# 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.**
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 nº 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)**
    - **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**
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 passible 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**

| | |
|---|---|
| **Auteur(s)** | **Gillet de Valbreuze, Robert (1877-1953)** |
| **Titre** | **Principes et applications de l'éclairage : conférences faites au Conservatoire national des arts et métiers** |
| **Adresse** | **Paris : Société pour le perfectionnement de l'éclairage, 1929** |
| **Collation** | **1 vol. (143 p.) : ill. ; 22 cm** |
| **Nombre de vues** | **148** |
| **Cote** | **CNAM-BIB 8 Ce 78 (10)** |
| **Sujet(s)** | **Éclairage électrique** |
| **Thématique(s)** | **Énergie**<br>**Histoire du Cnam** |
| **Typologie** | **Ouvrage** |
| **Langue** | **Français** |
| **Date de mise en ligne** | **29/10/2026** |
| **Date de génération du PDF** | **29/10/2026** |
| **Recherche plein texte** | **Disponible** |
| **Notice complète** | https://www.sudoc.fr/12727281X |
| **Permalien** | https://cnum.cnam.fr/redir?8CE78.10 |

N° 10 8°Le 78 P734
8 678 (10)

# Principes et Applications

de

# L'ÉCLAIRAGE

par

CONSERVATOIRE DES ARTS & METIERS

ROBERT DE VALBREUZE

---

## Conférences

faites au

## Conservatoire National des Arts et Métiers

---

**Société pour le Perfectionnement de l'Éclairage**
**134 Boulevard Haussmann, Paris**

Brochure N° 10 1929 R. C. Seine 220.264

# BROCHURES ÉDITÉES

PAR LA

# SOCIÉTÉ POUR LE PERFECTIONNEMENT DE L'ÉCLAIRAGE.

---

N° 0. Notions d'Electricité.

N° 1. Lumière et Vision.

N° 2. Réflecteurs et Diffuseurs.

N° 3. Unités et Mesures Photométriques.

N° 4. Projets d'Eclairage.

N° 4 (Annexe n° 1). Appareils d'Eclairage.

N° 5. L'Eclairage des Magasins.

N° 5$^{bis}$. L'Eclairage des Devantures de Magasins.

N° 6. L'Eclairage des Ateliers.

N° 7. L'Eclairage des Habitations.

N° 8. L'Eclairage des Bureaux et des Ecoles.

N° 9. L'Eclairage des Voies Publiques.

Ces brochures sont envoyées gratuitement

*sur demande adressée à la Société pour le Perfectionnement de l'Eclairage*

*134 Boulevard Haussmann, Paris (8$^{e}$).*

# Principes et Applications

de

# L'ECLAIRAGE

# Principes et Applications

de

# L'ÉCLAIRAGE

par

ROBERT DE VALBREUZE

CONSERVATOIRE N.T. DES ARTS & MÉTIERS BIBLIOTHÈQUE

---

## Conférences

faites au

**Conservatoire National des Arts et Métiers**

---

# INTRODUCTION

La présente brochure, qui reproduit intégralement les conférences faites au Conservatoire National des Arts et Métiers, contient TOUT ce qu'il est utile de savoir sur les principes et les applications de l'Eclairage. Il est donc permis d'espérer qu'elle pourra rendre service à ceux qui voudront bien prendre la peine de la feuilleter. La lecture en est d'ailleurs facile et rapide, en raison de la forme élémentaire, de la clarté et de la concision du texte, qu'illustrent des schémas simples et des exemples appropriés.

Les différents chapitres sont les suivants :

LA LUMIÈRE :

*(Théorie de l'émission ; théorie ondulatoire ; théorie électromagnétique ; théories modernes ; théorie des quanta.)*

LE RAYONNEMENT :

*(Flux d'énergie ; flux lumineux ; spectre ; courbes spectrales d'énergie et de luminosité ; cofficient de visibilité.)*

GRANDEURS, UNITÉS ET MESURES PHOTOMÉTRIQUES :

*(Flux lumineux ; intensité lumineuse ; éclairement ; brillance ; photomètres ; luxmètres.)*

SOURCES LUMINEUSES :

*(Soleil ; flammes ; lampes à incandescence ; efficacité lumineuse ; brillance.)*

La Vision :

*(Œil ; impression visuelle ; durée de vision en fonction de l'éclairement ; éblouissement.)*

Conditions fondamentales d'un bon éclairage :

*(Lumière de caractéristiques appropriées ; éclairement convenable ; suppression de l'éblouissement direct, par réflexion et par contraste ; bonne diffusion.)*

Lampes électriques :

*(Conditions d'établissement et d'utilisation des lampes à incandescence ; lampes à vapeur de mercure ; tubes luminescents.)*

Différents systèmes d'éclairage :

*(Eclairage direct, indirect, semi-direct, semi-indirect ; propriétés optiques des matériaux utilisés.)*

Appareils d'éclairage :

*(Réflecteurs, diffuseurs, appareils et dispositifs divers employés pour réaliser les différents systèmes d'éclairage.)*

Applications pratiques :

*(Eclairage des intérieurs : pièces d'habitation, magasins, bureaux, écoles ; éclairage des façades et devantures de magasins ; éclairage des ateliers ; éclairage des voies publiques ; éclairage des grands espaces découverts.)*

# LA LUMIÈRE

Malgré que ce sujet ait fait l'objet des magistrales conférences de MM. Louis de Broglie, Eugène Bloch et Léon Bloch, je crois utile, pour la compréhension de ce qui suit, de vous résumer très brièvement les idées des physiciens sur la constitution de la lumière, de l'électricité et de la matière.

### Théorie de l'émission.

Les philosophes anciens attribuaient à la lumière une forme corpusculaire.

Cette même idée est à la base de la *théorie de l'émission* de Newton, d'après laquelle chaque source lumineuse est supposée émettre tout autour d'elle des essaims de particules matérielles extrêmement petites (corpuscules) se déplaçant en ligne droite avec une très grande vitesse.

La sensation de vision est supposée produite par la pénétration des corpuscules dans l'œil, la visibilité des corps ou objets étant due à la réflexion des corpuspuscules sur ces corps ou objets.

### Théorie des ondulations.

La théorie de l'émission fut en honneur pendant tout le dix-huitième siècle.

Cependant, dès la fin du siècle précédent, Huyghens avait proposé une théorie tout à fait différente, *la théorie des ondulations*, qui fut reprise et complétée cent ans plus tard par Fresnel, auquel elle permit

d'interpréter les phénomènes d'interférence et de diffraction.

Dans cette théorie, on suppose que la lumière est propagée par le mouvement vibratoire d'un milieu hypothétique, l'éther, qui, sous l'action de certains étranlements, serait le siège de vibrations transversales *élastiques* se propageant de proche en proche sous forme d'ondes. Mr. de Broglie vous a rappelé l'exemple classique des rides ou des vagues qui prennent naissance et se propagent à la surface d'une eau calme quand la chute d'un corps y détermine un ébranlement (1) : les crêtes des vagues restent toujours également espacées et cheminent avec une *vitesse de propagation* constante, qui est égale au chemin parcouru par le *front de l'onde* pendant l'unité de temps ; la distance constante entre deux crêtes successives mesure la *longueur d'onde* ; enfin, le nombre de crêtes qui passent pendant l'unité de temps en un point fixe quelconque donne la *fréquence* du mouvement vibratoire.

La vitesse, la longueur d'onde et la fréquence sont liées entre elles par une relation simple. En effet, la vitesse est égale au produit de la longueur d'onde par la fréquence, puisque celle-ci mesure le nombre de longueurs d'ondes qui défilent en un point donné pendant l'unité de temps. En appelant V la vitesse de propagation, $\nu$ la fréquence du mouvement vibratoire, $\lambda$ la longueur d'onde, on a donc la relation :

$$V = \nu \lambda$$

$$\lambda = \frac{V}{\nu} \qquad \nu = \frac{V}{\lambda}$$

(1) Il importe de remarquer que ce ne sont pas les molécules d'eau elles-mêmes qui se transportent : c'est le *mouvement périodique* des molécules qui se *propage* de proche en proche.

On s'en rend compte en observant les mouvements d'un bouchon flottant à la surface de l'eau : ce bouchon s'élève et s'abaisse alternativement, mais *sans se déplacer latéralement*.

La vitesse de la lumière a été mesurée avec une grande précision : elle a pour valeur 299.800 km. par seconde dans le vide ; sa valeur dans l'air est très peu différente ; pour simplifier, on prend le chiffre de 300.000 km. par seconde. Ce chiffre étant donné, on calcule facilement la fréquence quand on connait la longueur d'onde, et inversement.

**Théorie électromagnétique.**

Pendant que la théorie ondulatoire de la lumière s'affermissait, l'étude des phénomènes électriques et magnétiques et de leur interdépendance conduisait les physiciens à admettre également, pour expliquer les transferts d'énergie d'un circuit à un autre, l'hypothèse d'un milieu intermédiaire, qui ne tarda pas à être identifié avec l'éther des ondes lumineuses.

