

**Cours Jean-Marie Guinot  
1970-1972**

**PHOTOMÉTRIE**

ECOLE NATIONALE  
PHOTO CINEMA

J.M. GUINOT

RESUMES DES COURS

PHOTOMETRIE

"Il faut comprendre tout ce qui est relatif aux mesures d'intensités de rayonnements, mesures qui peuvent être faites au moyen de l'oeil ou de tout autre appareil et peuvent même se rapporter, en tout ou en partie, à des radiations non visibles".

Leçons faites à l'Ecole Supérieure d'optique par Mr. Ch. FABRY.

GENERALITES -

Sources primaires - sources secondaires  
Objets plus ou moins éclairés  
Variation de l'éclairement  
Comparaison de deux surfaces éclairées  
Mesure directe des éclairéments  
Photomètres de Bouguer, de Rumford.

Photométrie visuelle homochrome, c'est-à-dire portant sur des lumières ayant toutes même couleur, leurs compositions spectrales étant identiques ou très voisines.  
Cas des lumières hétérochromes.

Définition de l'angle solide

L'angle solide  $\Omega$  d'un cône est le quotient  $\frac{S}{r^2}$  de

-----  
En vente à DACTYLO-SORBONNE, 8 rue Casimir Delavigne - PARIS 6e.

l'aire découpée par le cône (quelle que soit sa forme) sur une sphère de rayon  $r$  par le carré de ce rayon.

L'angle solide a la même définition que l'angle plan. C'est un nombre peu importe avec quelle unité de longueur  $S$  et  $r^2$  sont mesurés.

L'unité SI d'angle solide est le stéradian (sr)  
Journal Officiel 7.1.1966 :

"Le stéradian est l'angle solide qui, ayant son sommet au centre d'une sphère, découpe, sur la surface de cette sphère, une aire égale à celle d'un carré ayant pour côté le rayon de la sphère".

On peut employer le spat (sp) valant  $4\pi$  stéradians qui correspond à la totalité de l'espace autour d'un point.

On lit parfois que l'angle solide est l'aire découpée par le cône sur la sphère de rayon unité ; cet énoncé est mauvais, puisque la valeur de l'angle solide est indépendant de l'unité de longueur choisie.

Considérons un faisceau conique de sommet A et d'axe AC dans un plan normal à AC et centré sur C une ouverture circulaire O. L'angle solide  $\Omega$  de sommet A délimité par O a pour valeur en stéradian (fig.1) :

$$\Omega = \frac{S}{r^2}$$

$S$  étant l'aire de la calotte qu'éclairerait le faisceau sur une sphère de rayon  $r$  dont le centre est la source.

Soit  $\alpha$  l'angle générateur du cône, on appelle ouverture du faisceau l'angle  $2\alpha$ .

Si  $\alpha$  est petit et évalué en radians,  $S$  est sensiblement l'aire d'un disque de rayon  $r\alpha$  on a  $\Omega \approx \pi \alpha^2$

Une source (ou une portion de source) est dite ponctuelle quand sa plus grande dimension linéaire  $a$  est très petite par rapport à la distance d'utilisation  $x$ .

Selon la précision des mesures envisagées la limite supérieure de  $\frac{a}{x}$  peut être  $\frac{1}{100}$ . Souvent dans la pratique les mesures sont faites à des distances de la source égales à 10 ou 15 fois le plus grand diamètre de celle-ci.

### ENERGIE LUMINEUSE

Soit un faisceau de rayons visibles ou invisibles issus d'une source lumineuse, il transporte de l'énergie à travers tout l'espace.

L'importance du rayonnement est déterminée en faisant absorber totalement l'énergie qu'il transporte par un corps dont on mesure l'échauffement.

Dans le domaine visible, la photométrie fait intervenir l'oeil comme instrument de comparaison, c'est un dispositif d'égalisation, permettant d'apprécier l'équivalence de deux stimuli du point de vue de la luminance, ce n'est pas un appareil de zéro.

Pour mesurer l'énergie transportée par des radiations en dehors du visible, il faut transformer l'énergie radiante en une autre forme d'énergie. Si l'on veut la transformer en énergie électrique on utilise les récepteurs photoélectriques.

Les cellules photoémisives à vide utilisées pour des mesures précises dans l'U.V. le visible et le proche I.R. celles à gaz quoique plus sensibles sont rejetées pour les mesures.

Les photomultiplicateurs sont utilisés pour la mesure de très faibles flux, jusqu'à quelques dizaines de photons par seconde soit de l'ordre de  $10^{-17}$  Watt.

Les photopiles à semi conducteur généralement au sélénium, couramment utilisées dans les luxmètres ou posemètres en prise de vues.

Les piles photovoltaïques du type métal-électrolyte - métal symétrique, débitant un courant quand on éclaire une de leurs électrodes.

Les couples ou piles thermoélectriques transforment l'énergie radiant en énergie thermique et transforment à nouveau cette énergie en énergie électrique.

L'étude des radiations peut encore s'effectuer par des procédés photographiques qui permettent les comparaisons de luminance, on les utilise surtout en spectrophotométrie.

Les récepteurs, photoélectriques et photographiques ainsi que l'oeil sont sélectifs c'est-à-dire que leur sensibilité dépend de la longueur d'onde de la lumière absorbée.

## GRANDEURS PHOTOMETRIQUES

### Surfaces également éclairées

Une surface reçoit d'abord la lumière d'une source  $S_1$ , puis celle d'une source  $S_2$  puis simultanément celle de  $S_1$  et  $S_2$ , les éclairagements correspondants  $E_1$ ,  $E_2$  et  $E$  sont tels que  $E = E_1 + E_2$ . L'éclairagement est donc une grandeur mesurable.

### Flux énergétique

Considérons un contour quelconque et une source de rayonnement qui émet un faisceau traversant une surface  $S$  limitée par ce contour (fig.2).

Le rayonnement qui traverse cette surface dans chaque unité de temps définit la quantité d'énergie que transporte le faisceau. Si l'énergie  $W$  traverse dans le temps  $t$  cette quantité sera  $\Phi = \frac{W}{t}$

C'est une puissance qui s'exprime en watt en ergs par seconde en joules par seconde ( $1 W = 1 J/s = 10^7 \text{ erg/s.}$ )

### Flux lumineux

Le flux lumineux  $F$  reçu par une surface est par définition le produit de son éclairagement  $E$  par son aire  $S$ .

