

## Conditions d'utilisation des contenus du Conservatoire numérique

1- Le Conservatoire numérique communément appelé le Cnum constitue une base de données, produite par le Conservatoire national des arts et métiers et protégée au sens des articles L341-1 et suivants du code de la propriété intellectuelle. La conception graphique du présent site a été réalisée par Eclydre ([www.eclydre.fr](http://www.eclydre.fr)).

2- Les contenus accessibles sur le site du Cnum sont majoritairement des reproductions numériques d'œuvres tombées dans le domaine public, provenant des collections patrimoniales imprimées du Cnam.

Leur réutilisation s'inscrit dans le cadre de la loi n° 78-753 du 17 juillet 1978 :

- la réutilisation non commerciale de ces contenus est libre et gratuite dans le respect de la législation en vigueur ; la mention de source doit être maintenue ([Cnum - Conservatoire numérique des Arts et Métiers - https://cnum.cnam.fr](https://cnum.cnam.fr))
- la réutilisation commerciale de ces contenus doit faire l'objet d'une licence. Est entendue par réutilisation commerciale la revente de contenus sous forme de produits élaborés ou de fourniture de service.

3- Certains documents sont soumis à un régime de réutilisation particulier :

- les reproductions de documents protégés par le droit d'auteur, uniquement consultables dans l'enceinte de la bibliothèque centrale du Cnam. Ces reproductions ne peuvent être réutilisées, sauf dans le cadre de la copie privée, sans l'autorisation préalable du titulaire des droits.

4- Pour obtenir la reproduction numérique d'un document du Cnum en haute définition, contacter [cnum\(at\)cnam.fr](mailto:cnum(at)cnam.fr)

5- L'utilisateur s'engage à respecter les présentes conditions d'utilisation ainsi que la législation en vigueur. En cas de non respect de ces dispositions, il est notamment possible d'une amende prévue par la loi du 17 juillet 1978.

6- Les présentes conditions d'utilisation des contenus du Cnum sont régies par la loi française. En cas de réutilisation prévue dans un autre pays, il appartient à chaque utilisateur de vérifier la conformité de son projet avec le droit de ce pays.

## NOTICE BIBLIOGRAPHIQUE

NOTICE DE LA REVUE	
Auteur(s) ou collectivité(s)	Laboratoire d'essais mécaniques physiques chimiques et de machines du Conservatoire national des Arts et Métiers
Auteur(s)	Laboratoire d'essais mécaniques physiques chimiques et de machines du Conservatoire national des Arts et Métiers
Titre	Publication : Laboratoire d'essais
Adresse	Paris : Conservatoire national des arts et métiers, 193.-195.
Nombre de volumes	125
Cote	CNAM-BIB P 1329-B et P 1329-C
Sujet(s)	Conservatoire national des arts et métiers (France) Génie industriel -- 20e siècle
Note	La collection comporte des lacunes : n°24; n°58; n°63; n°67; n°76-n°77
Notice complète	<a href="https://www.sudoc.abes.fr/cbs//DB=2.1/SET=17/TTL=3/REL?PPN=261820893&amp;RELTYPE=NT">https://www.sudoc.abes.fr/cbs//DB=2.1/SET=17/TTL=3/REL ?PPN=261820893&amp;RELTYPE=NT</a>
Permalien	<a href="https://cnum.cnam.fr/redir?P1329-B_P1329-C">https://cnum.cnam.fr/redir?P1329-B_P1329-C</a>
LISTE DES VOLUMES	
	<a href="#">N°25 (1936)</a>
	<a href="#">N°26 (1937)</a>
	<a href="#">N°27 (1937)</a>
	<a href="#">N°28 (1937)</a>
	<a href="#">N°29 (1938)</a>
	<a href="#">N°30 (1939)</a>
	<a href="#">N°31 (1936)</a>
	<a href="#">N°32 (1938)</a>
	<a href="#">N°33 (1938)</a>
	<a href="#">N°34 (1938)</a>
	<a href="#">N°35 (1938)</a>
	<a href="#">N°36 (1938)</a>
	<a href="#">N°37 (1938)</a>
	<a href="#">N°38 ( 1938)</a>
	<a href="#">N°39 (1938)</a>
	<a href="#">N°40 (1939)</a>
	<a href="#">N°41 (1939)</a>
	<a href="#">N°42 (1939)</a>
	<a href="#">N°43 (1939)</a>
	<a href="#">N°44 (1939)</a>
	<a href="#">N°45 (1938)</a>
	<a href="#">N°46 (1940)</a>
	<a href="#">N°47 (1940)</a>
	<a href="#">N°48 (1940)</a>
	<a href="#">N°49 (1940)</a>
	<a href="#">N°50 (1940)</a>
	<a href="#">N°51 (1941)</a>
	<a href="#">N°52 (1941)</a>
	<a href="#">N°53 (1941)</a>
	<a href="#">N°54 (1941)</a>
	<a href="#">N°55 (1942)</a>
	<a href="#">N°56 (1942)</a>
	<a href="#">N°57 (1942)</a>
	<a href="#">N°59 (1942)</a>