Dans une magistrale théorie, Maxwell bâtit la *théorie électromagnétique de la lumière* en supposant :

1° qu'il doit exister des ondes électromagnétiques non lumineuses propagées, comme les ondes lumineuses, par des perturbations transversales de l'éther ;

2° que la vitesse de propagation de ces ondes doit être la même que la vitesse de la lumière.

Ces hypothèses reçurent une éclatante confirmation expérimentale lorsque Hertz, ayant réussi à produire, au moyen d'un oscillateur électrique, des ondes électromagnétiques d'une longueur d'onde infiniment plus grande que celle des ondes lumineuses, parvint à répéter sur elles toutes les expériences fondamentales de l'optique. L'identité absolue qui existe entre une onde lumineuse et une perturbation électromagnétique se trouvait définitivement démontrée : il fut constaté, d'autre part, que la vitesse de propagation était la même dans les deux cas, comme l'avait prévu Maxwell.

La théorie électromagnétique de la lumière n'était d'ailleurs pas en contradiction avec la théorie ondulatoire. Au lieu d'un éther mécanique, si l'on peut dire, dont on considérait les vibrations élastiques, les physiciens étaient amenés à envisager l'éther comme support du champ électromagnétique, c'est-à-dire comme un milieu continu présentant, sous l'action des champs électrique et magnétique, certaines propriétés particulières. C'était là, évidemment, une conception beaucoup plus abstraite que la précédente, mais néanmoins accessible : Maxwell s'était même appliqué à imaginer un modèle mécanique donnant une représentation de l'éther.

**Hypothèses sur la constitution de la matière.**

L'édifice dont Maxwell avait bâti les fondations paraissait d'une solidité inébranlable. D'autre part, la théorie atomique avait été amenée à un grand degré de perfection : les propriétés de la matière et les phénomènes observés avaient été expliqués par les mouvements et les actions réciproques des atomes. L'atome, toutefois, considéré comme la plus petite particule élémentaire qui puisse exister d'un corps simple, n'était pas le même pour les différents corps simples, chacun d'eux ayant son genre d'atome particulier.

Depuis une trentaine d'années, de nouvelles découvertes ont permis de pénétrer dans les secrets de l'atome lui-même, grâce aux admirables travaux de J. J. Thomson, de Lorentz, de Rutherford, de Bohr et d'un grand nombre d'autres physiciens. Il a été établi que l'électricité présente une structure granulaire; l'électricité négative est formée de corpuscules nommés *électrons*, dont on a réussi à déterminer la charge électrique, la masse, et même les dimensions approximatives, qui sont de l'ordre du millionième de millionième de millimètre ; quant à l'électricité positive,

il semble qu'elle soit formée également de particules élémentaires, nommées *protons*, dont la charge électrique unitaire est égale et opposée à celle de l'électron ; la masse du proton est, toutefois, beaucoup plus grande que celle de l'électron mais, par contre, ses dimensions sont encore plus petites.

En ce qui concerne la matière, on a été amené à supposer que les atomes de chaque corps sont formés par des combinaisons de protons et d'électrons, rassemblés en nombre tels que l'ensemble soit électriquement neutre, et disposés de façon à constituer des groupements plus ou moins stables (1). L'atome apparaît ainsi semblable à un petit monde, ayant un diamètre total de l'ordre d'un dix-millionième de millimètre, formé d'un noyau central comprenant tous les protons et quelques électrons, puis d'un certain nombre d'autres électrons isolés situés sur différentes orbites près de la périphérie. L'excès du nombre de protons par rapport au nombre d'électrons dans le noyau, c'est-à-dire la charge électrique du noyau, diffère suivant la nature de l'atome et détermine le corps simple auquel cet atome appartient.

En résumé, les physiciens sont arrivés à considérer que tous les atomes sont composés de protons et d'électrons, et ils sont parvenus à expliquer les différentes propriétés de la matière par les groupements, les mouvements et les actions réciproques de ces deux sortes de corpuscules.

*La* LUMIÈRE *est engendrée par les recombinaisons consécutives aux perturbations qu'occasionne, dans les éléments constitutifs de l'atome, l'action d'une décharge électrique ou d'une élévation de température.* Ce sont

(1) Quand l'ensemble n'est pas suffisamment stable, l'atome se décompose spontanément, comme c'est le cas pour le radium, l'uranium, etc...

ces mouvements des corpuscules qui donnent naissance aux phénomènes de rayonnement : il y a alors transport d'énergie à travers l'espace, et, si la fréquence des radiations est comprise entre des limites déterminées, il y a émission de lumière.

### Théorie des quanta.

En étudiant le mécanisme de cette émission, Planck a été amené à supposer que la radiation de la lumière ne se produit pas d'une façon continue, mais d'une façon pulsatoire ou spasmodique, par bonds discontinus, chaque bond correspondant à une *quantité d'énergie exactement déterminée*, proportionnelle à la fréquence de la radiation. Le coefficient de proportionnalité est toujours le même ; il est indépendant de la nature des sources lumineuses et a une valeur constante que l'on a pu déterminer avec précision.

Cette théorie, connue sous le nom de *théorie des quanta* (1), a permis d'expliquer certains phénomènes qui n'étaient pas en accord avec les théories admises jusque-là. Elle a introduit dans l'étude des radiations la notion de discontinuité, et a ramené les physiciens à l'hypothèse d'une structure granulaire de la lumière, les sources lumineuses étant supposées lancer en tous sens autour d'elles des corpuscules d'un troisième genre, que l'on désigne souvent sous le nom de *photons*.

### Coexistence des deux théories, ondulatoire et corpusculaire.

Une telle hypothèse ne paraissait pas conciliable avec les phénomènes d'interférence. Or, comme vous l'a rappelé M. Eugène Bloch, un certain nombre de physiciens ont pu observer récemment, sur des fais-

(1) Le *quantum d'énergie* a pour valeur $\varepsilon = h\nu$,
$h$ étant la constante universelle de Planck et $\nu$ la fréquence de la radiation.

ceaux d'électrons, des interférences analogues à celles que l'on obtient avec des radiations lumineuses.

Ce résultat conduit à supposer que les deux théories, corpusculaire et ondulatoire, doivent coexister simultanément, comme l'avait prévu quelques années auparavant, avec une rare perspicacité, Mr. Louis de Broglie.

Ainsi que lui-même et M. E. Bloch vous l'ont expliqué, Mr. de Broglie, en étudiant ces difficiles problèmes, était arrivé à la conception que l'on doit considérer *à la fois* des corpuscules et des ondes, et il a fondé sur cette hypothèse une mécanique nouvelle, la *mécanique ondulatoire*, dans laquelle le mouvement d'un corpuscule se déduit de la propagation d'une onde.

En résumé, on est amené à envisager actuellement la lumière comme présentant une *double structure*, puisque ses effets optiques sont explicables seulement si on lui suppose la forme d'ondes électromagnétiques, et ses effets électriques sont explicables seulement si on lui suppose la forme corpusculaire : il faut admettre, en outre, que ces deux formes sont intimement associées l'une à l'autre.

Tout cela est encore bien obscur.

# LE RAYONNEMENT

Toute source lumineuse rayonne de l'énergie à travers l'espace. Ce rayonnement est, en général, complexe et comprend une quantité innombrable de *radiations simples*, dites *monochromatiques*, ayant toutes des fréquences différentes les unes des autres.

*Chaque radiation simple est caractérisée par sa fréquence : cette fréquence reste invariable tant que la radiation subsiste*, quels que soient les obstacles rencontrés. Au contraire, la vitesse de propagation et, par suite, la longueur d'onde, dépendent du milieu dans lequel a lieu la propagation.

Une partie, d'ailleurs infime, du rayonnement total donne à notre œil la sensation de lumière. De part et d'autre du petit groupe de *radiations visibles*, il existe, en général, une infinité de *radiations invisibles* qui peuvent être décelées au moyen de dispositifs appropriés.

**Énergie transportée par le rayonnement.**

Le rayonnement transporte, à travers l'espace, une certaine *quantité d'énergie*. Bien entendu, cette énergie est rayonnée au dépens de l'énergie propre du système qui rayonne, auquel il faut, en conséquence, fournir une énergie équivalente si l'on veut que le phénomène persiste.

On peut mesurer cette quantité d'énergie en la transformant au préalable en chaleur ; il suffit, pour cela, de faire tomber les radiations sur une surface

noire qui les absorbe entièrement, et de mesurer ensuite la quantité de chaleur produite.

En divisant la quantité d'énergie rayonnée par la durée du rayonnement, on obtient la *quantité d'énergie par unité de temps*, c'est-à-dire le *débit d'énergie* ou la *puissance* de la source : on donne à cette grandeur le nom de FLUX D'ÉNERGIE.