Lorsque plusieurs faisceaux tombent sur une même surface, les flux s'ajoutent arithmétiquement.

Pour une lumière de composition spectrale déterminée, le flux  $F$  est proportionnel au flux d'énergie  $\Phi$  correspondant. Le quotient  $K = \frac{F}{\Phi}$  est appelé efficacité lumineuse du rayonnement considéré ; il est nul pour les lumières invisi-

bles. On le mesure en unités appelées lumens (symbole lm).

#### Conservation du flux

Imaginons une source ponctuelle A et un cône de rayons lumineux, en supposant qu'il n'y a pas d'absorption, il y a conservation du flux le long du faisceau. C'est le même flux qui traverse S, S' ou une section quelconque du cône par une surface plane ou non (fig.2).

#### Intensité (source ponctuelle)

Considérons le flux uniformément réparti sur un élément dS d'une surface S (fig.3), dS reçoit de A un flux dF. Soit dΩ l'angle solide, très petit, sous lequel on voit la surface dS de A. Le rapport  $\frac{dF}{d\Omega}$  caractérise l'intensité du rayonnement dans la direction AX. L'intensité est un flux émis par unité d'angle solide.

Si I est une intensité constante dans toutes les directions, le flux total qu'émet la source est :  $F = 4 \pi I$ .

L'intensité énergétique est le quotient

$$I = \frac{d\Phi}{d\Omega} \quad (\text{watt par stéradian})$$

L'unité d'intensité lumineuse est la candela (symbole cd.)

#### Eclairement (en un point d'une surface)

C'est le quotient du flux lumineux reçu par un élément infiniment petit de cette surface entourant le point considéré, par l'aire de cette surface.

$$E = \frac{dF}{dS}$$

On suppose  $F$  uniformément réparti sur  $S$ . L'unité est le lux (symbole lx).

#### Loi de l'inverse du carré de la distance

Considérons un flux lumineux rayonné par une source ponctuelle dans un cône de petite ouverture  $d\Omega$  (fig.3).

L'intensité lumineuse en direction de  $AA'$  est  $I$ , une surface  $dS$  dont la normale  $A'N'$  fait un angle  $\alpha$  avec  $AA'$  est placée à une distance  $AA' = x$  de la source. L'éclairement reçu par  $dS$  est :

$$E = \frac{I \cos \alpha}{x^2}$$

$E$  est mesuré en  $W/m^2$

On voit que l'éclairement varie de façon proportionnelle au cosinus de l'angle d'incidence et de façon inversement proportionnelle au carré de la distance de la source à la surface éclairée.

On peut parler de l'éclairement en un point de l'espace, même s'il n'existe pas de corps éclairé en ce point, mais à condition de préciser l'orientation de la surface sur laquelle serait évaluée l'éclairement. L'éclairement énergétique est :

$$E = \frac{d\Phi}{dS}$$

(L'état de la matière n'intervient pas dans la mesure de l'éclairement).

#### Radiance ou Emission

Une source lumineuse n'est jamais ponctuelle. Soit  $d\Sigma$  la surface rayonnant dans toutes les directions un

flux  $dF$  le rapport  $M = \frac{dF}{d\Sigma}$  caractérise la radiance.

Lorsqu'une surface n'est pas lumineuse par elle même sa radiance est au plus égale à son éclairement.

L'unité est le  $lm/m^2$  ou  $lx$ . La radiance se rapporte à l'énergie rayonnante émise alors que l'éclairement est relatif à l'énergie reçue.

Luminance d'une source dans une direction donnée, en un point d'une surface (avant le congrès de 1954 on disait brillance). On considère alors l'intensité rapportée non à l'unité de surface de la source mais à la surface projetée sur un plan normal à la direction considérée (fig.4).

Soit  $dI$  l'intensité émise suivant la direction  $AA'$  et faisant l'angle  $\alpha$  avec la normale  $AN$  à l'élément  $d\Sigma$  de la surface de la source.

La luminance en direction  $AA'$  est le quotient

$$L = \frac{dI}{d\Sigma \cos \alpha}$$

si  $\alpha = 0$  on a  $L = \frac{dI}{d\Sigma}$

Elle caractérise l'aspect de la source pour un observateur éloigné dans la direction  $AA'$  qui la regarde directement. L'unité de luminance est la candela par mètre carré ou nit ( $cd/m^2$ ).

Si on considère le flux  $dF = Id\Omega$  total et non pas seulement celui auquel l'oeil est sensible  $L$  s'appelle pouvoir émissif. La luminance apparente  $L'$  d'une image optique est liée à la luminance  $L$  de l'objet par la relation

$$L' = \frac{n'^2}{n^2} \tau L \quad (n \text{ et } n' \text{ étant les indices des milieux ob-}$$

jet et image,  $\tau$  le facteur de transmission).

Un écran placé perpendiculairement à AA' reçoit un éclairement E. La surface  $d\Sigma$  de la source se comporte comme une source d'intensité  $dI = L d\Sigma$  elle produit sur l'écran A' un éclairement

$$E = L \frac{d\Sigma}{x^2}$$

$\frac{d\Sigma}{x^2} = \omega$  est l'angle solide sous lequel de A' on voit la surface  $d\Sigma$  de la source on a :  $L = \frac{E}{\omega}$

sous cette forme la position de l'écran (distance, orientation surface) n'intervient pas.

La source peut être un volume un gaz luminescent un nuage ou le ciel.

#### Loi de Lambert

"La brillance est la même dans toutes les directions".

dans l'expression  $L = \frac{dI}{d\Sigma \cos \alpha}$   $dI = L d\Sigma \cos \alpha$

puisque L est constant on voit que la surface  $\Sigma$  se comporte comme une source dont l'intensité varie en fonction de  $\alpha$  proportionnellement à  $\cos \alpha$ .

#### Relation entre le flux et la luminance

Le flux reçu normalement sur une surface  $dS$  émis par une source de surface  $d\Sigma$  ayant la luminance constante L est à la distance x (fig.5)

$$F = L \frac{d\Sigma dS}{x^2}$$

Relation entre la luminance et la radiance

$$H = \pi L$$

On dit qu'une source obéit à la loi de Lambert (ou qu'elle est orthotrope) lorsque sa luminance  $L$  est la même dans toutes les directions où elle rayonne.