	<a href="#">N°60 (1941)</a>
	<a href="#">N°61 (1942)</a>
	<a href="#">N°62 (1943)</a>
	<a href="#">N°64 (1943)</a>
	<a href="#">N°65 (1943)</a>
	<a href="#">N°66 (1943)</a>
	<a href="#">N°68 (1943)</a>
	<a href="#">N°69 (1943)</a>
	<a href="#">N°70 (1943)</a>
	<a href="#">N°71 (1943)</a>
	<a href="#">N°72 (1944)</a>
	<a href="#">N°73 (1943)</a>
<b>VOLUME TÉLÉCHARGÉ</b>	<a href="#">N°74 (1944)</a>
	<a href="#">N°75 (1944)</a>
	<a href="#">N°78 (1944)</a>
	<a href="#">N°79 (1944)</a>
	<a href="#">N°80 (1944)</a>
	<a href="#">N°81 (1944)</a>
	<a href="#">N°82 (1944)</a>
	<a href="#">N°83 (1944)</a>
	<a href="#">N°84 (1944)</a>
	<a href="#">N°85 (1944)</a>
	<a href="#">N°86 (1945)</a>
	<a href="#">N°87 (1945)</a>
	<a href="#">N°88 (1945)</a>
	<a href="#">N°89 (1945)</a>
	<a href="#">N°90 (1945)</a>
	<a href="#">N°91 (1945)</a>
	<a href="#">N°92 (1945)</a>
	<a href="#">N°93 (1945)</a>
	<a href="#">N°94 (1945)</a>
	<a href="#">N°95 (1946)</a>
	<a href="#">N°96 (1946)</a>
	<a href="#">N°97 (1946)</a>
	<a href="#">N°98 (1944)</a>
	<a href="#">N°99 (1945)</a>
	<a href="#">N°100 (1945)</a>
	<a href="#">N°101 (1946)</a>
	<a href="#">N°102 (1946)</a>
	<a href="#">N°103 (1946)</a>
	<a href="#">N°104 (1946)</a>
	<a href="#">N°105 (1946)</a>
	<a href="#">N°106 (1946)</a>
	<a href="#">N°107 (1947)</a>
	<a href="#">N°108 (1947)</a>
	<a href="#">N°109 (1947)</a>
	<a href="#">N°110 et 111 (1947)</a>
	<a href="#">N° 112 (1947)</a>
	<a href="#">N° 113 (1947)</a>
	<a href="#">N° 114 (1947)</a>
	<a href="#">N° 115 (1947)</a>
	<a href="#">N° 116 (1947)</a>
	<a href="#">N° 117 (1947)</a>
	<a href="#">N° 118 (1948)</a>
	<a href="#">N° 119 (1948)</a>
	<a href="#">N° 120 (1948)</a>
	<a href="#">N° 121 (1948)</a>
	<a href="#">N° 122 (1947)</a>

	<a href="#">N° 123 (1948)</a>
	<a href="#">N° 124 (1948)</a>
	<a href="#">N° 125 (1948)</a>
	<a href="#">N° 126 (1948)</a>
	<a href="#">N° 127 (1948)</a>
	<a href="#">N° 128 (1948)</a>
	<a href="#">N° 129 (1948)</a>
	<a href="#">N° 130 (1949)</a>
	<a href="#">N° 131 (1949)</a>
	<a href="#">N° 132 (1949)</a>
	<a href="#">N° 133 (1948)</a>
	<a href="#">N° 134 (1949)</a>
	<a href="#">N° 135 (1948)</a>
	<a href="#">N° 136 (1949)</a>
	<a href="#">N° 137 (1950)</a>
	<a href="#">N° 138 (1950)</a>
	<a href="#">N° 139 (1950)</a>
	<a href="#">N° 140 (1950)</a>
	<a href="#">N° 141 (1950)</a>
	<a href="#">N° 142 (1948)</a>
	<a href="#">N° 143 (1950)</a>
	<a href="#">N° 144 (1950)</a>
	<a href="#">N° 145 (1951)</a>
	<a href="#">N° 146 (1951)</a>
	<a href="#">N° 147 (1951)</a>
	<a href="#">N° 148 (1951)</a>
	<a href="#">N° 149 (1951)</a>
	<a href="#">N° 150 (1951)</a>
	<a href="#">N° 151 (1951)</a>
	<a href="#">N° 152 (1951)</a>
	<a href="#">N° 153 (1952)</a>
	<a href="#">N° 154 (1952)</a>
	<a href="#">N° 155 (1952)</a>

<b>NOTICE DU VOLUME TÉLÉCHARGÉ</b>	
Auteur(s) volume	Laboratoire d'essais mécaniques physiques chimiques et de machines du Conservatoire national des Arts et Métiers
Titre	Publication : Laboratoire d'essais
Volume	<a href="#">N°74 (1944)</a>
Adresse	Paris : Dunod, 1944
Collation	1 vol. (15 p.) : ill. ; 25 cm
Nombre de vues	20
Cote	CNAM-BIB P 1329-B (47)
Sujet(s)	Conservatoire national des arts et métiers (France) Génie industriel -- 20e siècle
Thématique(s)	Histoire du Cnam
Typologie	Revue
Langue	Anglais Français
Date de mise en ligne	10/04/2025
Date de génération du PDF	07/02/2026
Recherche plein texte	Disponible
Notice complète	<a href="https://www.sudoc.fr/039014541">https://www.sudoc.fr/039014541</a>
Permalien	<a href="https://cnum.cnam.fr/redir?P1329-B.47">https://cnum.cnam.fr/redir?P1329-B.47</a>

## **Note de présentation du ....**

---

...

8: Rue. 107. (50)