De même, pour le petit groupe de radiations visibles, on peut considérer *la quantité de lumière par unité de temps*, c'est-à-dire la *puissance lumineuse* de la source : on donne à cette grandeur le nom de FLUX LUMINEUX.

A titre d'indication, le flux d'énergie total émanant du soleil serait capable de faire fondre par seconde plus d'un million de millions de millions (un quadrillion) de tonnes de glace (1). Le flux d'énergie reçu par la terre vers midi par une belle journée d'été dépasse 1 kilowatt par mètre carré.

### Pression exercée par le rayonnement.

Les radiations exercent une pression sur les surfaces qu'elles atteignent.

La pression exercée sur la surface totale de la terre par les radiations solaires est de l'ordre de 70.000 tonnes. Cette pression est négligeable par rapport aux forces de gravitation pour les corps qui ont une forte masse ; elle intervient, au contraire, quand il s'agit de corpuscules de très petit diamètre, tels que ceux dont sont composés les queues des comètes.

### Spectre.

Le rayonnement, nous l'avons vu, est formé d'un faisceau de radiations de fréquences différentes.

---

(1) Ce flux d'énergie correspond à $38.10^{22}$ kilowatts (c'est-à-dire 38 suivi de vingt-deux zéros, soit 380.000 quadrillions ou 380.000 millions de millions de millions de kilowatts).

On peut étudier la répartition de l'énergie dans ce faisceau : pour cela, on l'analyse au moyen d'appareils appropriés. Les uns, nommés *réseaux*, utilisent les phénomènes de diffraction ; les autres, nommés *prismes*, utilisent les phénomènes de réfraction : les uns et les autres ont pour effet de dévier et de décomposer en ses éléments constitutifs le faisceau de radiations sur le trajet duquel ils sont interposés. Le faisceau se trouve alors étalé en éventail, et l'on obtient ce que l'on appelle un *spectre*.

Suivant la nature de la source qui rayonne de l'énergie, le spectre obtenu est *continu* ou bien *discontinu*. Dans le premier cas, qui correspond, en général, au rayonnement des corps incandescents, le spectre comprend une quantité innombrable de radiations dont les longueurs d'onde diffèrent insensiblement les unes des autres. Dans le second cas, qui correspond, en général, au rayonnement des gaz luminescents, le spectre comprend seulement un nombre défini de radiations dont les longueurs d'onde sont nettement séparées les unes des autres (1).

### Courbes spectrales d'énergie.

En faisant agir sur un appareil approprié une très petite portion du spectre d'une source, on peut mesurer l'effet calorifique du petit groupe de radiations dont les longueurs d'onde, très voisines les unes des autres, correspondent à cette portion du spectre ; on détermine ainsi le flux d'énergie transporté par ce groupe de radiations.

En répétant la même opération tout du long du spectre, on a la possibilité de tracer, en fonction des

(1) On a coutume de définir chaque radiation simple par sa longueur d'onde dans l'air à la température de 15° et sous la pression de 76 cm. L'unité de longueur généralement employée est le millième de millimètre, que l'on désigne sous le nom de micron et que l'on représente par la lettre grecque $\mu$.

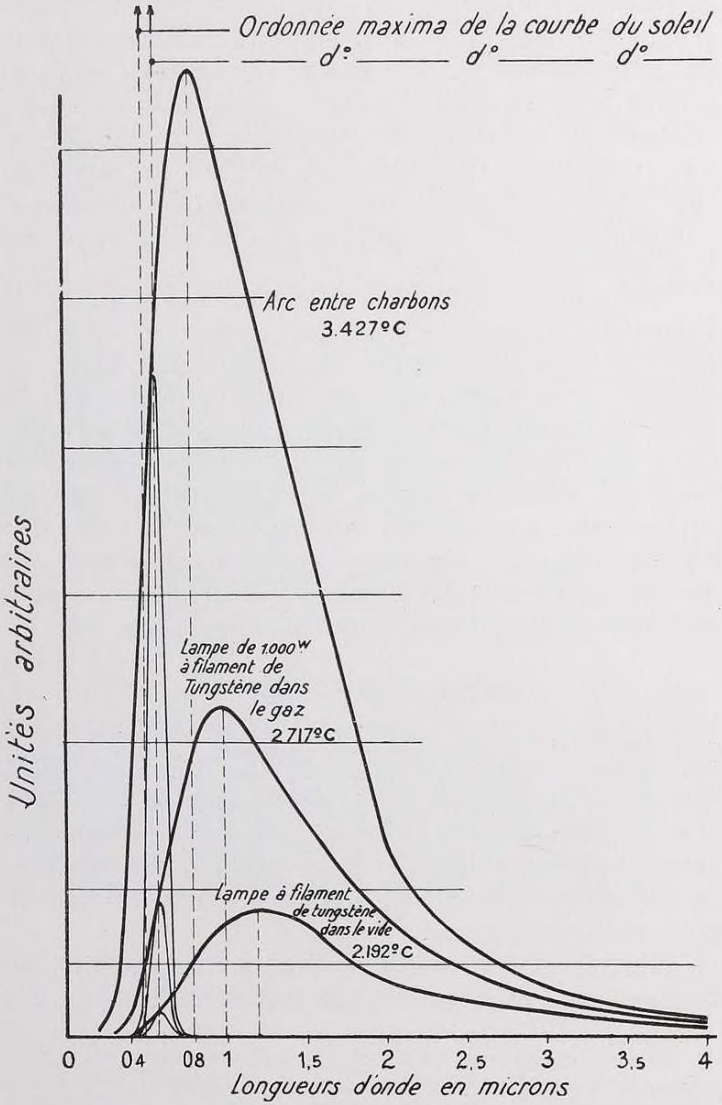



Fig. 1. — Courbes spectrales d'énergie et courbes spectrales de luminosité. de rayonnements correspondant à différentes températures.

longueurs d'onde, la *courbe spectrale d'énergie* de la source considérée.

Les courbes en trait fort de la figure 1 en montrent un exemple : elles sont relatives au rayonnement du tungstène à 2192 degrés centigrades (filament incandescent dans le vide), du tungstène à 2717 degrés centigrades (filament incandescent dans une atmosphère gazeuse), ou du carbone à 3427 degrés centigrades (cratère de l'arc électrique).

La surface comprise entre chacune de ces courbes et l'axe des abscisses est proportionnelle au flux d'énergie correspondant.

**Courbes spectrales de luminosité.**

Si, au lieu d'utiliser un appareil sensible aux effets calorifiques, on explore le spectre au moyen de l'œil humain aidé d'un appareil approprié, on peut tracer, pour le groupe des radiations visibles, une courbe exprimant, en fonction des longueurs d'onde, l'*effet visuel* des radiations considérées.

Cette *courbe spectrale de luminosité* aura une forme analogue à celle des courbes en trait fin de la figure 1, pour les sources de rayonnement dont les courbes en trait fort représentent les courbes spectrales d'énergie.

D'après les positions et les surfaces relatives de chacune des paires de courbes, on voit que l'*œil n'est capable de déceler qu'une portion tout à fait infime du rayonnement total*. La région visible du spectre est très étroite : ses limites extrêmes sont imprécises et dépendent des observateurs ; on les fixe aux environs de 0,38 μ et 0,75 μ. Une sensation de couleur déterminée est associée à chaque longueur d'onde : violette de 0,38 à 0,45 μ ; bleue de 0,45 à 0,49 μ ; verte de 0,49 à 0,55 μ ; jaune de 0,55 à 0,59 μ ; orange de 0,59 à 0,63 μ ; rouge de 0,63 à 0,75 μ. Ces différentes couleurs varient d'une façon progressive sans solution de

continuité. La superposition des radiations visibles des différentes couleurs du spectre donne la sensation de lumière blanche, comme le montre l'expérience bien connue du disque de Newton.

Les radiations dont les longueurs d'onde sont inférieures ou supérieures à celles des radiations visibles sont généralement désignées sous le nom d'ultra-violettes ou d'infra-rouges.

*A mesure que la température d'une source lumineuse s'élève, le maximum de sa courbe spectrale d'énergie se déplace vers les courtes longueurs d'onde*, c'est-à-dire vers le bleu. Wien a montré que, si l'on appelle $\lambda_{max}$ la longueur d'onde correspondant au maximum de la courbe, et T la température, le produit $\lambda_{max}T$ conserve une valeur constante, ce qui indique bien que $\lambda_{max}$ diminue quand T augmente. *La lumière émise devient plus blanche* (1) *et la proportion d'énergie rayonnée sous forme de radiations lumineuses* (par rapport au flux total d'énergie) *va en augmentant.* Par exemple, cette proportion est d'environ 1,25 % pour la lampe à filament de tungstène dans le vide (2.200° environ), 3.2 % pour la lampe de forte intensité à filament de tungstène en atmosphère gazeuse (2.700° environ) et 6,2 % pour le cratère de l'arc électrique (3.400° environ).