Eclat apparent

Cette grandeur intervient dans l'observation visuelle d'une source de lumière n'ayant pas de diamètre apparent appréciable de la distance d'observation.

Il se mesure par l'éclairement produit par la source sur un élément de surface occupant la place de la pupille et normal aux rayons.

Relation entre l'éclairement et la luminance d'un diffuseur parfait

Diffuseur parfait : surface qui diffuse tout le flux qu'elle reçoit et qui diffuse suivant la loi de Lambert, quelle que soit l'orientation des rayons incidents.

$$L = \frac{E}{\pi}$$

Si la fraction  $\rho$  seule est diffusée on a :

$$L = \rho \frac{E}{\pi}$$

$\rho$  est le facteur de réflexion (réflectance lumineuse, facteur de luminance ou albédo).

Les luminances des corps incandescents sont de l'ordre des millions de nits, celle des corps qui nous entourent sont de l'ordre des centaines ou des dizaines de nits. Un oeil

sensible, adapté à l'obscurité, peut encore percevoir une luminance de l'ordre du micronit.

Quantité de lumière - quantité d'éclairement

En prise de vues ou en éclairagisme il est souvent commode de faire apparaître le produit d'un flux lumineux par le temps où on l'a utilisé.

Cette quantité  $Q_l = Lt$  (lumen.heure = 3600 lm.s) est appelée quantité de lumière.

La quantité d'éclairement est la grandeur  $Q_e = E.t$  (lx. s).

UNITES PHOTOMETRIQUES

I. Unité d'intensité lumineuse

La candela (cd) ou bougie nouvelle. Unité S.I.  
Intensité lumineuse, dans une direction déterminée, d'une ouverture perpendiculaire à cette direction, ayant une aire de 1/60 de centimètre carré et rayonnant comme un radiateur intégral (corps noir) à la température de solidification du platine (2042 degré absolu).

F. Unité de flux lumineux

Le lumen (lm) Unité S.I.  
Flux lumineux émis dans l'angle solide de 1 stéradian par une source ponctuelle uniforme, placée au sommet de l'angle solide et ayant une intensité lumineuse de 1 candela.

$$1 \text{ lm} = 1 \text{ cd.sr}$$

E. Unité d'éclairement

Le lux (lx) Unité S.I.  
Eclairement d'une surface qui reçoit normalement, d'une manière uniformément répartie, un flux lumineux de 1 lumen par mètre carré.

Le phot (ph) lumen/cm<sup>2</sup> vaut 10<sup>4</sup> lx.

L. Unité de luminance

Le nit (cd/m<sup>2</sup>) Unité S.I.

(On dérive la luminance de l'intensité en divisant celle-ci par une surface.)

Luminance d'une source dont l'intensité lumineuse est 1 candela et la surface émissive 1 mètre carré.

M. Unité de radiance

ou  
R. Le lux (lm/m<sup>2</sup>)

Emittance d'une surface de 1 mètre carré, qui émet normalement, d'une manière uniformément répartie, un flux lumineux de 1 lumen.

Unité d'éclairement (anglaise)

E Foot candle : éclairement fourni par une source d'une intensité de une candela à un pied de distance  
(1 foot = 0,304 m).

Sa valeur en lux est :

$$1 \text{ fc} = \frac{1 \text{ cd}}{(0,305)^2} = \frac{1}{0,093} = 10,7 \text{ lux}$$

Unités d'éclairement lumineux

1 cd	=	1 lux
1 phot	=	10 000 lux
1 milliphot	=	10 lux
1 foot-candle	=	10,764 lux

Unités de luminance

Le stilb

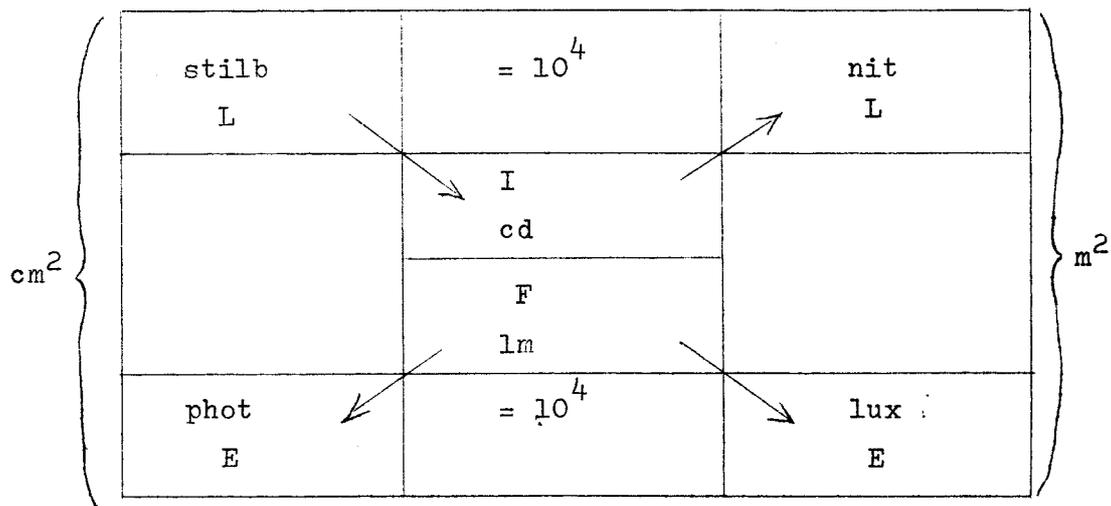
Avec la candela comme unité fondamentale d'intensité lumineuse nous choisissons comme unité de longueur le centimètre, l'unité de luminance est donc la candela par centimètre carré appelée stilb.

$$1 \text{ sb} = 1 \text{ cd/cm}^2 = 10^4 \text{ nt}$$

Le lux équivalent (ou blondel ou apostilb) est la luminance d'un diffuseur parfait recevant un éclairage de 1 lux.

Un autre système lié non à l'intensité mais à l'éclairage a donné naissance au phot équivalent appelé aussi lambert. C'est la luminance d'une surface qui obéit à la loi de Lambert et dont la radiance lumineuse est de 1 lumen par cm<sup>2</sup>.