RÉPUBLIQUE FRANÇAISE  
LABORATOIRE D'ESSAIS



P 1320

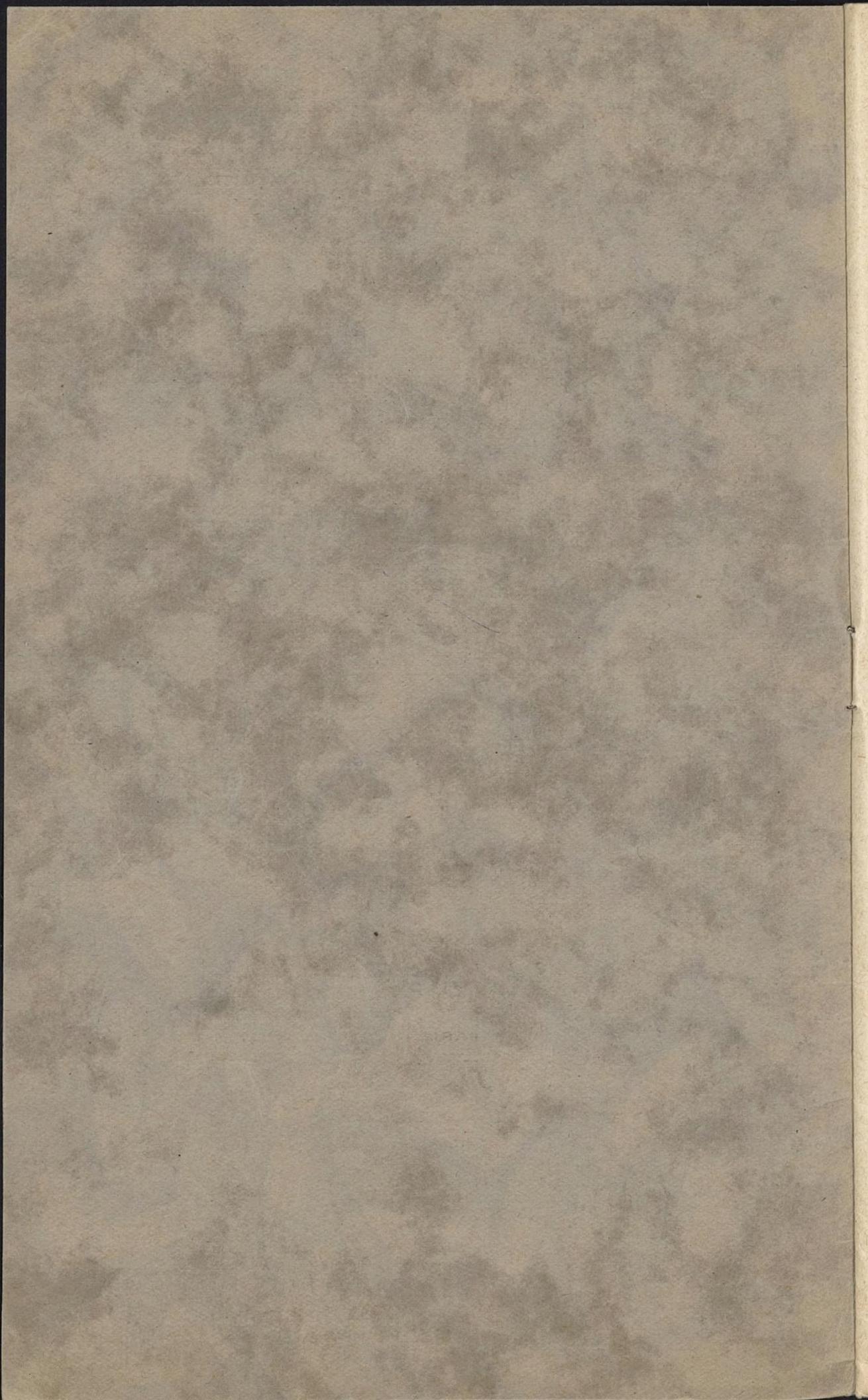


LE PROBLÈME DE LA COULEUR  
SOLUTIONS INDUSTRIELLES

par G. A. Boutry et J. Gillod

PUBLICATION N° 74

(*Extrait de la Technique moderne*  
T. 34 - janvier 1944)



# LE PROBLÈME DE LA COULEUR; SOLUTIONS INDUSTRIELLES



*Extrait de « La Technique Moderne »*

Tome XXXVI, nos 1 et 2 (1<sup>er</sup>-15 janvier 1944).

PARIS



92, RUE BONAPARTE (VI<sup>e</sup>)

1944



# LE PROBLÈME DE LA COULEUR ; SOLUTIONS INDUSTRIELLES

## Colorimétrie.

On sait que la couleur d'un faisceau lumineux dépend essentiellement de la nature des radiations visibles qu'il contient et de l'intensité relative de ces radiations. Elle dépend aussi de l'œil de l'observateur qui reçoit la lumière. Le problème de la couleur présente un double aspect physiologique et physique. Pour un œil donné, deux faisceaux lumineux sont identiques au point de vue purement physiologique s'ils fournissent la même sensation colorée ; leur composition spectrale n'est pas nécessairement la même.

S'il s'agit d'un objet coloré transparent ou diffusant, la couleur de cet objet varie plus ou moins avec la source qui l'éclaire. Soit  $\Phi_\lambda$  le flux lumineux reçu correspondant à une longueur d'onde  $\lambda$ , soit  $\varphi_\lambda$  le flux transmis, réfléchi ou diffusé. Le rapport

$$T_\lambda = \frac{\varphi_\lambda}{\Phi_\lambda}$$

s'appelle le facteur de transmission, de réflexion ou de diffusion. Ce facteur varie avec la longueur d'onde. Il en résulte que la composition spectrale relative du flux transmis réfléchi ou diffusé n'est pas la même que celle du flux incident. La couleur du corps, pour un œil donné, dépend à la fois des facteurs  $T_\lambda$  qui caractérisent le corps et de la répartition spectrale de l'énergie dans le flux lumineux incident.

## Représentation des couleurs.

La désignation des couleurs par de simples mots tels que rouge, bleu, mauve, etc... s'est rapidement révélée insuffisante pour les besoins de l'industrie, malgré la multiplicité des termes employés. Le besoin d'une désignation chiffrée, précise, non équivoque, s'est fait de plus en plus sentir. Faute de coordination dans les efforts, chacun a utilisé pour son compte des systèmes divers de désignation des couleurs, et les types de « colorimètres » ou « teintomètres » mis en usage dans les

diverses industries fabriquant ou utilisant des matières colorantes et des sources lumineuses se sont multipliés.

La Commission Internationale de l'Éclairage (C. I. E.) dans ses sessions de 1931 et 1935 a adopté un certain nombre de conventions afin de normaliser les méthodes de désignation des couleurs (1). Rappelons brièvement les principes adoptés.

Tout d'abord, pour éliminer les divergences dues à l'œil de l'observateur, tous les calculs de colorimétrie utilisent les facteurs de visibilité relative établis pour l'œil « moyen » et qui résultent de la moyenne des mesures effectuées par de nombreux observateurs soigneusement sélectionnés.

Un premier système de désignation des couleurs adopté par la C. I. E. est le système de représentation trichromatique dont le principe date de Maxwell. Il est basé sur le fait expérimental suivant : toute sensation colorée peut être reproduite par un mélange en proportions convenables de trois radiations monochromatiques seulement judicieusement choisies. Le choix de ces radiations fondamentales ou primaires laisse place à un certain arbitraire. Dans le système dit R. G. B. adopté par la C. I. E. les longueurs d'onde de ces radiations sont respectivement :

$$700,0 \quad 546,1 \quad \text{et} \quad 435,8 \text{ m}\mu.$$

En faisant choix d'une unité pour chacune des radiations primaires, on peut écrire que la sensation colorée  $S$  est identique à celle qu'on obtiendrait par un mélange de  $r'$  unités R,  $g'$  unités G, et  $b'$  unités B. On écrit symboliquement l'égalité

$$r'R + g'G + b'B = s'B$$

La sensation envisagée seulement au point de vue couleur, et non au point de vue intensité, ne dépend d'ailleurs que des proportions *relatives* des trois radiations ; aussi peut-on remplacer  $r'$ ,  $g'$ ,  $b'$  par des nombres proportionnels  $r$ ,  $g$ ,  $b$  choisis de façon que

$$r + g + b = 1 ;$$

$r$ ,  $g$ ,  $b$  sont les trois *coefficients trichromatiques* qui définissent complètement la couleur *au point de vue de la sensation physiologique qu'elle produit sur l'œil moyen*. La relation existant entre  $r$ ,  $g$  et  $b$  montre qu'il n'y a en réalité que deux variables colorimétriques indépendantes.

