0	0.141 701 7	0.172 84	0.004 79	0.822 37
08	0.033 880 92	0.000 941 160 0	0.161 303 5	0.172 75	0.004 80	0.822 45
09	0.038 468 24	0.001 069 880	0.183 256 8	0.172 66	0.004 80	0.822 54

Tableau 1 — (suite)

Longueur d'onde, λ nm	Fonctions colorimétriques CIE			Coordonnées trichromatiques		
	$\bar{x}(\lambda)$	$\bar{y}(\lambda)$	$\bar{z}(\lambda)$	$x(\lambda)$	$y(\lambda)$	$z(\lambda)$
410	0.043 510 00	0.001 210 000	0.207 400 0	0.172 58	0.004 80	0.822 62
11	0.048 995 60	0.001 362 091	0.233 692 1	0.172 49	0.004 80	0.822 71
12	0.055 022 60	0.001 530 752	0.262 611 4	0.172 39	0.004 80	0.822 81
13	0.061 718 80	0.001 720 368	0.294 774 6	0.172 30	0.004 80	0.822 90
14	0.069 212 00	0.001 935 323	0.330 798 5	0.172 19	0.004 82	0.822 99
415	0.077 630 00	0.002 180 000	0.371 300 0	0.172 09	0.004 83	0.823 08
16	0.086 958 11	0.002 454 800	0.416 209 1	0.171 98	0.004 86	0.823 16
17	0.097 176 72	0.002 764 000	0.465 464 2	0.171 87	0.004 89	0.823 24
18	0.108 406 3	0.003 117 800	0.519 694 8	0.171 74	0.004 94	0.823 32
19	0.120 767 2	0.003 526 400	0.579 530 3	0.171 59	0.005 01	0.823 40
420	0.134 380 0	0.004 000 000	0.645 600 0	0.171 41	0.005 10	0.823 49
21	0.149 358 2	0.004 546 240	0.718 483 8	0.171 21	0.005 21	0.823 58
22	0.165 395 7	0.005 159 320	0.796 713 3	0.170 99	0.005 33	0.823 68
23	0.181 983 1	0.005 829 280	0.877 845 9	0.170 77	0.005 47	0.823 76
24	0.198 611 0	0.006 546 160	0.959 439 0	0.170 54	0.005 62	0.823 84
425	0.214 770 0	0.007 300 000	1.039 050 1	0.170 30	0.005 79	0.823 91
26	0.230 186 8	0.008 086 507	1.115 367 3	0.170 05	0.005 97	0.823 98
27	0.244 879 7	0.008 908 720	1.188 497 1	0.169 78	0.006 18	0.824 04
28	0.258 777 3	0.009 767 680	1.258 123 3	0.169 50	0.006 40	0.824 10
29	0.271 807 9	0.010 664 43	1.323 929 6	0.169 20	0.006 64	0.824 16
430	0.283 900 0	0.011 600 00	1.385 600 0	0.168 88	0.006 90	0.824 22
31	0.294 943 8	0.012 573 17	1.442 635 2	0.168 53	0.007 18	0.824 29
32	0.304 896 5	0.013 582 72	1.494 803 5	0.168 15	0.007 49	0.824 36
33	0.313 787 3	0.014 629 68	1.542 190 3	0.167 75	0.007 82	0.824 43
34	0.321 645 4	0.015 715 09	1.584 880 7	0.167 33	0.008 17	0.824 50
435	0.328 500 0	0.016 840 00	1.622 960 0	0.166 90	0.008 55	0.824 55
36	0.334 351 3	0.018 007 36	1.656 404 8	0.166 45	0.008 96	0.824 59
37	0.339 210 1	0.019 214 48	1.685 295 9	0.165 98	0.009 40	0.824 62
38	0.343 121 3	0.020 453 92	1.709 874 5	0.165 48	0.009 87	0.824 65
39	0.346 129 6	0.021 718 24	1.730 382 1	0.164 96	0.010 35	0.824 69
440	0.348 280 0	0.023 000 00	1.747 060 0	0.164 41	0.010 86	0.824 73
41	0.349 599 9	0.024 294 61	1.760 044 6	0.163 83	0.011 38	0.824 79
42	0.350 147 4	0.025 610 24	1.769 623 3	0.163 21	0.011 94	0.824 85
43	0.350 013 0	0.026 958 57	1.776 263 7	0.162 55	0.012 52	0.824 93
44	0.349 287 0	0.028 351 25	1.780 433 4	0.161 85	0.013 14	0.825 01
445	0.348 060 0	0.029 800 00	1.782 600 0	0.161 11	0.013 79	0.825 10
46	0.346 373 3	0.031 310 83	1.782 968 2	0.160 31	0.014 49	0.825 20
47	0.344 262 4	0.032 883 68	1.781 699 8	0.159 47	0.015 23	0.825 30
48	0.341 808 8	0.034 521 12	1.779 198 2	0.158 57	0.016 02	0.825 41
49	0.339 094 1	0.036 225 71	1.775 867 1	0.157 63	0.016 84	0.825 53
450	0.336 200 0	0.038 000 00	1.772 110 0	0.156 64	0.017 71	0.825 65
51	0.333 197 7	0.039 846 67	1.768 258 9	0.155 60	0.018 61	0.825 79
52	0.330 041 1	0.041 768 00	1.764 039 0	0.154 52	0.019 56	0.825 92
53	0.326 635 7	0.043 766 00	1.758 943 8	0.153 40	0.020 55	0.826 05
54	0.322 886 8	0.045 842 67	1.752 466 3	0.152 22	0.021 61	0.826 17
455	0.318 700 0	0.048 000 00	1.744 100 0	0.150 99	0.022 74	0.826 27
56	0.314 025 1	0.050 243 68	1.733 559 5	0.149 69	0.023 95	0.826 36
57	0.308 884 0	0.052 573 04	1.720 858 1	0.148 34	0.025 25	0.826 41
58	0.303 290 4	0.054 980 56	1.705 936 9	0.146 93	0.026 63	0.826 44
59	0.297 257 9	0.057 458 72	1.688 737 2	0.145 47	0.028 12	0.826 41