1 cd par cm <sup>2</sup> .....	10 000 cd par m <sup>2</sup>
1 stilb .....	10 000
1 nit .....	1
1 candle per square foot .....	10,764
1 candle per square inch .....	1 550
1 phot équivalent .....	3 183
1 lambert .....	3 183
1 millilambert .....	3,183
1 lux équivalent .....	0,318
1 blondel .....	0,318
1 apostilb .....	0,318
1 equivalent foot candle .....	3,426
1 foot lambert .....	3,426



Eclairements

	lux
Par soleil brillant avant absorption atmosphérique.....	130 000
Plein soleil à midi en été, belle journée .....	100 000
Salle d'opération chirurgicale .....	10 000
Studio de prises de vues cinématographiques de 1 000 à 5 000	
Plein air, lieu découvert sans soleil-supérieur à .....	1 000
Travaux de précision .....	2 000
Travaux fin .....	1 000
Travaux de bureau .....	500
Travail d'atelier .....	200
Manutention, circulation .....	50
Pleine lune par belle nuit .....	0,2
Ciel nocturne sans lune .....	0,0003
Vénus à son plus grand éclat .....	8 x 10 <sup>-5</sup>
Sirius .....	9 x 10 <sup>-6</sup>

Luminances

Soleil hors atmosphère .....	$2 \times 10^9$ nits
Soleil au zenith vu au bord de mer .....	$1,3 \times 10^9$
Arc entre charbons purs .....	$16 \times 10^7$
Filament lampe au tungstène .....	5 à $10 \times 10^6$
Papier blanc au soleil ( $\rho = 0,6$ ) .....	$3 \times 10^4$
Ciel voilé brillant .....	$\sim 1 \times 10^4$
Ciel bleu pur à $75^\circ$ du soleil .....	$\sim 1,5 \times 10^3$
Ciel diurne, temps couvert .....	$< 1 \times 10^3$
pleine lune atmosphère clair .....	$2,5 \times 10^3$
ciel nocturne sans lune .....	$1 \times 10^{-4}$
Perception douloureuse .....	$1 \times 10^4$
Minimum perceptible .....	$1 \times 10^{-6}$

Il est recommandé pour ne pas subir l'éblouissement de ne pas présenter à l'oeil des sources de luminance supérieure à  $10^6$  nt environ.

Hauteur du soleil	5°	15°	25°	35°	45°	55°	65°	75°	85°
Eclairement solaire en lux	10 000	13 200	30 200	47 500	63 000	76 000	87 000	93 000	97 000
Eclairement du ciel bleu, à l'ombre en lux	4 800	8 200	10 600	12 300	13 700	14 800	15 500	16 000	16 300
Température de couleur °K	2 200	3 540	4 320	4 680	4 850	4 960	5 020	5 060	5 080

Facteur de réflexion de quelques surfaces ( $\rho$ )

Magnésie .....	0,95
Papier blanc glacé .....	0,80
Papier blanc courant .....	0,60
Marbre blanc .....	0,60
Ciment, pierre .....	0,50
brique .....	0,20 - 0,30
Etoffe .....	0,20 - 0,30
Noir typographique .....	0,10
Noir de fumée .....	0,03

Propriétés des matières

1° Matières opaques

Etat de la surface : polie ou dépolie

Si le corps est parfaitement poli, la lumière se réfléchit selon la loi de la réflexion. C'est la réflexion régulière ou spéculaire (fig.5). Si le corps n'est pas parfaitement poli le faisceau lumineux se réfléchit avec un maximum dans la direction de la réflexion régulière, le restant est diffusé dans toutes les directions. C'est le cas de la majorité des corps opaques.

Si la surface est dépolie la lumière est réémise dans toutes les directions c'est un corps mat ou corps diffusant. En général il y a toujours un maximum de flux réfléchi dans la direction de la réflexion régulière.

Facteur de réflexion régulière

$$\rho_r = \frac{F_r}{F_o}$$

La surface reçoit un flux  $F_o$  sous une incidence donnée elle réfléchit le flux  $F_r$ .

Ce facteur est fonction de l'incidence et croit avec l'angle d'incidence.

La luminance de la surface augmente aussi avec l'incidence et avec la direction d'observation.

Facteur de réflexion diffuse

$$\rho_d = \frac{F_d}{F_o}$$

Imaginons un corps pour lequel la luminance est constante quelle que soit la direction d'incidence de la lumière, on aurait entre l'éclairement et la luminance de la surface la relation  $\rho E = \pi L$  ou  $\frac{L}{E} = \text{Cte.}$   
Le rapport  $\beta = \frac{\pi L}{E}$  est appelé facteur de luminance.  
La luminance est constante et proportionnelle à l'éclairement.

On appelle facteur de luminance en un point et pour une direction d'observation donnée, le rapport de la luminance à celle d'un diffuseur parfait recevant le même éclairement.

#### Facteur total de réflexion

$$\rho = \frac{F_r + F_d}{F_o}$$

Si la lumière incidente est limitée à un groupe étroit de radiations de longueur d'onde moyenne  $\lambda$ , on définit alors le facteur spectral de réflexion régulière  $\rho_{r\lambda}$ , le facteur spectral de réflexion diffuse  $\rho_{d\lambda}$  et le facteur spectral total de réflexion  $\rho_{\lambda}$ .

La C.I.E a défini en 1931 les conditions standard de mesure d'un coefficient de réflexion qui consiste à éclairer l'objet sous une incidence de  $45^\circ$  et à l'examiner sous une incidence normale.

La surface peut absorber la totalité des radiations de la lumière (blanche) incidente. Le corps est alors dit noir ou obscur.

Si la matière absorbe partiellement mais également les différentes radiations et diffuse le restant, le corps est dit corps gris ou neutre.

Si la surface absorbe inégalement une partie des radiations et diffuse le restant, le corps est dit coloré les radiations diffusées donnent une sensation de couleur.

### Etalon photométrique d'intensité lumineuse

La candela est définie comme la soixantième partie de l'intensité, en direction normale d'un centimètre carré de corps noir à la température de solidification du platine.

#### Corps noir étalon (fig.6)

Il est constitué par un tube de thorine (oxyde de thorium) fondue, broyée et agglomérée. Les dimensions du tube sont : 2,3 mm de diamètre intérieur, 0,25 à 0,50 mm d'épaisseur. Le fond est rempli de thorine en poudre sur une hauteur de 12 à 15 mm, sa hauteur totale est d'environ 40 mm.