Le déplacement des deux courbes et l'accroissement de luminosité sont nettement visibles sur la figure 1, où l'on a tracé, en outre, les emplacements des ordonnées correspondant au rayonnement solaire (la courbe de ce rayonnement sortirait des limites de la figure) : l'ordonnée maxima de la courbe spectrale d'énergie du soleil serait à peu près 11 fois plus grande que celle de la courbe spectrale d'énergie du cratère

(1) On s'en rend compte en chauffant à la forge un morceau de fer, dont l'aspect devient rouge sombre, puis rouge vif, puis jaune clair, et enfin blanc.

de l'arc ; l'ordonnée maxima de la courbe spectrale de luminosité serait à peu près 15 fois plus grande que celle relative à l'arc.

**Coefficient de visibilité et facteur de visibilité relative.**

L'œil humain présente un maximum de sensibilité très accusé pour les radiations dont la longueur d'onde

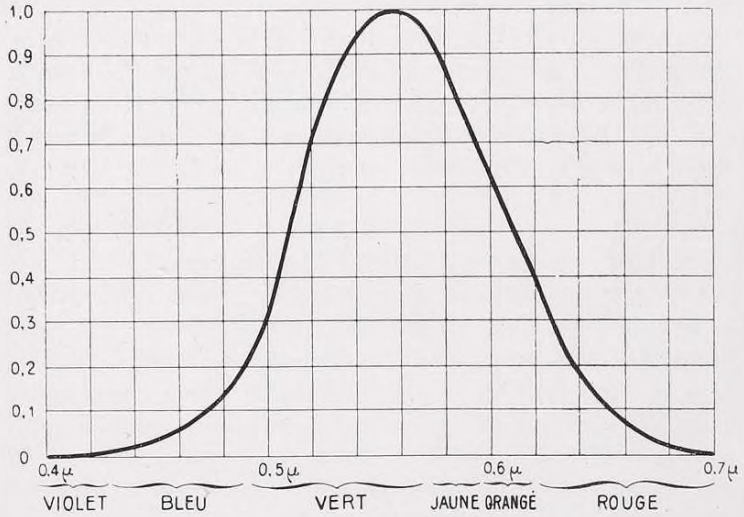



Fig. 2. — Courbe donnant la valeur du facteur de visibilité relative en fonction de la longueur d'onde.

est voisine de 0,556 μ (jaune verdâtre), probablement parce que le maximum de la courbe spectrale de l'énergie solaire reçue sur la terre correspond à peu près à cette longueur d'onde, si l'on prend la moyenne des résultats trouvés en différentes saisons et en différents points du globe. L'efficacité relative de l'œil diminue rapidement pour les longueurs d'onde situées de part et d'autre du maximum : l'œil constitue donc un détecteur très fortement *sélectif*.

Pour chaque longueur d'onde, on peut déterminer la valeur du *rapport de l'effet visuel à l'effet calorifique ou énergétique* (rapport de l'ordonnée de la courbe spectrale de luminosité à l'ordonnée correspondante de la courbe spectrale d'énergie) ; on obtient ainsi le *coefficient de visibilité*.

Si l'on prend comme unité la valeur du coefficient de visibilité correspondant à la radiation pour laquelle l'œil présente le maximum de sensibilité, on peut exprimer en chiffres décimaux les *facteurs de visibilité relative* correspondant aux différentes longueurs d'onde. La courbe de ces facteurs de visibilité relative caractérise les propriétés fondamentales de l'œil humain. La figure 2 en donne un exemple.

# GRANDEURS, UNITÉS ET MESURES PHOTOMÉTRIQUES

D'une façon générale, la surface d'un corps quelconque rayonne de l'énergie dans toutes les directions, soit parce que ce corps émet lui-même des radiations, soit parce qu'il réfléchit, transmet ou diffuse tout ou partie des radiations qui lui parviennent d'autres sources de rayonnement. Dans le premier cas, le corps constitue une *source primaire*, dans le second cas une *source secondaire* de rayonnement ; souvent les deux effets coexistent simultanément.

Dans ce qui suit, il ne sera pas fait de distinction particulière entre les sources primaires et les sources secondaires ; le visage, les mains ou des vêtements relativement clairs recevant les rayons du soleil agissent tout aussi bien comme source de lumière qu'une bougie, par exemple. Il suffit, pour s'en convaincre, de se placer dans une pièce sombre garnie de tentures foncées et de recevoir sur la main ou sur le corps un pinceau de rayons solaires : on voit immédiatement s'éclairer la partie obscure de la pièce située dans le champ de réflexion de la main ou du corps. Voici cette expérience, répétée avec de la lumière artificielle et une caisse quelconque noircie à l'intérieur.

## Grandeurs photométriques.

### Flux lumineux.

Comme cela a été dit précédemment, on peut considérer : soit la *quantité d'énergie* rayonnée pendant un temps donné ; soit le *débit d'énergie*, c'est-à-dire la

quantité d'énergie *par unité de temps*, que l'on désigne sous le nom de FLUX d'ÉNERGIE.

De même, pour les radiations visibles, on peut considérer : soit la *quantité de lumière* rayonnée pendant un temps donné ; soit le *débit de lumière*, c'est-à-dire la quantité de lumière *par unité de temps* que l'on désigne sous le nom de FLUX LUMINEUX.

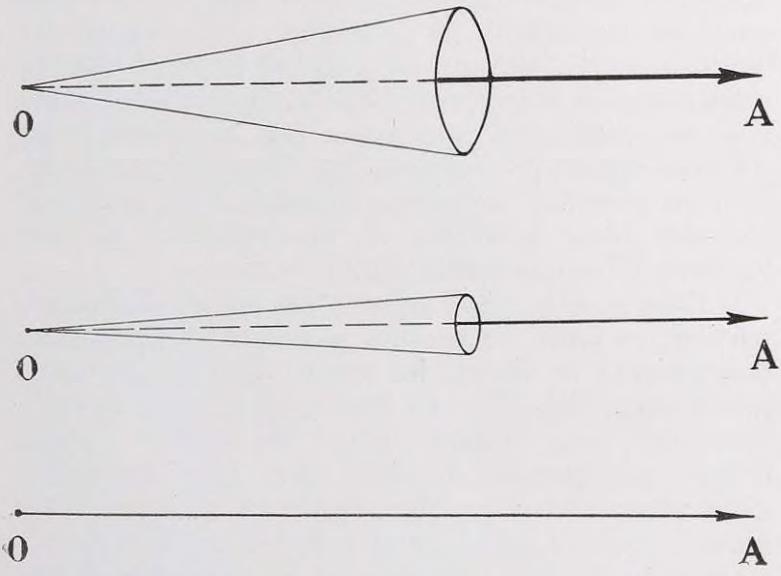



Fig. 3. — Définition de l'intensité lumineuse dans une direction donnée.

**Intensité lumineuse dans une direction.**

La considération du flux lumineux donne une idée du pouvoir qu'a une source d'émettre des radiations lumineuses dans *toutes* les directions, mais ne donne aucune indication sur la répartition de la lumière dans telle ou telle direction. Pour caractériser cette répartition, on doit considérer une autre grandeur, désignée sous le nom de INTENSITÉ LUMINEUSE DANS UNE DIRECTION DONNÉE.

Pour comprendre ce dont il s'agit, supposons la source lumineuse réduite à un point O (source ponctiforme) et fixons notre attention sur la portion du flux lumineux comprise dans un cône très étroit ayant son sommet en ce point O (fig. 3). Si nous matérialisons ce cône dans notre esprit, nous avons ce que l'on appelle un *angle solide*. En divisant la valeur du flux lumineux par l'angle solide, on obtient ce que l'on pourrait appeler la densité du flux lumineux dans l'angle solide, ou bien, si l'on veut, la *densité de répartition* du flux lumineux dans cette portion de l'espace.

Supposons que le cône soit refermé peu à peu sur lui-même à la façon d'un parapluie, jusqu'à se trouver réduit à une simple droite OA coïncidant avec son axe. Cette droite représente ce que l'on appelle un *rayon lumineux*. L'INTENSITÉ LUMINEUSE DANS LA DIRECTION DE CE RAYON est la *valeur limite de la densité du flux dans l'angle solide considéré*, quand cet angle tend vers zéro, c'est-à-dire quand le cône se réduit à une droite.

**Éclairement.**

Quand un certain flux lumineux tombe sur une surface, cette surface paraît éclairée. La *densité du flux lumineux* sur cette surface peut être plus ou moins forte, de sorte que la surface paraît plus ou moins éclairée.

Si l'on mesure le flux lumineux tombant sur la surface et que l'on divise par l'aire de la surface la valeur ainsi trouvée, on obtient L'ÉCLAIREMENT MOYEN DE LA SURFACE : c'est le *quotient du flux lumineux par l'aire de la surface considérée*.

*L'éclairement en un point quelconque* de la surface peut différer plus ou moins de l'éclairement moyen, mais, plus la surface considérée est petite, plus l'écart possible entre l'éclairement en un point et l'éclairement moyen est faible.

