
Observateurs de référence colorimétriques CIE

CIE standard colorimetric observers

iTeh STANDARD PREVIEW
(standards.iteh.ai)
Full standard:
<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/2b216a05-7647-4056-a7a6-fa635f9e23ce/iso-10527-2007>



PDF – Exonération de responsabilité

Le présent fichier PDF peut contenir des polices de caractères intégrées. Conformément aux conditions de licence d'Adobe, ce fichier peut être imprimé ou visualisé, mais ne doit pas être modifié à moins que l'ordinateur employé à cet effet ne bénéficie d'une licence autorisant l'utilisation de ces polices et que celles-ci y soient installées. Lors du téléchargement de ce fichier, les parties concernées acceptent de fait la responsabilité de ne pas enfreindre les conditions de licence d'Adobe. Le Secrétariat central de l'ISO décline toute responsabilité en la matière.

Adobe est une marque déposée d'Adobe Systems Incorporated.

Les détails relatifs aux produits logiciels utilisés pour la création du présent fichier PDF sont disponibles dans la rubrique General Info du fichier; les paramètres de création PDF ont été optimisés pour l'impression. Toutes les mesures ont été prises pour garantir l'exploitation de ce fichier par les comités membres de l'ISO. Dans le cas peu probable où surviendrait un problème d'utilisation, veuillez en informer le Secrétariat central à l'adresse donnée ci-dessous.

iTeh STANDARD PREVIEW
(standards.iteh.ai)
Full standard:
<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/2b216a05-7647-4056-a7a6-fa635f9e23ce/iso-10527-2007>



DOCUMENT PROTÉGÉ PAR COPYRIGHT

© ISO 2007

Droits de reproduction réservés. Sauf prescription différente, 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'ISO à l'adresse ci-après ou du comité membre de l'ISO dans le pays du demandeur.

ISO copyright office
Case postale 56 • CH-1211 Geneva 20
Tel. + 41 22 749 01 11
Fax. + 41 22 749 09 47
E-mail copyright@iso.org
Web www.iso.org

Publié 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.

L'ISO 10527 a été préparée en tant que Norme CIE S 014-1/F 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 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.

L'ISO 10527 a été élaborée par la Division 2 de la CIE, *Mesures physiques de la lumière et des radiations*.

L'ISO 10527 annule et remplace l'ISO/CIE 10527:1991.

L'ISO 10527 n'apporte que des modifications mineures par rapport à l'édition précédente, en particulier les valeurs des tables pour les fonctions colorimétriques et les coordonnées trichromatiques des observateurs CIE 1931 et 1964 de référence pour la colorimétrie sont identiques à celles de la norme précédente, mais il a été précisé qu'elles sont maintenant relatives à l'air normalisé.

iTeh STANDARD PREVIEW
(standards.iteh.ai)

Full standard:
<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/2b216a05-7647-4056-a7a6-fa635f9e23ce/iso-10527-2007>



Norme

COMMISSION INTERNATIONALE DE L'ÉCLAIRAGE
INTERNATIONAL COMMISSION ON ILLUMINATION
INTERNATIONALE BELEUCHTUNGSKOMMISSION

CIE S 014-1/F:2007

Colorimétrie - Partie 1: Observateurs CIE de référence pour la colorimétrie

Colorimetry - Part 1: CIE Standard Colorimetric Observers

Farbmessung - Teil 1: CIE farbmétrische Normalbeobachter

Les normes CIE sont protégées par le copyright et ne doivent pas être reproduites sous quelque forme que ce soit, entièrement ou partiellement, sans l'accord explicite de la CIE.

CIE Central Bureau, Vienna
Kegelgasse 27, A-1030 Vienna, Austria

CIE S 014-1/F:2007

UDC: 535.6.08

Descripteur: Colorimétrie, données de référence

iTeh STANDARD PREVIEW
(standards.iteh.ai)
Full standard:
<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/2b216a05-7647-4056-a7a6-fa635f9e23ce/iso-10527-2007>

© CIE, 2007

Tous droits réservés. Sauf mention contraire, aucune partie de cette publication ne peut être reproduite ou utilisée sous quelque forme que ce soit, ni par quelque moyen que ce soit, électronique ou mécanique, y compris la photocopie et le microfilm, sans l'autorisation du Bureau Central de la CIE obtenue en écrivant à l'adresse ci-dessous.