---

(1) RIBAUD, *Revue d'Optique*, mai 1936.

Graphiquement, la couleur peut être définie en coordonnées cartésiennes par un point du plan des axes de coordonnées. L'abscisse sera par exemple  $r$  et l'ordonnée  $g$ . Deux *sensations* colorimétriques identiques seront donc représentées par le même point sur le graphique.

Reste à choisir les unités R, G, B. Il est convenu, dans le système de la C. I. E., que pour  $r = g = b$  le point représentatif de la couleur correspond au spectre d'égale énergie (qui correspond à une lumière blanche légèrement teintée de pourpre). Cette condition suffit à déterminer les trois unités R, G, B qui, exprimées en lumens, valent respectivement :

$$1 \quad 4,5097 \quad \text{et} \quad 0,0601 \text{ lumens}$$

ou, en watts, approximativement :

$$243 \quad 4,70 \quad \text{et} \quad 3,33 \text{ watts.}$$

Un deuxième procédé de désignation des couleurs également adopté par la C. I. E. repose sur le fait qu'on peut aussi reproduire une sensation colorée par l'addition de lumière blanche E et d'une lumière monochromatique  $\lambda$  convenablement choisie appelée longueur d'onde dominante. Cette dernière doit d'ailleurs dans certains cas être retranchée de la lumière blanche et non ajoutée (pourpres).

Soit  $\varphi_E$  la luminosité de E,  $\varphi_\lambda$  celle de  $\lambda$ . On appelle « facteur de pureté » ou « degré de saturation » le rapport :

$$p = \frac{\varphi_\lambda}{\varphi_E}$$

Les valeurs de  $\lambda$  et de  $p$  déterminent encore la « couleur » du flux étudié au seul point de vue de la sensation colorée.

On peut passer facilement de la représentation trichromatique du premier système à celle du deuxième. Par convention, la lumière « blanche » du deuxième système est celle du spectre d'égale énergie E.

L'avantage des représentations des sensations colorées dans l'un ou l'autre système réside dans leur interprétation facile et dans la possibilité de prévoir, à l'aide de simples relations linéaires obtenues à partir des opérations colorimétriques, la teinte que l'on obtiendra par un mélange quelconque de sensations colorées. Deux teintes voisines sont toujours graphi-



quement représentées par des points voisins dans le premier système. Dans le second système, la connaissance de la longueur d'onde dominante et de la pureté renseigne aussitôt sur la teinte et le degré de saturation<sup>(1)</sup>.

L'inconvénient très grave des systèmes colorimétriques pour certaines applications, c'est qu'ils ne définissent la lumière qu'au point de vue de la sensation physiologique qu'elle produit, mais laissent complètement indéterminé le problème purément physique de sa véritable composition spectrale. Il est clair que deux flux qui ont les mêmes coefficients trichromatiques et par suite la même teinte peuvent être totalement différents au point de vue de leur composition spectrale. Il en résulte qu'un même corps éclairé successivement par deux flux de même teinte mais de compositions spectrales différentes peut ne pas avoir la même couleur dans l'un et l'autre cas. Imaginons par exemple un corps ne diffusant que le vert ; il prendra une teinte verte si on l'éclaire avec une lumière *monochromatique* verte. Si on l'éclaire avec un mélange convenable de radiations jaunes et bleues dont l'ensemble a pourtant la même teinte verte que la radiation précédente, le même corps, incapable de diffuser le bleu et le jaune, paraîtra noir.

La spécification du flux lumineux dans l'un ou l'autre des systèmes précédents apparaîtra donc souvent comme insuffisante pour leur identification complète, et ce sera toujours le cas dans l'étude des propriétés lumineuses d'une source.

### Spectrophotométrie.

La spectrophotométrie ou détermination, longueur d'onde par longueur d'onde, en valeur relative ou absolue, de l'énergie lumineuse transportée par un rayonnement lumineux fournit au contraire une solution complète du problème colorimétrique.

Deux flux qui ont, en valeurs relatives, la même distribution spectrale d'énergie n'ont pas seulement la même teinte, mais un corps quelconque recevant l'un ou l'autre de ces flux présentera lui aussi la même couleur.

Enfin, si l'interprétation d'une couleur au point de vue de la sensation colorée n'est pas toujours facile au simple aspect de la courbe de répartition spectrale de l'énergie, un calcul devenu classique permet de déduire de cette courbe les coeffi-

---

(1) Pour plus de détails sur ces questions, consulter en particulier l'article de RIBAUD, *Revue d'Optique*, mai 1936.

cients trichromatiques correspondants. On peut donc reconnaître à partir des courbes spectrophotométriques l'identité des teintes, même lorsque les répartitions spectrales d'énergie sont différentes.

• Malgré ces avantages évidents, la méthode spectrophotométrique n'a pas encore conquis la faveur industrielle. Cela tient à l'extrême difficulté de l'établissement d'une courbe spectrophotométrique. Les spectrophotomètres en usage exigent des comparaisons photométriques hétérochromes pénibles et incertaines ou bien, en tous cas, des pointés nombreux et fastidieux se traduisant parfois par de nombreuses journées de travail. La solution spectrophotométrique du problème de la colorimétrie exige donc avant tout la création d'un spectrophotomètre commode, capable de fournir rapidement, sans le secours d'un physicien spécialisé, les courbes de répartition spectrale cherchées.

Une première solution satisfaisante a été apportée en Amérique par Hardy (1). Celui-ci fit construire un appareil remarquable enregistrant lui-même ses résultats et qui utilise une cellule photoélectrique pour l'appréciation de l'égalité de deux flux lumineux monochromatiques. Cet appareil extrêmement ingénieux est malheureusement d'une complication extrême et d'un prix de revient très élevé. Il ne saurait être répandu en de nombreux exemplaires. En fait, il paraît rester le monopole de quelques laboratoires spécialisés.