Ce tube de thorine plonge edans un bain de platine contenu dans un creuset en forme de tronc de cône inversé, formé par un couvercle percé d'un trou de 1,5 mm de diamètre. Il est calorifugé au moyen de thorine en poudre. L'ensemble est placé dans un tube en quartz fondu de 50 mm de diamètre et 150 mm de haut ; le tube est lui-même placé à l'intérieur d'un enroulement chauffant formé de vingt cinq tours de tube de cuivre refroidi par circulation d'eau. La puissance utilisée pour le chauffage est d'environ 3 KW. Pour l'étalonnage, on éclaire au moyen de l'étalon corps noir une cellule photoélectrique, on mesure l'éclairement de cette cellule en l'éclairant ensuite au moyen d'une lampe étalon E d'une intensité connue. On compare dans chaque essai l'éclairement de

de la cellule à l'étalon E. Il est alors facile de déduire de ces mesures la valeur de la luminance du corps noir.

### Les appareils photométriques

#### Classification

Mesure de l'intensité d'une source : le photomètre  
(bien que ce nom désigne l'ensemble des appareils utilisés en photométrie).

Mesure d'un flux lumineux : le lumenmètre.  
Actuellement on caractérise plutôt les sources lumineuses par leur flux que par leur intensité.

Mesure d'une luminance : le luminancemètre ou nitomètre.

Mesure d'un éclaircissement : le luxmètre.

Un même instrument peut servir à divers usages ; ainsi tout luxmètre peut servir à mesurer une intensité lumineuse par l'éclaircissement qu'elle produit à une distance donnée.

D'un autre point de vue, on peut distinguer :  
les appareils visuels où les déterminations sont faites au moyen de l'oeil toujours par égalisation.

Les appareils non visuels, dans lesquels on utilise un récepteur physique.

Procédés d'affaiblissement de la lumière

Variation de la distance d'une source à la plage qu'elle éclaire, l'incidence du faisceau étant constante. E varie comme  $\frac{1}{x^2}$ . On suppose que la source est ponctuelle.

Variation de l'inclinaison de la plage

moyen peu employé de gradation de la lumière (variation de la luminance).

Loi de Malus. Le flux lumineux traversant un polariseur et un analyseur est réduit proportionnellement au cosinus carré de l'angle que font entre elles les directions des vibrations lumineuses transmises.

Coins photométriques : malheureusement l'absorption est très variable avec la longueur d'onde, il est très difficile d'obtenir des filtres neutres dans lesquels on peut tailler ces coins.

Photomètres à écran diffusant

On égalise les luminances de deux diffuseurs disposés de manière qu'on les voie au contact ou se détachant l'une sur l'autre.

Dièdre de Ritchie (fig.7)

A et B sont les deux faces d'un dièdre chacune éclairée par l'une des sources S et S' placées aux distances x et x' ; quand l'oeil placé en O a la sensation d'égalité de luminance il y a égalité d'éclairement de chaque face du dièdre

$$E = E' = \frac{I}{x^2} = \frac{I'}{x'^2}$$

Ecrans se projetant l'un sur l'autre

Le dièdre de Ritchie est remplacé par deux plans obliques éclairés par les sources (fig.8).

Photomètre de Lummer et Brodhum (fig.9-10)

La partie essentielle est le cube de Lummer dont les variantes seront vues en optique géométrique. Les deux diffuseurs A et B sont placés dos à dos, ils reçoivent normalement les rayons des deux sources S et S'. Les écrans sont regardés sous l'angle de  $45^\circ$  par réflexion sur les miroirs M, M'. Au moyen du cube l'observateur vise simultanément les deux plages A et B.

Appareils transportables (luxmètres, luminancemètres)

Les mesures d'éclairement se ramènent toujours à des comparaisons de luminance de deux plages. Le diffuseur employé peut éclairer par réflexion ou transmission.

Photomètre de Macheth (fig.11)

Nitomètre Jobin et Yvon (fig. 12)

Luxmètre de Blondel (fig. 13)

Lumenmètre sphérique d'Ulbricht (fig. 14).

BIBLIOGRAPHIE

Introduction générale à la photométrie

Ch. FABRY (Revue d'Optique)

Optique physiologique. Tome II

Y. Le GRAND (Revue d'Optique)

Lumière

P. FLEURY et J.P. MATHIEU (Eyrolles)

Photométrie Eclairage

M. COHU (Masson et Cie)

Définition et mesure des caractéristiques  
des écrans de projection NF S 28-007  
mai 1955

La norme a pour objet de définir les caractéristiques, photométriques des écrans de projection utilisés dans les salles de cinéma.

1° Taux de réflexion

L'écran étant éclairé au moyen d'un projecteur à flux dirigé produisant un faisceau de même axe et d'angle total au sommet compris entre 10 et 15 degrés, le facteur de brillance  $\beta_{\alpha}$  de l'écran dans une direction donnée est défini par le rapport des brillances que présentent dans cette direction respectivement l'écran et un échantillon blanc étalon appliqué parallèlement à l'écran en son centre.

Le taux de réflexion dans une direction déterminée par son inclinaison  $\alpha$  par rapport à la normale est défini par la formule

$$R_{\alpha} \% = \beta_{\alpha} \times \frac{100}{K}$$

K étant le facteur total de réflexion de l'échantillon blanc étalon (pastille de magnésie ou autre).

Les mesures de brillance s'effectuent au moyen d'un photomètre visuel à comparaison.

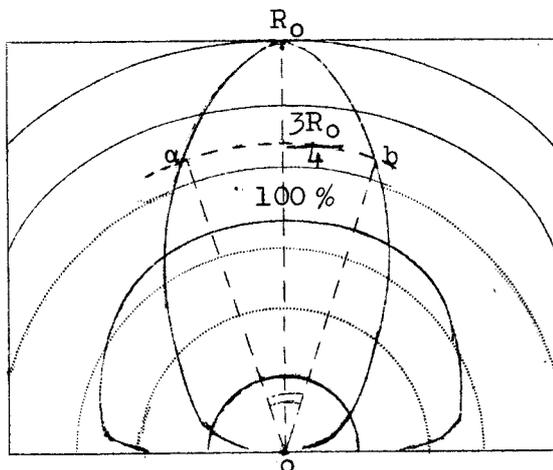
## 2° Indicatrice de réflexion

L'écran et l'échantillon étant éclairés dans les mêmes conditions que ci-dessus, déplacer le brillancemètre de façon à viser le centre de l'écran sous diverses inclinaisons  $\alpha$  par rapport à la normale.