CIE Central Bureau
Kegelgasse 27
A-1030 Vienna
Austria
Tel.: +43 1 714 3187 0
Fax: +43 1 714 3187 18
e-mail: ciecb@cie.co.at
Web: www.cie.co.at/

AVANT-PROPOS

Les normes élaborées par la Commission Internationale de l'Eclairage (CIE) constituent des documents d'information concis, caractérisant la lumière et l'éclairage, pour lesquels l'harmonisation internationale nécessite des définitions de référence. Les normes CIE fournissent ainsi une source première d'informations, internationalement reconnues et acceptées, pouvant être introduites pratiquement sans modification dans des ensembles de normes universelles.

Cette Norme CIE remplace la norme ISO/CIE 10527:1991 et a été approuvée par le Bureau de la CIE et par les Comités nationaux de la CIE. Cette norme CIE a été préparée par la Division 2 de la CIE "Physical measurement of light and radiation".

Cette norme n'apporte que des modifications mineures à la norme précédente, en particulier les valeurs des tables pour les fonctions colorimétriques et les coordonnées trichromatiques des observateurs CIE 1931 et 1964 de référence pour la colorimétrie sont identiques à celles de la norme précédente, mais il a été précisé qu'elles sont maintenant relatives à l'air normalisé.

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	III
INTRODUCTION	1
1. DOMAINE D'APPLICATION	1
2. RÉFÉRENCES NORMATIVES	1
3. DÉFINITIONS	1
4. SPÉCIFICATIONS	3
4.1 Fonctions colorimétriques	3
4.2 Coordonnées trichromatiques spectrales	3
5. DÉTERMINATION DES FONCTIONS COLORIMÉTRIQUES DE L'OBSERVATEUR CIE 1931 DE RÉFÉRENCE POUR LA COLORIMÉTRIE	4
5.1 Données expérimentales	4
5.2 Méthodes de conversion	4
5.3 Propriétés de la transformation	4
5.4 Comparaison avec les données antérieures	5
6. DÉTERMINATION DES FONCTIONS COLORIMÉTRIQUES DE L'OBSERVATEUR CIE 1964 DE RÉFÉRENCE POUR LA COLORIMÉTRIE	5
6.1 Données expérimentales	5
6.2 Méthodes de conversion	5
6.3 Propriétés de la transformation	6
6.4 Comparaison avec les données antérieures	6
7. APPLICATIONS PRATIQUES DES FONCTIONS COLORIMÉTRIQUES DES OBSERVATEURS CIE DE RÉFÉRENCE POUR LA COLORIMÉTRIE	6
7.1 Obtention des composantes trichromatiques	6
7.2 Base de la méthode d'intégration	6
7.3 Activité des bâtonnets	7
7.4 Emploi de données réduites	7
7.5 Etalon de réflexion	7
TABLEAU 1. FONCTIONS COLORIMÉTRIQUES ET COORDONNÉES TRICHROMATIQUES DE L'OBSERVATEUR CIE 1931 DE RÉFÉRENCE POUR LA COLORIMÉTRIE	8
TABLEAU 2. FONCTIONS COLORIMÉTRIQUES ET COORDONNÉES TRICHROMATIQUES DE L'OBSERVATEUR CIE 1964 DE RÉFÉRENCE POUR LA COLORIMÉTRIE	19
ANNEXE: BIBLIOGRAPHIE (INFORMATIVE)	30

iTeh STANDARD PREVIEW
(standards.iteh.ai)

Full standard:
<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/2b216a05-7647-4056-a7a6-fa635f9e23ce/iso-10527-2007>

COLORIMÉTRIE - PARTIE 1: OBSERVATEURS CIE DE RÉFÉRENCE POUR LA COLORIMÉTRIE

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 visuelles 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.