Nous avons tenté d'apporter une contribution à ce problème en faisant construire dans les ateliers du Laboratoire d'essais du Conservatoire national des Arts et Métiers un appareil qui nous semble répondre aux besoins industriels actuels.

### **Nouveau spectrophotomètre enregistreur à cellule photoélectrique.**

Cet appareil, déjà décrit ailleurs (2), comporte :

- 1<sup>o</sup> Un monochromateur double destiné à séparer dans le flux étudié les diverses radiations monochromatiques ;
- 2<sup>o</sup> Une cellule photoélectrique recevant ces radiations ;
- 3<sup>o</sup> Un amplificateur du courant photoélectrique ;
- 4<sup>o</sup> Un galvanomètre avec enregistrement automatique sur

(1) A.-C. HARDY, *J. O. S. A.*, t. XXV, p. 305, 1935.

(2) G.-A. BOUTRY et J. GILLOD, *C. R.*, t. CCXIII, p. 235, 1941.

plaqué photographique des courants mesurés en fonction des longueurs d'onde.

La figure 1 donne une vue en plan du monochromateur.

Le condenseur C projette sur la fente d'entrée réglable  $F_1$  l'image de la source S.

Le faisceau réfléchi par un miroir plan  $m_1$  traverse un objectif  $O_1$ , puis le prisme  $P_1$ . La face postérieure du prisme  $P_1$

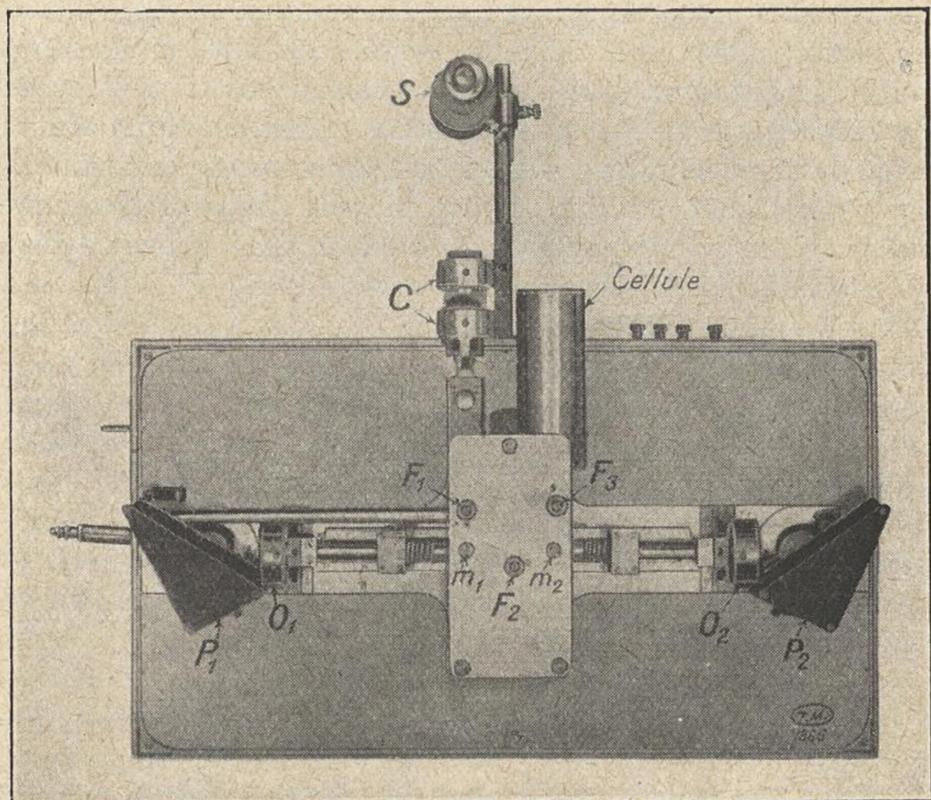


FIG. 1. — Vue en plan du spectrophotomètre enregistreur à cellule photoélectrique.

C, Condenseur ; —  $F_1$ ,  $F_2$ ,  $F_3$ , Fentes réglables ; —  $m_1$ ,  $m_2$ , Miroirs plans ; —  $O_1$ ,  $O_2$ , Objectifs ; —  $P_1$ ,  $P_2$ , Prismes de  $30^\circ$  aluminés ; — S, Source.

est aluminée. Le faisceau réfléchi et dispersé traverse une seconde fois  $P_1$  et  $O_1$  pour former un spectre dans le plan de la fente  $F_2$ . Celle-ci ne laisse passer qu'une étroite bande monochromatique. Le prisme est au voisinage du minimum de déviation. Une rotation commandée par un mécanisme convenable amène successivement sur la fente toutes les radiations du spectre. Simultanément, l'objectif  $O_1$  qui est très ouvert, mais non achromatisé, subit une translation de telle sorte que

la fente d'entrée reste au foyer de l'ensemble  $O_1 m_1$  pour toutes les radiations admises à travers la fente  $F_2$ .

Un deuxième système dispersif symétrique du premier et comprenant l'objectif  $O_2$ , le prisme  $P_2$ , le miroir plan  $m_2$  et la fente  $F_3$  reprend la lumière sortant de  $F_2$  et qui contient encore de la lumière diffuse de toutes les régions du spectre.

A la fente de sortie  $F_3$ , la lumière monochromatique est reçue par une cellule photoélectrique d'un type nouveau (1).

La propriété essentielle de cette cellule est de fournir des courants rigoureusement proportionnels aux flux monochromatiques qu'elle reçoit. C'est précisément cette propriété qui conditionne toute la simplicité de l'appareil. La cellule n'est plus seulement utilisée à la constatation de l'égalité de deux flux, mais le rapport des courants photoélectriques qu'elle fournit mesure le rapport des flux monochromatiques qu'elle reçoit.

Ces courants, trop faibles cependant pour se prêter à une mesure directe commode, sont amplifiés au préalable. L'amplificateur réalisé utilise une lampe électromètre Mazda. Un montage spécial permet d'obtenir une amplification linéaire en même temps qu'une bonne stabilité.

Un galvanomètre à cadre robuste mesure le courant amplifié. Le faisceau réfléchi par le miroir du galvanomètre et venant d'un petit projecteur subit une deuxième réflexion sur un miroir plan rectangulaire de forme allongée avant de former une image ponctuelle sur une plaque photographique (format  $13 \times 18$ ) utilisée pour l'enregistrement.