L'indicatrice de réflexion de l'écran est la courbe qui traduit la variation du taux de réflexion  $R_0$  % en fonction de l'inclinaison  $\alpha$  comptée à partir de la normale à l'écran ; cette courbe est tracée sur un diagramme à coordonnées polaires au moyen de mesures effectuées de  $10^\circ$  en  $10^\circ$  pour les écrans dits mats ( $R_0 < 100$  %) et de  $5^\circ$  en  $5^\circ$  pour les écrans dits brillants ( $R_0 > 100$  %).

### Angle utile

En conformité avec les spécifications d'uniformité de la brillance des écrans de projection en fonction de la direction d'observation (NF S 27-003) il est défini, pour chaque type d'écran un angle utile correspondant à l'angle sous lequel l'indicatrice de réflexion ne présente pas une baisse du taux de réflexion  $R$  % de plus de 25 % par rapport à la valeur  $R_0$  %. L'angle utile est représenté sur le diagramme polaire de l'indicatrice de réflexion par les droites joignant le centre O aux deux points d'intersection ab de l'indicatrice par l'arc de cercle de rayon  $\frac{3R_0}{4}$



	Grandeur ou espèce physique			Unités du S.I.	
	Nom	Symbole	Relation de définition	légal et obligatoire	symbole
Grandeurs fondamentales du S.I.	Longueur	L $\ell$		mètre	m
	Masse	M		kilogramme	Kg
	Temps	Tt		seconde	s
	Intensité de courant électrique	Ii		ampère	A
	Température	t T $\Theta$	Echelle Celsius Echelle absolue	degré Kelvin	°K
	Intensité lumineuse	I		candela	cd
	Quelques grandeurs géométriques	Aire, surface	A S	$S = L^2$	mètre carré
Volume		V	$V = L^3$	mètre cube	m <sup>3</sup>
Angle plan		$\alpha\beta$ $\gamma\theta$	$\theta = \frac{\text{arc}}{\text{rayon}}$	radian	rd
Angle solide		$\Omega$	$\Omega = \frac{\text{aire sphérique}}{r^2}$	stéradian	sr
Vergence des systèmes optiques			$\frac{1}{\text{distance focale}}$	dioptrie $\delta = \frac{1}{m}$	$\delta$
			Vergence > 0 Vergence < 0	convergence divergence	
Rayonnement Photométrie énergétique	Intensité lumineuse	I		candela	cd
	Travail Energie	W	$W = F \times \ell$	newton-mètre ou joule	J
	Coefficient de rayonnement	$\xi$		Watt par mètre carré	W/m <sup>2</sup>
	Flux d'énergie	$\mathcal{F}$ $\Phi$	$\Phi = \frac{dW}{dt}$	Watt	W

Grandeur ou espèce physique				Unités du S.I.	
	Nom	Symbole	Relation de définition	légal et obligatoire	symbole
Rayonnement Photométrie énergétique	Intensité énergétique	I	$I = \frac{d\phi}{d\Omega}$	watt par stéradian	w/sr
	Densité de flux d'énergie	$\psi$	$\psi = \frac{d\phi}{dS}$	watt par mètre carré	w/m <sup>2</sup>
	Emittance ou radiance	R M	$R = \frac{d\phi}{dS}$	watt par mètre carré	w/m <sup>2</sup>
	Luminance d'une source	L	$L = \frac{I}{S}$	watt par mètre carré	w/m <sup>2</sup>
	Quantité d'énergie rayonnante	$\omega$	$\omega = \phi t$	joule	J
Photométrie lumineuse	Flux lumineux	F	$F = I\Omega$	lumen	lm
	Intensité lumineuse	I	fondamentale	candela	cd
	Eclairement	E	$E = \frac{dF}{dS}$	lumen par m <sup>2</sup> ou lux	lx
	Emittance ou Radiance	R	$R = \frac{dF}{d\Omega}$	lumen par m <sup>2</sup> ou lux	lx
	Luminance ou Brillance	L	$L = \frac{dI}{d\Omega \cos \alpha}$	candela par mètre carré ou nit (nt)	cd/m <sup>2</sup>
	Quantité de lumière	$Q_l$	$Q_l = L.t$	lumen.seconde	lm/s
	Quantité d'éclairé- ment	$Q_e$	$Q_e = E.t$	lux seconde	lx.s

Symboles d'unités

Nom	Symbole	
	correct	incorrect
degré Celsius	°C	° C°
degré Kelvin	°K	° k°
candela	cd	Cd Bougie B
dioptrie	δ	D diop. dt.
grade	gr	g Gr
lumen	lm	Lm L lu
lux	lx	lu
mètre	m	mtre M
degré (unité d'arc)	°	
minute (unité d'arc)	'	
seconde (unité d'arc )	"	
micron	μ	
manomètre	nm	
radian	rd	rad Rd
seconde	s	S sec.
stéradian	sr	Sr
<u>Symboles d'unités composées</u> : quotient : n'user		
qu'une seule fois du trait de fraction		
	J/s.m2	J/s/m2

Dans un texte où les noms d'unités figurent en toutes lettres, ils prennent l's au pluriel et s'écrivent tout en minuscules. Les symboles par contre ne prennent jamais l's au pluriel.