1. DOMAINE D'APPLICATION

La présente Norme internationale définit des fonctions colorimétriques pour leur emploi en colorimétrie. Deux ensembles de fonctions colorimétriques sont définis.

a) Fonctions colorimétriques de l'observateur CIE 1931 de référence pour la colorimétrie

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 environ 4° et pour une vision adaptée au niveau photopique.

b) Fonctions colorimétriques de l'observateur CIE 1964 de référence pour la colorimétrie

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 supérieure 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 rétiens.

2. RÉFÉRENCES NORMATIVES

Les documents de référence suivants sont indispensables pour l'application du présent document. Pour les références datées, seule l'édition citée s'applique. Pour les références non datées, la dernière édition du document de référence s'applique (y compris les éventuels amendements).

CIE 15:2004. *Colorimetry*, 3^{ème} édition.

CIE 17.4:1987. *Vocabulaire International de l'Éclairage* (ILV) - Publication commune IEC/CIE.

3. DÉFINITIONS

Pour les besoins de la présente Norme internationale, les définitions suivantes s'appliquent. Ces définitions sont extraites de la Publication CIE 17.4:1987, où d'autres termes connexes peuvent également être trouvés.

3.1 courbe spectrale d'un stimulus de couleur, $\varphi_\lambda(\lambda)$ (voir ILV 845-03-03)

description d'un stimulus de couleur par la densité spectrale d'une grandeur énergétique (telle que la radiance ou le flux énergétique) en fonction de la longueur d'onde

3.2 courbe spectrale relative d'un stimulus de couleur, $\varphi(\lambda)$ (voir ILV 845-03-04)

répartition spectrale relative d'énergie de la courbe spectrale d'un stimulus de couleur

3.3 stimulus de couleur métamères; métamères (voir ILV 845-03-05)

stimulus de couleur de compositions spectrales différentes qui ont les mêmes composantes trichromatiques

3.4 stimulus monochromatique; stimulus spectral (voir ILV 845-03-08)

stimulus composé d'un rayonnement monochromatique

3.5 spectre d'égale énergie; spectre équiénergétique (voir ILV 845-03-14)

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 (voir ILV 845-03-15)

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 (voir ILV 845-03-16)

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 (voir ILV 845-03-20)

système de spécification des stimulus de couleur par des composantes trichromatique, 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. (voir ILV 845-03-21)

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. (voir ILV 845-03-22)

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. (voir ILV 845-03-23)

composantes trichromatiques de stimulus monochromatiques de même flux énergétique

3.12 système de référence colorimétrique CIE 1931 (X, Y, Z) (voir ILV 845-03-28)

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 $\bar{x}(\lambda)$, $\bar{y}(\lambda)$, $\bar{z}(\lambda)$ adoptées en 1931 par la CIE et définies dans cette norme

3.13 système de référence colorimétrique CIE 1964 (X₁₀, Y₁₀, Z₁₀) (voir ILV 845-03-29)

système permettant l'évaluation des composantes trichromatiques d'une répartition spectrale d'énergie quelconque en utilisant l'ensemble des stimulus de couleur de référence [X₁₀], [Y₁₀], [Z₁₀] et les trois fonctions colorimétriques CIE $\bar{x}_{10}(\lambda)$, $\bar{y}_{10}(\lambda)$, $\bar{z}_{10}(\lambda)$ adoptées en 1964 par la CIE et définies dans cette norme

3.14 fonctions colorimétriques CIE (voir ILV 845-03-30)

fonctions colorimétriques $\bar{x}(\lambda)$, $\bar{y}(\lambda)$, $\bar{z}(\lambda)$ dans le système de référence colorimétrique CIE 1931 et $\bar{x}_{10}(\lambda)$, $\bar{y}_{10}(\lambda)$, $\bar{z}_{10}(\lambda)$ dans le système de référence colorimétrique CIE 1964

3.15 observateur de référence pour la colorimétrie CIE 1931 (voir ILV 845-03-31)

observateur idéal dont les propriétés colorimétriques sont conformes aux fonctions colorimétriques CIE $\bar{x}(\lambda)$, $\bar{y}(\lambda)$, $\bar{z}(\lambda)$