A la limite, si l'on suppose la surface devenant infiniment petite, c'est-à-dire se réduisant à un point, on obtient l'éclairement au point considéré.

En résumé, *l'éclairement en un point donné d'une surface est la densité du flux lumineux sur la surface au point considéré.*

La notion d'éclairement est celle qui est le plus intimement associée à l'usage que nous faisons de la lumière, puisque l'éclairement représente réellement *l'effet utile* de la lumière.

**Brillance.**

Il ne faut pas confondre l'éclairement d'une surface avec l'*apparence* de cette surface, qui peut paraître brillante ou non. Une surface grise, éclairée par une source lumineuse donnée, n'apparaîtra pas aussi brillante qu'une surface blanche placée dans les mêmes conditions à la même distance de la même source. Cela tient à ce qu'une plus grande partie de la lumière est absorbée par la surface grise, dont le pouvoir réflecteur est moindre que celui de la surface blanche.

La BRILLANCE d'une surface, d'un corps ou d'un objet dépend à la fois de son *éclairement* et de son *pouvoir réflecteur*, c'est-à-dire de la façon dont cette surface, ce corps ou cet objet réfléchit la lumière.

En général, la brillance d'un corps ou d'un objet n'est pas la même en tous les points ; elle varie de place en place parce que le pouvoir réflecteur varie, et les *contrastes* qui en résultent permettent à l'œil de reconnaître la forme du corps ou de l'objet.

Chaque élément de surface agit comme source ponctuelle secondaire et émet de la lumière dans différentes directions avec différentes intensités lumineuses. LA BRILLANCE D'UN ÉLÉMENT DE SURFACE DANS UNE DIRECTION DONNÉE est égale à *l'intensité lumineuse de*

*cet élément dans la direction considérée, divisée par la surface apparente de cet élément dans la même direction.*

Il faut bien se pénétrer de cette idée que, si l'on voit un objet, c'est parce qu'il réfléchit la lumière et que ses différents points agissent comme sources secondaires. Un objet complètement noir, placé devant un fond complètement noir pour éviter tout contraste et tout effet de silhouette, est absolument invisible, quelque puissante que soit la source qui l'éclaire.

En résumé, c'est en raison de la lumière qu'il émet, qu'il transmet, ou qu'il réfléchit qu'un objet paraît brillant, et ce sont les différences de brillance ou les contrastes qui permettent à l'œil de distinguer et d'identifier les objets.

LA BRILLANCE D'UNE SOURCE LUMINEUSE DANS UNE DIRECTION DONNÉE est égale à *l'intensité lumineuse de cette source dans la direction considérée* (direction de l'œil), *divisée par la surface apparente de la source dans la même direction.*

## UNITÉS PHOTOMÉTRIQUES.

On définit les unités photométriques en prenant comme point de départ l'intensité lumineuse dans une direction donnée.

### Intensité lumineuse.

On a choisi arbitrairement comme *unité d'intensité lumineuse* la BOUGIE INTERNATIONALE, dont la définition a été précisée peu à peu, et dont l'étalon est actuellement représenté par un certain nombre de lampes électriques à filament de carbone conservées dans les trois laboratoires officiels d'Amérique, d'Angleterre et de France.

Chacun de ces *étalons primaires*, fonctionnant sous une tension électrique définie, donne, dans une

direction déterminée, un nombre connu de bougies internationales. Des comparaisons périodiques sont faites entre les différents étalons primaires internationaux pour vérifier leur similitude.

Pour les mesures pratiques, on utilise des *étalons secondaires*, dont on détermine l'intensité lumineuse

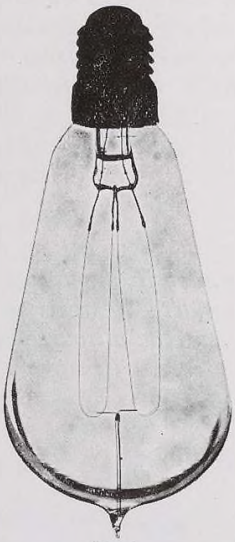


Fig. 4.
Lampe étalon à filament de carbone.

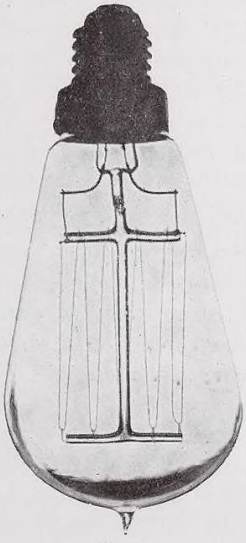


Fig. 5.
Lampe étalon à filament métallique.

dans une direction donnée par comparaison avec celle des étalons primaires. Les figures 4 et 5 montrent de tels étalons secondaires, l'un à filament de carbone et l'autre à filament de tungstène ; dans chacun d'eux, le filament est plan : l'intensité lumineuse est prise dans la direction perpendiculaire à ce plan.

*Courbe de répartition des intensités lumineuses.*

D'une façon générale, la répartition du flux lumineux émis par une source n'est pas constante

dans les différentes directions autour d'elle ; l'intensité lumineuse n'est donc pas la même dans toutes les directions autour de la source.

Pour avoir une idée de la *répartition des intensités lumineuses*, on peut, au moyen d'appareils appropriés, en effectuer la mesure dans un certain nombre de directions situées dans un plan vertical passant par l'axe de la source. Il est commode de rassembler les valeurs trouvées sous forme d'une courbe, dont la figure 6 donne une idée.

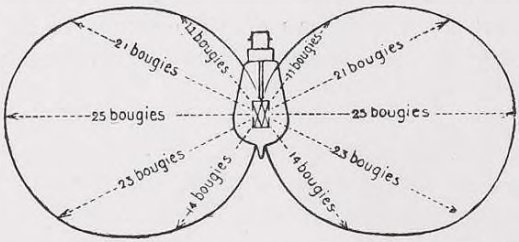



Fig. 6. — Courbe de répartition des intensités lumineuses.

Quand il s'agit d'un appareil d'éclairage, au lieu d'une source lumineuse simple, la courbe est évidemment plus compliquée ; nous en trouverons différents exemples.

### Flux lumineux.

Considérons une source lumineuse ponctiforme qui donnerait *dans toutes les directions* autour d'elle une intensité lumineuse constante égale à une bougie internationale. Supposons qu'elle se trouve placée au centre d'une sphère dont la paroi intérieure soit peinte en noir mat de façon à absorber entièrement tous les rayons lumineux qui tombent sur elle et à n'en réfléchir aucun. Admettons que cette sphère ait un rayon égal à l'unité usuelle de longueur, soit 1 mètre.

Ceci posé, imaginons qu'il existe dans la sphère un panneau amovible A B C D (fig. 7) permettant d'y pratiquer une ouverture dont la surface soit égale à 1 mètre carré. Quand ce panneau mobile est enlevé, il passe par l'ouverture un certain flux lumineux. On prend comme unité de mesure ce flux lumineux qui, émanant d'une source ponctiforme donnant par hypothèse une intensité lumineuse de 1 bougie internationale dans toutes les directions et placée au centre d'une sphère creuse de 1 mètre de rayon, s'échapperait par l'ouverture laissée libre dans la sphère après enlèvement d'un panneau d'un mètre carré de surface.

*L'unité de flux lumineux* ainsi définie est nommée LUMEN.

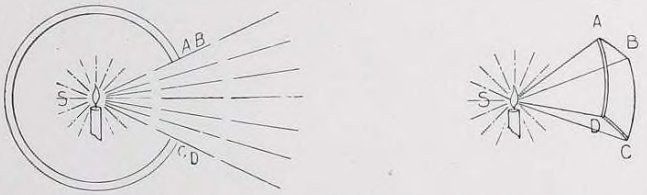



Fig. 7. — Définition de l'unité de flux lumineux et de l'unité d'éclairement.

La surface totale d'une sphère de 1 mètre de rayon étant égale à 12,57 mètres carrés, on voit que, si une source avait une intensité lumineuse de 1 bougie internationale dans toutes les directions autour d'elle, le flux lumineux total émis par cette source serait de 12,57 lumens.

### Éclairement.

Nous avons vu que l'éclairement moyen d'une surface est égal au quotient du flux lumineux reçu par cette surface, par l'aire de ladite surface.

L'unité d'éclairement usuellement employée en France est *l'éclairement moyen d'une surface de 1 mètre carré recevant un flux lumineux de 1 lumen*. On lui a donné le nom de LUX.

Si l'on se reporte à la figure 7, on voit que l'éclairement du panneau mobile, lorsqu'il était en place sur la spère, était précisément égal à 1 lux, puisqu'il recevait un flux de 1 lumen et que sa surface est égale à 1 mètre carré. Sur toute la surface intérieure de la sphère, l'éclairement est le même, et est égal à 1 lux (1).