Les déplacements horizontaux du spot sur cette plaque sont proportionnels au courant, donc aux flux monochromatiques reçus par la cellule.

Le miroir peut tourner autour d'un axe horizontal et ses rotations sont commandées par celles du prisme. Elles sont donc une fonction de la longueur d'onde des radiations admises sur la cellule. Une came convenablement taillée permet, pour plus de commodité, d'obtenir que cette fonction soit linéaire.

Les déplacements verticaux du spot sur la plaque photographique sont donc proportionnels aux longueurs d'onde.

Pour une simple observation visuelle, la plaque photographique peut être remplacée par un verre dépoli.

L'ensemble de l'amplificateur, du galvanomètre et du dispositif enregistreur sont contenus dans une boîte métallique

---

(1) G.-A. BOUTRY et J. GILLOD *Phil. Mag.* 7<sup>e</sup> série 28, p. 163, 1939.

à blindage d'aluminium dont le couvercle est un plateau supportant le monochromateur.

La figure 2 donne une vue de l'ensemble de l'appareil, le

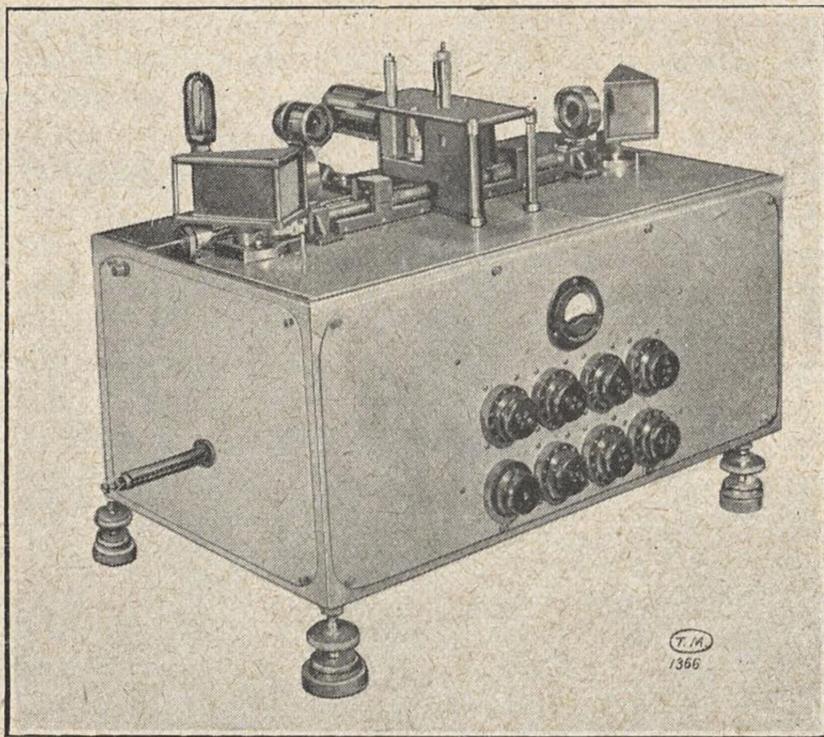


FIG. 2. — Vue d'ensemble du spectrophotomètre enregistreur, le capot étant enlevé.

capot abritant le monochromateur étant enlevé. Les boutons visibles sur la face antérieure servent au réglage de l'amplificateur.

#### Propriétés des courbes obtenues.

Les courbes obtenues après développement ne représentent pas directement les radiances énergétiques en fonction des longueurs d'onde, car la sensibilité de la cellule et le facteur de transparence de l'instrument tout entier sont variables avec la longueur d'onde, et les ordonnées d'une même courbe ne sont pas comparables entre elles. Mais si l'on enregistre dans les mêmes conditions les courbes relatives à deux flux différents, *pour chaque longueur d'onde*, le rapport des ordonnées obtenues est égal au rapport des radiances énergétiques de ces deux flux pour cette longueur d'onde.

Il suffit que la courbe vraie C de répartition spectrale d'é-

nergie soit connue pour un seul flux lumineux, par exemple pour le flux émis par un filament de tungstène à une température de couleur donnée, pour déterminer celle relative à un flux quelconque. On multipliera les ordonnées de la courbe C par les rapports des ordonnées trouvés pour les deux courbes expérimentales, et ceci pour chaque longueur d'onde.

D'ailleurs, dans bien des cas, cette transformation de la courbe obtenue en la courbe normale de distribution d'énergie n'est pas nécessaire.

Supposons par exemple que l'on veuille déterminer en fonction de la longueur d'onde les facteurs de transmission d'un filtre coloré. On enregistre d'abord la courbe spectrale d'une source quelconque à spectre continu. Ensuite, sur la même plaque, on enregistre une deuxième courbe avec la même source utilisée dans des conditions identiques, mais avec interposition du filtre étudié sur le trajet du faisceau.

Pour chaque longueur d'onde, le quotient des ordonnées des deux courbes fournit le facteur de transmission cherché.

Remarquons bien qu'un tel résultat ne dépend ni de la source employée ni de la sensibilité spectrale de la cellule ; il suppose seulement que, pour une radiation monochromatique quelconque, la réponse de la cellule est proportionnelle au flux lumineux qu'elle reçoit.

#### Exemples de courbes obtenues. Leur interprétation.

1<sup>o</sup> La figure 3 montre les courbes *a* et *b* obtenues avec une source constituée par une lampe à ruban de tungstène, avant et après interposition d'un filtre au didyme ; les courbes *a'* et *b'* sont obtenues avec une sensibilité plus grande. La courbe *c* obtenue simplement en faisant le quotient des ordonnées de *a* et *b* donne, en fonction de la longueur d'onde, les facteurs de transmission du filtre. C'est en utilisant cette méthode que le Laboratoire d'essais a commencé la préparation d'un atlas des matières colorantes fabriquées en France.

2<sup>o</sup> ÉTUDE D'UNE SOURCE. — La courbe *a* de la figure 4 est obtenue directement en éclairant l'appareil avec la source étudiée S, qui n'est autre qu'un tube à décharge à parois recouvertes d'un enduit fluorescent. On reconnaît nettement sur un fond continu les raies du mercure.