3.16 observateur de référence pour la colorimétrie CIE 1964 (voir ILV 845-03-32)

observateur idéal dont les propriétés colorimétriques sont conformes aux fonctions colorimétriques CIE $\bar{x}_{10}(\lambda)$, $\bar{y}_{10}(\lambda)$, $\bar{z}_{10}(\lambda)$

3.17 coordonnées trichromatiques, r , g , b ; x , y , z ; x_{10} , y_{10} , z_{10} ; etc. (voir ILV 845-03-33)

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. (voir ILV 845-03-36)

coordonnées trichromatiques des stimulus monochromatiques

3.19 efficacité lumineuse relative spectrale, $V(\lambda)$ (voir ILV 845-01-22)

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 spécifiées et λ_m étant choisi de façon que la valeur maximale de ce rapport soit égale à 1

3.20 diffuseur parfait par réflexion (voir ILV 845-04-54)

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 CIE 1931 de référence pour la colorimétrie 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 CIE 1964 de référence pour la colorimétrie 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 de 360 nm à 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:

$$x(\lambda) = \frac{\bar{x}(\lambda)}{\bar{x}(\lambda) + \bar{y}(\lambda) + \bar{z}(\lambda)}, \quad y(\lambda) = \frac{\bar{y}(\lambda)}{\bar{x}(\lambda) + \bar{y}(\lambda) + \bar{z}(\lambda)} \quad \text{et} \quad z(\lambda) = \frac{\bar{z}(\lambda)}{\bar{x}(\lambda) + \bar{y}(\lambda) + \bar{z}(\lambda)}$$

$$x_{10}(\lambda) = \frac{\bar{x}_{10}(\lambda)}{\bar{x}_{10}(\lambda) + \bar{y}_{10}(\lambda) + \bar{z}_{10}(\lambda)}, \quad y_{10}(\lambda) = \frac{\bar{y}_{10}(\lambda)}{\bar{x}_{10}(\lambda) + \bar{y}_{10}(\lambda) + \bar{z}_{10}(\lambda)} \quad \text{et}$$

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

Note: Toutes les longueurs d'onde sont données pour l'air normalisé.

5. DÉTERMINATION DES FONCTIONS COLORIMÉTRIQUES DE L'OBSERVATEUR CIE 1931 DE RÉFÉRENCE POUR LA COLORIMÉTRIE

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 (1928-1930) et par Guild (1931) 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'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 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], [B], il soit possible d'obtenir une fonction identique à celle de l'efficacité lumineuse relative spectrale CIE $V(\lambda)$; les quantités ajoutées le furent dans les rapports 1,000 0; 4,590 7 et 0,060 1, ces nombres étant les luminances relatives des quantités unitaires des stimulus [R], [G] et [B]. Les fonctions colorimétriques CIE 1931 furent ainsi déterminées par les équations suivantes:

$$\begin{aligned}\bar{x}(\lambda) &= [0,49\bar{r}(\lambda) + 0,31\bar{g}(\lambda) + 0,20\bar{b}(\lambda)] n \\ \bar{y}(\lambda) &= [0,176\,97\bar{r}(\lambda) + 0,812\,40\bar{g}(\lambda) + 0,010\,63\bar{b}(\lambda)] n \\ \bar{z}(\lambda) &= [0,00\bar{r}(\lambda) + 0,01\bar{g}(\lambda) + 0,99\bar{b}(\lambda)] n\end{aligned}$$

où n est une constante de normalisation donnée par la relation

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

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

$$\frac{1,000\,0 + 4,590\,7 + 0,060\,1}{0,176\,97 + 0,812\,40 + 0,010\,63} = 5,650\,8$$

Les valeurs de $\bar{x}(\lambda)$, $\bar{y}(\lambda)$, $\bar{z}(\lambda)$ figurant 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 les 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 faut désaturer les stimulus monochromatiques quand on les égalise avec des stimulus de référence rouge, vert et bleu). Troisièmement, que les valeurs de $\bar{z}(\lambda)$ soient nulles pour les 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, que le spectre d'égale énergie corresponde à des valeurs égales de X, Y et Z.