Supposons maintenant que le rayon de la sphère soit doublé. Nous savons que la surface intérieure de la sphère est proportionnelle au carré du rayon : par conséquent cette surface se trouve quadruplée. De même, si le rayon de la sphère était triplé, sa surface deviendrait neuf fois plus grande, et ainsi de suite.

Puisque le flux lumineux reste toujours le même et que la surface est devenue quatre fois plus grande, ou neuf fois plus grande, il en résulte que l'éclairement de cette surface est devenu quatre fois plus faible, ou neuf fois plus faible. D'une façon générale, pour une même valeur du flux lumineux, *l'éclairement varie comme l'inverse du carré de la distance.*

Cette loi fondamentale est connue sous le nom de LOI DE L'INVERSE DU CARRÉ DE LA DISTANCE. C'est elle qui est à la base de toutes les mesures photométriques.

**Brillance.**

Comme cela a été expliqué, la brillance d'une surface dans une direction donnée est le quotient de l'intensité lumineuse émise par cette surface dans cette direction, par l'aire apparente dans la direction considérée (2).

---

(1) On peut se faire une idée de l'ordre de grandeur d'un lux en considérant l'éclairement d'un journal placé à 1 mètre d'une bougie de stéarine de telle façon qu'un rayon lumineux horizontal émanant de cette bougie tombe à peu près au centre du journal et perpendiculairement à sa surface.

(2) L'*aire apparente* de la surface est égale à l'aire projetée sur un plan perpendiculaire à la direction considérée.

*L'unité de brillance* est la BOUGIE INTERNATIONALE PAR CENTIMETRE CARRÉ DE SURFACE APPARENTE *dans la direction considérée.*

## MESURES PHOTOMÉTRIQUES.

Les mesures photométriques sont toujours des *mesures comparatives.*

L'œil est incapable de faire une estimation en valeur absolue, et également incapable d'évaluer des rapports : il peut seulement apprécier l'égalité ou l'inégalité d'éclairement de deux surfaces, et encore faut-il, pour cela, que les surfaces soient voisines. Les mesures photométriques sont donc toujours faites par *égalisation* des éclairements de deux surfaces voisines, cette égalisation étant obtenue au moyen d'un dispositif approprié qui permette de modifier, d'une façon connue, la valeur du flux incident.

### Mesure de l'intensité lumineuse.

Soit, par exemple, un écran en papier translucide (papier huilé ou substance équivalente). Supposons (fig. 8) que cet écran soit divisé en deux portions par une cloison séparative opaque E, et que chacune de ces portions P ou P' soit éclairée *exclusivement* par l'une des sources S ou S' sans pouvoir recevoir aucun autre rayon lumineux que ceux émanant de ladite source.

Si l'on modifie les distances *d* et *d'* des sources S et S' à l'écran, on pourra réaliser l'égalité d'éclairement des deux portions P et P'. Sachant que l'éclairement varie en raison inverse du carré de la distance, on pourra évaluer l'intensité lumineuse de la source S' dans la direction S'P', par rapport à l'intensité lumineuse de la source S dans la direction S P. Si la source S est une lampe étalon, l'intensité lumineuse de la source S' dans cette direction se trouvera donc connue.

Différents modèles de photomètres sont basés sur ce principe. Le plus ancien et le plus simple est le *photomètre dit « à tache d'huile »*, dans lequel les sources lumineuses à comparer sont placées de part et d'autre de l'écran, qui est monté sur un chariot coulissant.

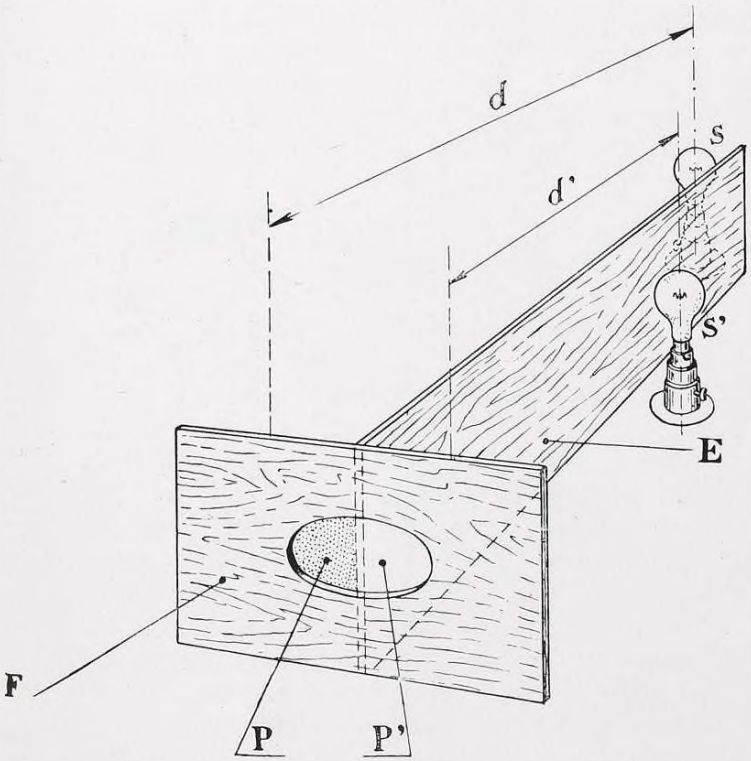



Fig. 8. — Principe des mesures photométriques.

On réalise l'égalité des éclairements en déplaçant progressivement l'écran dans un sens ou dans l'autre : quand l'équilibre est obtenu, c'est-à-dire quand les éclairements sont égaux sur les deux faces de la tache, on note les distances *d* et *d'*. Pour faciliter l'opération,

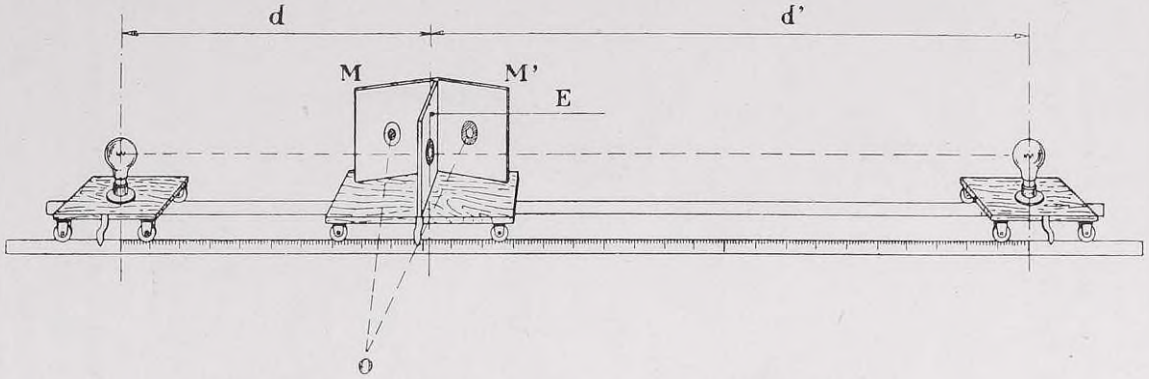



Fig. 9 — Photomètre basé sur le principe du photomètre à tache d'huile.

on dispose généralement de part et d'autre de l'écran deux miroirs à 45° qui permettent de voir simultanément les deux faces (fig. 9).

### Mesure de l'éclairement.

Le principe du photomètre à tache d'huile est appliqué dans un certain nombre d'appareils nommés *luxmètres*, qui servent à mesurer l'éclairement en un point donné.

Dans les uns, une partie du flux émanant de la lampe étalon est absorbée par un dispositif approprié ;

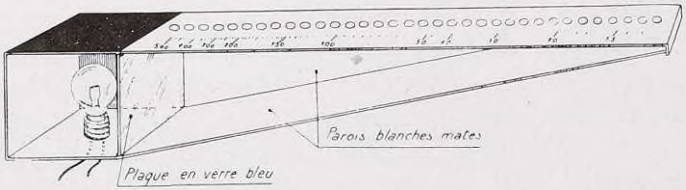



Fig. 10. — Principe utilisé dans certains luxmètres portatifs à lecture rapide.

dans d'autres, cette lampe étalon est portée sur une réglette mobile qui permet de l'approcher ou de l'éloigner de l'écran : dans l'un et l'autre de ces deux types d'appareils, il y a une seule tache lumineuse, dont on égalise les éclairements sur l'une et l'autre face (face intérieure éclairée par la lampe étalon, et face extérieure éclairée par la source, au point dont on veut mesurer l'éclairement).