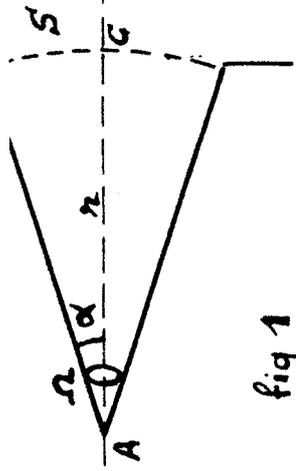


fig 1

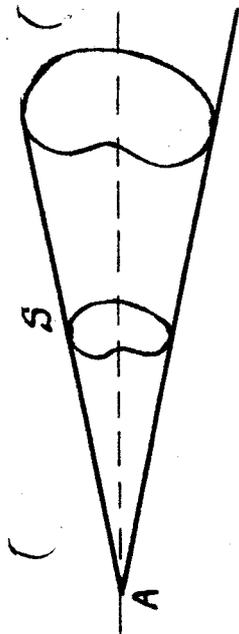


fig 2

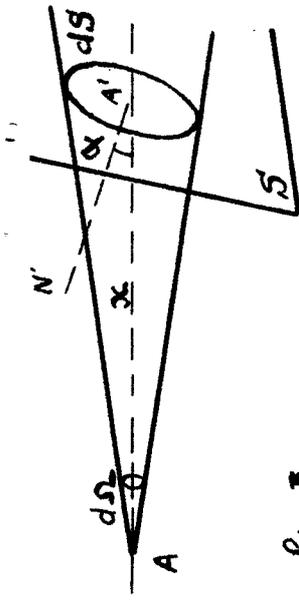


fig 3

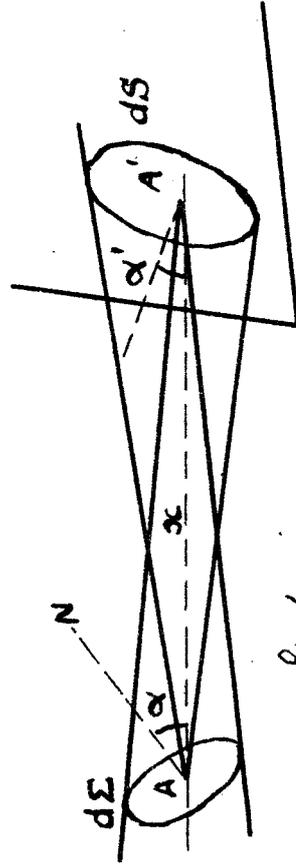


fig 4

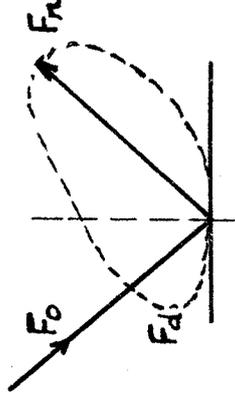
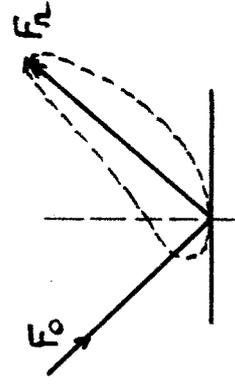


fig 5



cellule

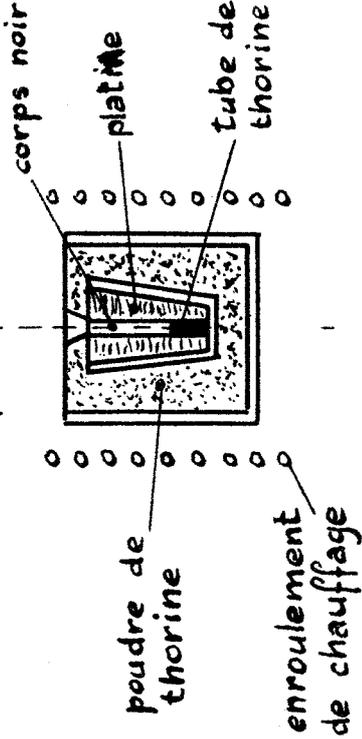
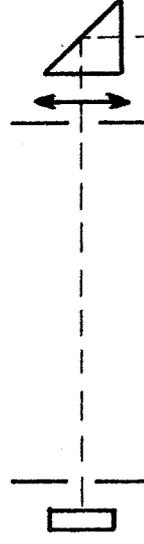