La courbe *b* est obtenue avec une lampe à ruban de tungstène dont la température de couleur est 2 820° K.

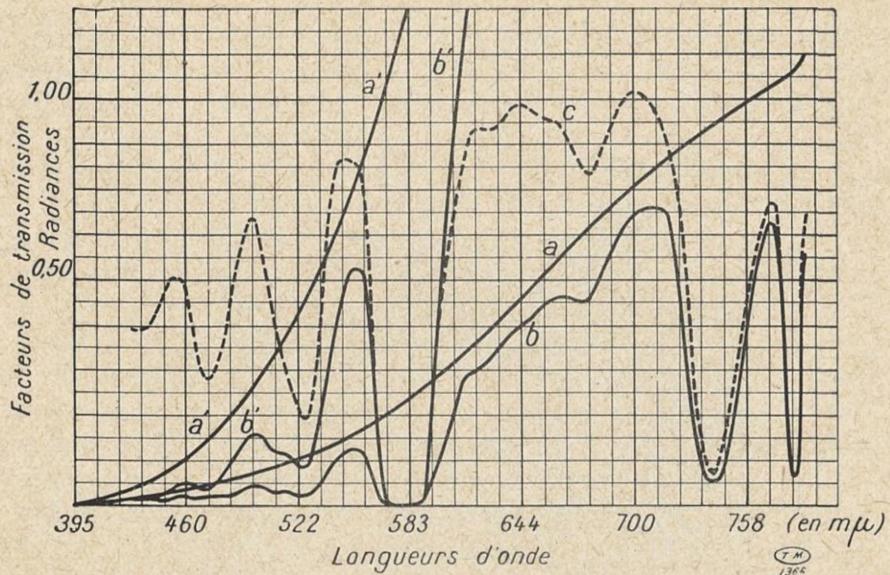


FIG. 3. — Courbes obtenues avec une source constituée par une lampe à ruban de tungstène, avant et après interposition d'un filtre au didyme.

a, Lumière blanche; — b, Même lumière filtrée; — a' et b', Mêmes courbes avec une sensibilité plus grande de l'appareil; — c, Facteur de transmission.

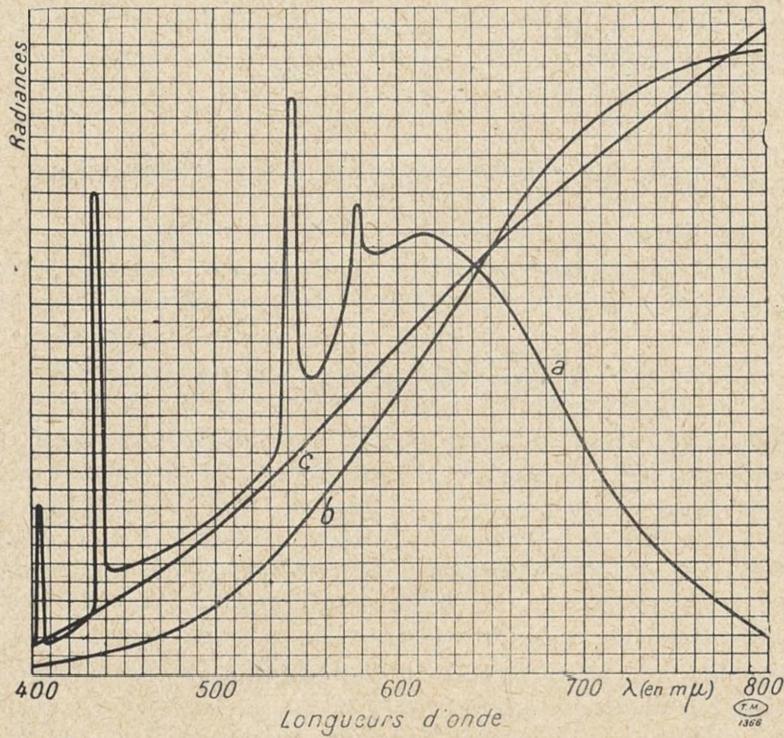


FIG. 4. — Etude d'une source.

a, Lampe Claude dite « lumière du jour »; — b, Tungstène à la température de couleur 2820° K; — c, Courbe d'énergie normale du tungstène à 2820° K.

La courbe *c* est la courbe normale de répartition spectrale de l'énergie pour cette même lampe. La connaissance de la température de couleur suffit à la détermination de cette

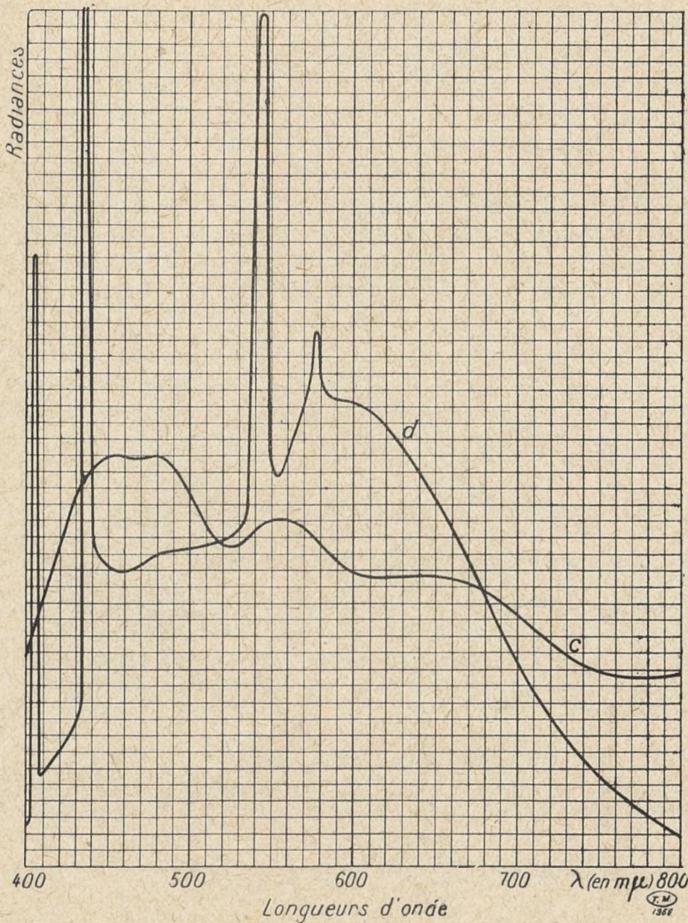


FIG. 5. — Courbes normales de répartition d'énergie.