Les appareils d'un autre type, dont le maniement est particulièrement commode, sont pourvus d'une série de fenêtres juxtaposées garnies chacune d'un écran translucide (papier transparent) ; ces fenêtres se trouvent placées à des distances croissantes de la lampe étalon (fig. 10). Les faces intérieures des écrans reçoivent le flux lumineux de la lampe étalon et présentent des éclairements décroissants à mesure que ces écrans sont plus éloignés, tandis que les faces exté-

rieures présentent l'éclairement que l'on désire mesurer. Il est facile de distinguer, dans toute la file d'écrans translucides, celui qui présente sur ses deux faces des éclairements égaux, car les fenêtres paraissent plus claires ou plus sombres que les surfaces environnantes suivant que l'éclairement sur leur face intérieure est plus grand ou plus petit que l'éclairement sur leur face extérieure. Quand les deux éclairements sont égaux, la fenêtre devient à peu près invisible ; on lit alors sur une graduation l'éclairement en lux correspondant à la position de cette fenêtre. Ce n'est pas là une mesure de précision, mais les résultats obtenus suffisent pour les besoins de la pratique.

L'emploi de luxmètres présente une très grande utilité et il est regrettable que leur usage ne soit pas plus répandu, car ces appareils permettent de juger si un système d'éclairage satisfait aux conditions requises, c'est-à-dire s'il donne aux points d'utilisation les éclairements nécessaires pour l'exécution correcte des travaux que l'on a en vue.

**Mesure du flux lumineux.**

Pour la mesure des flux lumineux, on utilise une *sphère creuse* dont l'intérieur est peint en blanc mat. En un point de la paroi de cette sphère est ménagée une petite fenêtre translucide. La source à étudier est placée au centre de la sphère : ses rayons lumineux se réfléchissent de toutes parts sur les parois internes et viennent éclairer la fenêtre translucide, qu'un petit écran masque aux rayons directs de la source.

La fenêtre translucide agissant comme source lumineuse secondaire, on mesure, au moyen d'un photomètre, son intensité lumineuse dans une direction donnée, et on en déduit le flux lumineux total émis par la source primaire dans la sphère.

# SOURCES LUMINEUSES

La lumière naturelle nous est fournie par le soleil. Cette source lumineuse, située à environ 150 millions de kilomètres de la terre, a un diamètre de 1.390.000 kilomètres et une température probablement supérieure à 5.700° centigrades. Sa brillance est de l'ordre de 150.000 bougies par centimètre carré pour un observateur placé sur la terre, et d'environ 200.000 bougies par centimètre carré pour un observateur situé en dehors de l'atmosphère terrestre. L'éclairement que le soleil donne sur la terre dans nos régions, vers midi, en été, est de l'ordre de 100.000 lux.

## Flammes.

Pendant un très grand nombre d'années, la lumière artificielle a été produite exclusivement au moyen de flammes, alimentées par divers combustibles, liquides, solides ou gazeux.

D'une façon générale, la flamme d'un hydrocarbure brûlant à l'air libre comprend différentes régions dans lesquelles le combustible est successivement chauffé, puis décomposé. Du carbone se trouve libéré sous forme de particules portées à l'incandescence, et ces particules rayonnent de l'énergie dans l'espace environnant, tout comme le fait un morceau de charbon incandescent.

Le rendement de l'opération, au point de vue de la lumière produite, dépend du nombre relatif des

particules de charbon libérées et de la température à laquelle elles se trouvent portées ; une grande quantité d'énergie est d'ailleurs perdue par convexion et par conduction.

La source lumineuse la plus universellement utilisée avant l'invention de la lampe électrique était la bougie ; la température de sa flamme est d'environ 1.650°C. D'une façon générale, la température des flammes est comprise entre 1.650° et 1.800° environ.

### Lampes électriques a incandescence.

Les premières lampes électriques à incandescence pratiquement utilisables étaient munies d'un filament de carbone placé dans une ampoule vide d'air pour en éviter l'oxydation. La radiation d'un tel filament est tout à fait analogue à celle des particules incandescentes d'une flamme ; toutefois la température de fonctionnement a pu être portée à 1.800°C, puis aux environs de 1.900°C à la suite de perfectionnements apportés à la fabrication des filaments.

Comme cela a été expliqué dans l'étude du rayonnement, la proportion d'énergie rayonnée sous forme de lumière augmente, par rapport à la quantité totale d'énergie rayonnée, lorsque la température de fonctionnement s'élève. Il en résulte que le rendement lumineux s'améliore. C'est pourquoi tous les perfectionnements ont consisté à utiliser des matériaux ou des dispositifs permettant de faire fonctionner le filament incandescent à des températures de plus en plus élevées sans que, néanmoins, sa destruction soit trop rapide. Ainsi sont nées les lampes à filament graphité ou métallisé, puis à filament métallique, en osmium, en tantale et enfin en tungstène.

Le grand avantage qu'offre le tungstène réside dans son très lent régime de vaporisation et sa très

haute température de fusion (3.385°C) : ces précieuses propriétés permettent de pousser le filament de tungstène à une température relativement très élevée.

Un nouveau progrès a été réalisé par l'emploi d'une atmosphère gazeuse dans l'ampoule primitivement vide d'air. La présence de cette atmosphère gazeuse, généralement constituée par de l'azote ou de l'argon, ou peut-être prochainement par un gaz de poids atomique encore plus élevé, a pour effet d'empêcher ou de retarder la désagrégation du filament par suite de l'obstacle que les molécules gazeuses apportent à la libération des atomes qui cherchent à s'échapper du filament, ou plus exactement de la couche de vapeur environnante.

En fait, les perfectionnements apportés ont permis de faire fonctionner les filaments des lampes à incandescence à des températures de plus en plus hautes pour une même durée d'utilisation : 1.900 degrés centigrades pour l'osmium ; 1.980 degrés pour le tantale ; 2.200 degrés pour le tungstène dans le vide ; 2.460 à 2.700 degrés, suivant la puissance des lampes, pour le tungstène en atmosphère gazeuse.

### Efficacité lumineuse.

Le rendement lumineux s'est trouvé amélioré parallèlement. On appelle *efficacité lumineuse d'un rayonnement* le rapport du flux lumineux, exprimé en lumens, au flux d'énergie, exprimé en watts.

Par extension, on désigne également sous le nom *d'efficacité lumineuse d'une source* le rapport entre le flux lumineux qu'elle produit et la puissance qu'elle absorbe : cette efficacité est exprimée en *lumens par watt*.

Malgré les améliorations considérables réalisées dans les dernières années, l'efficacité de nos sources

lumineuses usuelles reste médiocre. Le tableau I en donne une idée.

TABLEAU I

| NATURE DE LA SOURCE LUMINEUSE | TEMPÉRATURE approximative (en degrés centigrades) | EFFICACITÉ correspondante (en lumens par watt) |
|---|---|---|
| Filament de carbone non traité . . | 1,800 | 2,6 |
| — — traité . . . . | 1,890 | 3,4 |
| — graphité . . . . . | 1,920 | 4,2 |
| — de tantale . . . . . | 1,980 | 5,00 |
| Filament de tungstène dans le vide : lampe de 40 w. . . . | 2,200 | 10 |
| Filament de tungstène en atmosphère gazeuse : lampe de 100 w. . . . | 2,460 | 12,9 |
| — 500 w. . . . | 2,640 | 18,1 |
| — 1000 w. . . . | 2,700 | 20 |
| Soleil . . . . . (environ) | 5,700 | 91 |

**Brillance des sources lumineuses.**

En élevant de plus en plus la température de fonctionnement du filament des lampes à incandescence, on a augmenté parallèlement la brillance.

La brillance de la flamme d'une bougie était de l'ordre de 0,5 bougie par centimètre carré de surface apparente ; la brillance du filament de carbone s'élevait à 55 bougies par centimètre carré ; la brillance du filament de tungstène atteint 200 bougies par centimètre carré dans les lampes à vide et 580, 1.000 et 1.200 bougies par centimètre carré dans les lampes à atmosphère gazeuse de 100, 500 et 1.000 watts.

Ces brillances très élevées peuvent nuire à la bonne conservation des organes de la vue, qu'elles risquent d'endommager gravement si l'on ne prend

pas les précautions nécessaires. Aussi est-il indispensable que les lampes modernes ne soient jamais employées nues, en verre clair, et que des appareils appropriés leurs soient adjoints.

L'utilisation d'enveloppes en matières diffusantes, dans lesquelles sont placées les lampes, permet de réduire la brillance des foyers lumineux. En effet, si l'on place, par exemple, une lampe de 200 watts, dont le filament a une surface apparente inférieure à 1 centimètre carré, dans un globe opale sphérique d'environ 25 centimètres de diamètre, présentant à l'œil une surface apparente d'environ 500 centimètres carrés, et si le verre opale est assez dense pour que ce globe paraisse uniformément lumineux, sa brillance sera à peu près 500 fois plus faible que celle du filament nu. Elle est encore moindre, en réalité, parce que le globe diffusant absorbe à peu près un cinquième du flux lumineux.

*Épargnez à vos yeux*



*la fatigue inutile et nuisible produite par la lumière éblouissante*

# LA VISION

## L'œil.

L'œil constitue un instrument optique, analogue à un appareil photographique.