fig 6



fig 7

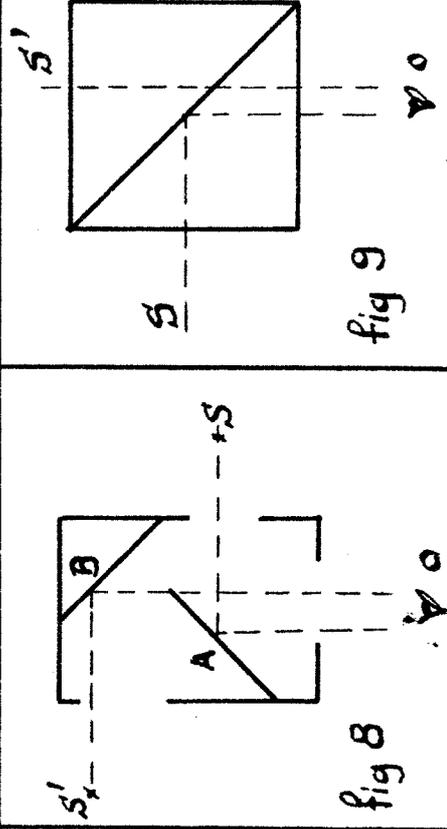


fig 8

fig 9

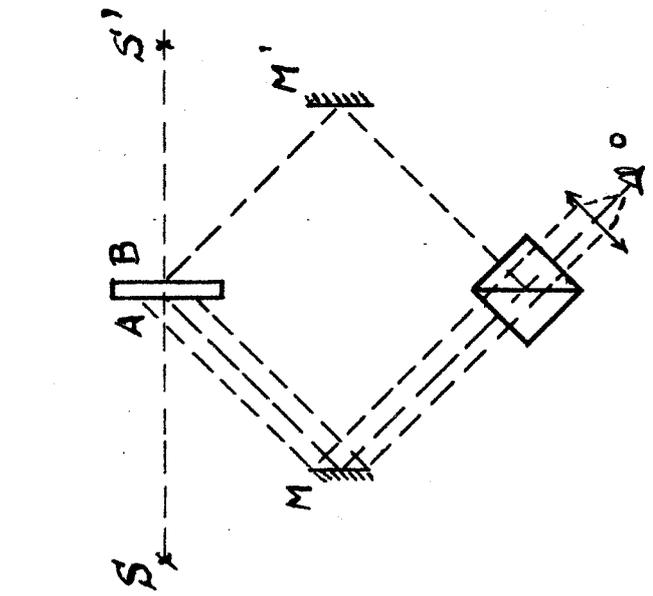


Fig 10

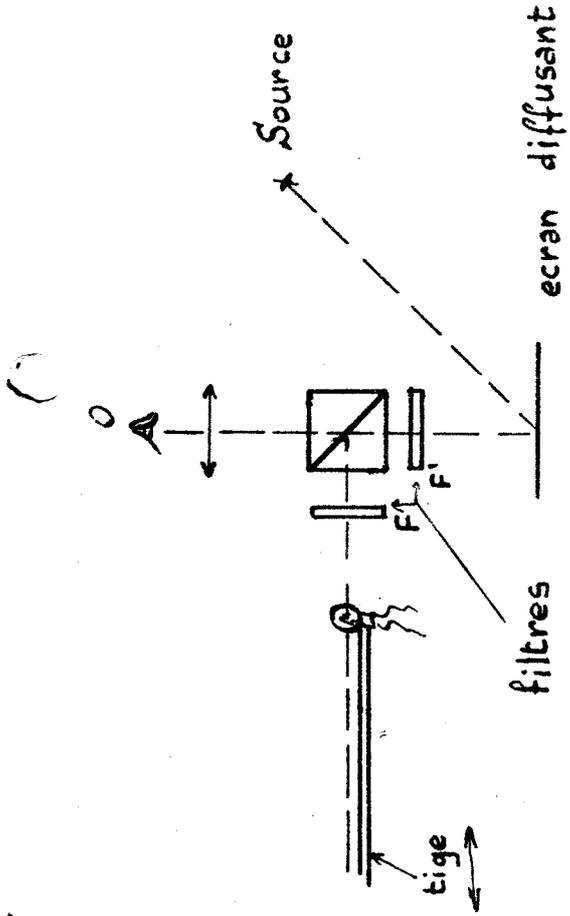


Fig 11

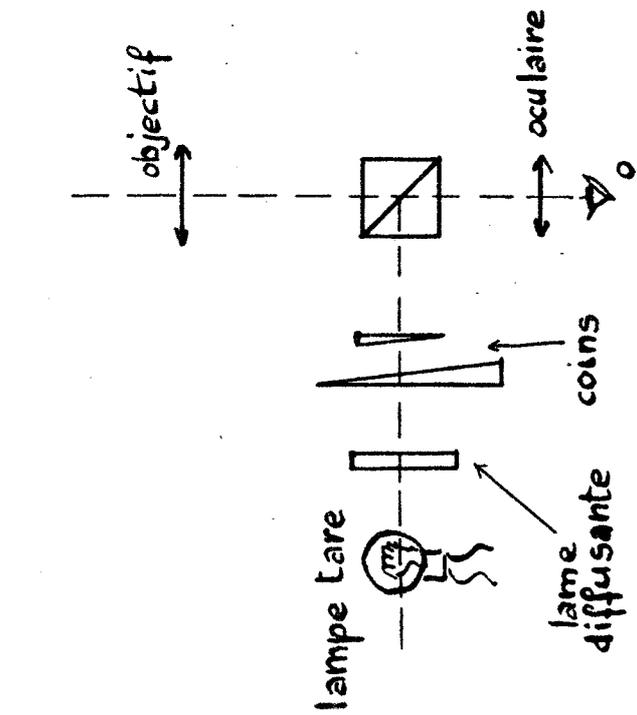


Fig 12

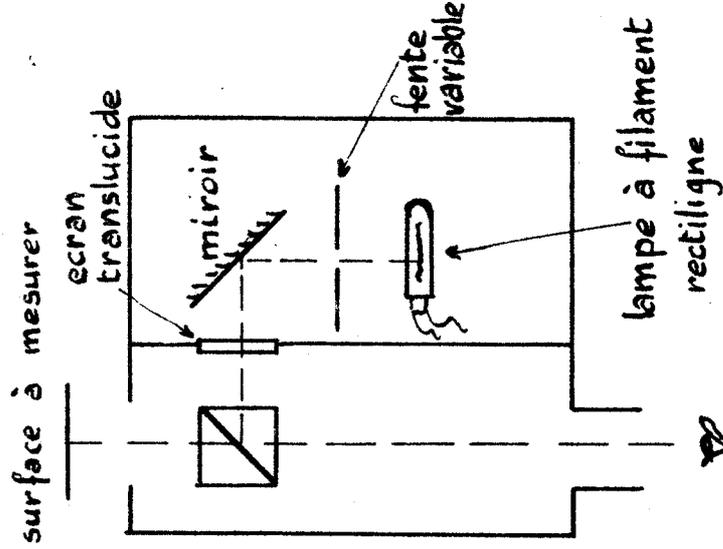


Fig 13

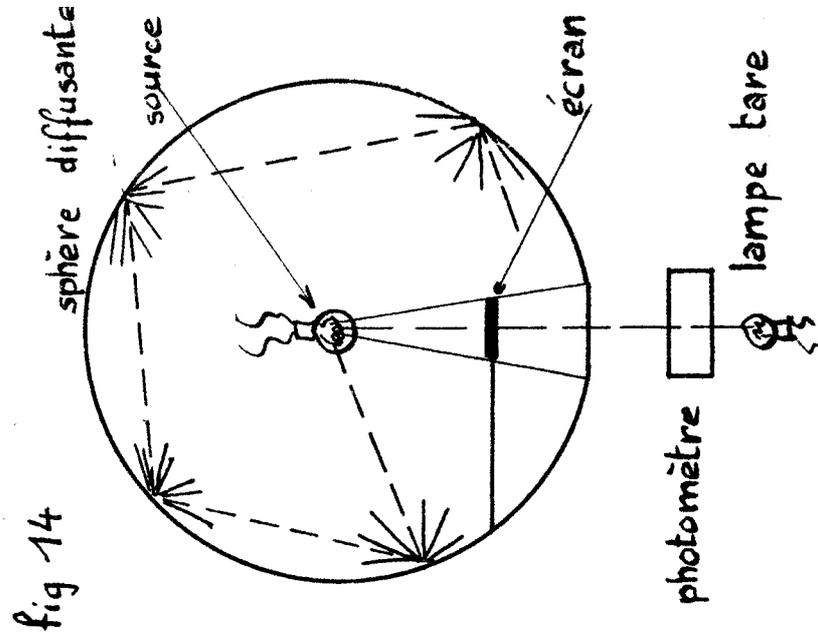


Fig 14