*c*, Répartition énergétique pour l'étalon C ; — *d*, Répartition énergétique de la lampe Claude dite « lumière du jour ».

courbe d'après les propriétés bien connues du rayonnement du corps noir et du tungstène.

En calculant pour chaque longueur d'onde le quotient des ordonnées de *a* et de *b*, on obtient en valeur relative des facteurs par lesquels on devra multiplier les ordonnées de la

courbe *c* pour passer à la courbe normale de répartition d'énergie. On obtient ainsi la courbe *d* de la figure 5.

A partir de la courbe *d*, on peut, si on le désire, au moyen de calculs classiques que nous ne reproduisons pas ici, expri-

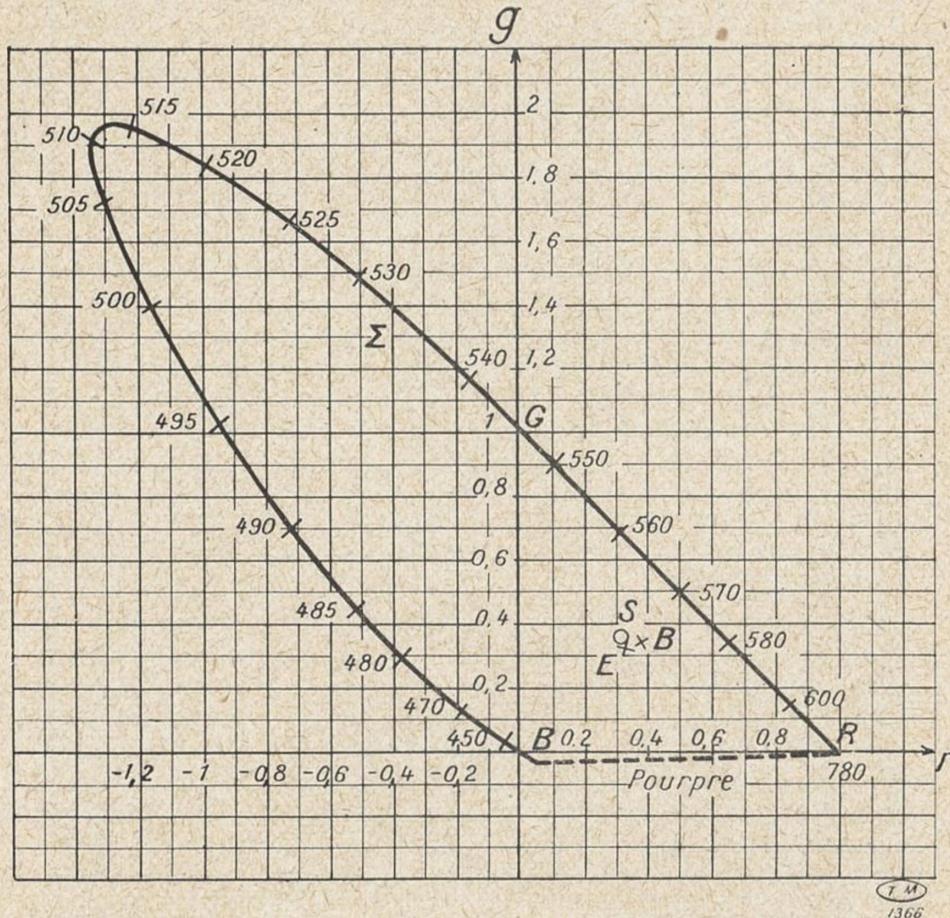


FIG. 6. — Position du point figuratif de la source S.

S, Source étudiée ; — B, Étalon C ; — E, Blanc (égale énergie) ; —  $\Sigma$ , Lieu des points représentant les radiations simples.

mer la teinte de cette source par ses coordonnées trichromatiques.

On trouve dans le système R. G. B.

$$r = 0,248 \quad g = 0,360 \quad b = 0,392$$

La figure 6 montre la position du point figuratif S de cette source en coordonnées cartésiennes. A titre de comparaison, nous avons représenté sur le même graphique le lieu des points figuratifs des radiations simples du spectre.

Le point E est le point représentatif de la source d'égale

énergie ; le point B correspond à l'étalon de lumière blanche C fixé par la C. I. E (1).

La teinte de la lumière étudiée se situe donc au voisinage de la lumière C.

On peut dire aussi que, par rapport à la lumière blanche dite « lumière du jour » représentée par l'étalon C, la longueur d'onde dominante se situe vers  $0,567 \mu$  avec un facteur de pureté  $p = 0,14$ .

Mais la courbe *d* montre quelque chose de plus (fig. 5). Sur le même graphique, nous avons porté la courbe de répartition spectrale de l'étalon C. Les deux courbes *c* et *d*, sans être très voisines, ont cependant même allure, et l'on peut en conclure *a priori* qu'un corps coloré (c'est-à-dire dont le facteur de transmission ou de diffusion varie avec  $\lambda$ ) ne changera pas sensiblement de couleur suivant qu'on l'éclaire avec la source S ou l'étalon C.

Ceci a évidemment une importance considérable dans l'étude d'une source et la représentation trichromatique ne peut donner aucun renseignement à ce point de vue.

### Conclusion.

Il est hors de doute que la solution spectrophotométrique du problème de la couleur, aujourd'hui solution industrielle, est la seule correcte. On peut attendre des progrès importants de son application à l'industrie des matières colorantes, de la teinture, des pigments et des vernis aussi bien qu'à l'industrie de la construction des sources de lumière.

Aux États-Unis, ce fait a été compris et il existe aujourd'hui à Boston un laboratoire spécialisé dans l'étude spectrophotométrique des problèmes industriels de colorimétrie.

J. GILLOD.

G.-A. BOUTRY.

(1) L'étalon C, qui fournit une lumière blanche voisine de la lumière du jour, est représenté par une lampe à filament de tungstène en atmosphère gazeuse dont la lumière est filtrée par deux solutions de composition et de concentration fixées conventionnellement.



---

SCHNEIDER Frères et MARY, Imprimeurs, N° 31.4379.  
20, rue Rabuan-du-Coudray, Chartres.  
Dépôt légal : 2<sup>e</sup> trimestre 1944, n° 658. — Autorisation n° 132.