Une lentille déformable, le *cristallin* (fig. 11), protégée par un bouclier transparent, la *cornée*, réfracte les rayons lumineux que laisse pénétrer l'ouverture

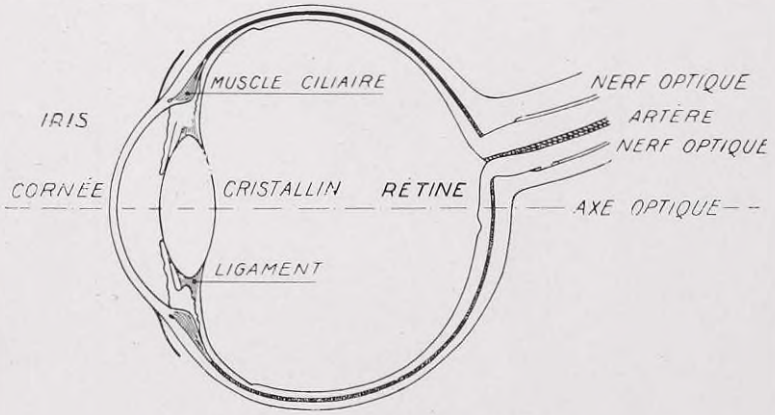



Fig. 11. — Coupe schématique de l'œil.

circulaire, nommée *pupille*, d'un diaphragme automatiquement réglable, nommé *iris*. Les rayons réfractés vont former une image dans le fond de l'œil (1), sur un ensemble de tissus nerveux, nommé *rétine*, qui, par l'intermédiaire du *nerf optique*, transmet au cerveau les diverses sensations d'intensité, de couleur, de direction, etc...

(1) Cette image est inversée, mais il nous est impossible d'en avoir le sentiment, puisque nous voyons toujours de cette façon.

**Accommodation et adaptation.**

Dans un appareil photographique, il faut *mettre au point*, d'après l'éloignement de l'objet, de façon à amener son image exactement sur la plaque sensible.

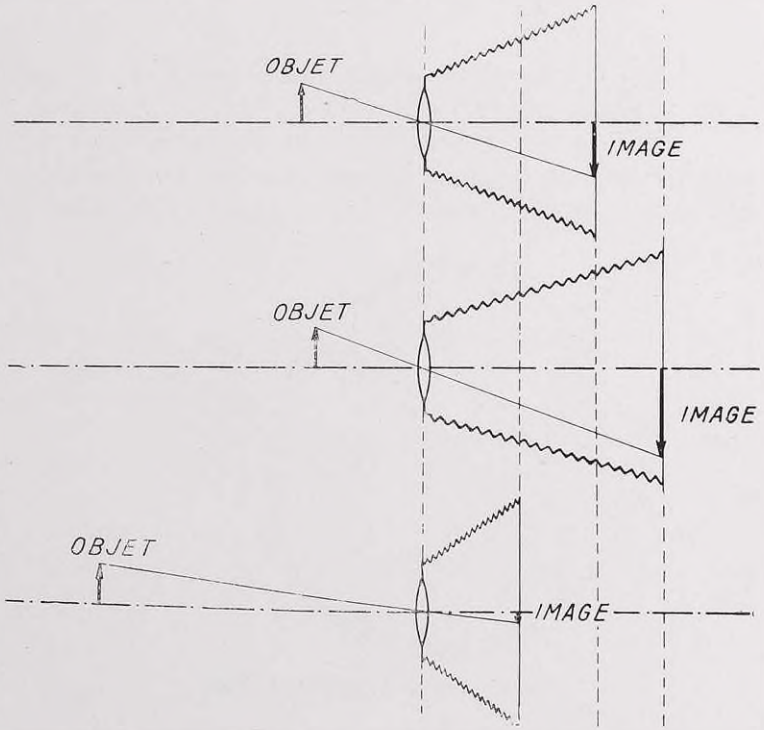



Fig. 12. — Schéma de la mise au point dans un appareil photographique.
(La courbure de la lentille ne peut être modifiée.)

On y parvient en raccourcissant ou en allongeant la distance qui sépare cette plaque de la lentille : pour cela, la chambre photographique est munie de soufflets, et la plaque est portée par un châssis, coulissant sur une glissière qui permet de le rapprocher ou de l'éloigner de l'objectif suivant les besoins (fig. 12).

Dans l'œil, il faut également une *mise au point* permettant d'amener exactement sur la rétine l'image de l'objet considéré, quelle que soit la proximité ou l'éloignement de cet objet. La distance de la rétine à la lentille étant invariable, cette mise au point est réalisée

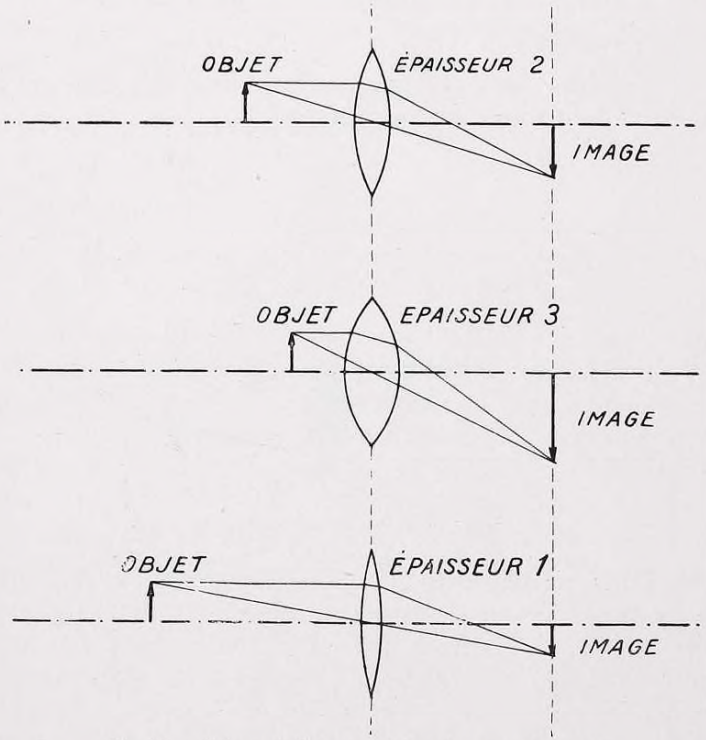



Fig. 13. — Schéma de l'accommodation dans un œil normal.
(La courbure de la lentille est variable.)

par une *déformation du cristallin*, dont la courbure est modifiée automatiquement (fig. 13) par l'action d'un système musculaire, nommé *muscle ciliaire*.

On appelle *accommodation* le mécanisme par lequel s'effectue la mise au point automatique par déformation du cristallin.

On désigne sous le nom *d'adaptation* le fonctionnement automatique de l'iris qui règle l'admission du flux lumineux dans l'œil par modification du diamètre de la pupille, et aussi la faculté que possède l'œil de s'adapter aux conditions dans lesquelles il doit assurer son service.

*Œil défectueux.*

Certains yeux ont une conformation défectueuse : ils sont trop longs ou trop courts (fig. 14).

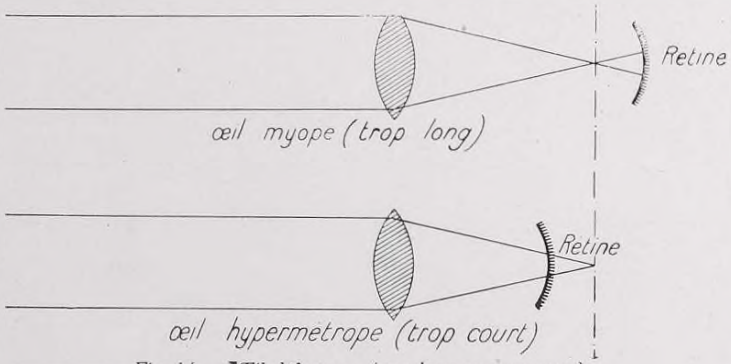



Fig. 14. — Œil défectueux (trop long ou trop court).

Dans un œil trop long (*œil myope*), *l'image nette* se forme *en avant* de la rétine pour les objets qui ne sont pas extrêmement près de l'œil ; dans un œil trop court (*œil hypermétrope*), *l'image nette* se formerait *en arrière* de la rétine. Dans l'un et l'autre cas, il faut avoir recours à des verres permettant d'affaiblir ou de renforcer l'action du cristallin de façon à amener l'image au point voulu.

Quand l'œil normal vieillit, il devient *presbyte* : son muscle ciliaire, fatigué, ne contracte plus suffisamment le cristallin et la vision des objets rapprochés est floue, tandis que la vision des objets éloignés continue d'être bonne. Des verres appropriés sont nécessaires pour la vision à courte distance.

### Sensibilité de la rétine.

Certains éléments constitutifs de la rétine sont particulièrement sensibles aux couleurs, tandis que d'autres y sont, au contraire, très peu sensibles.

Les premiers sont surtout actifs quand il y a beaucoup de lumière et les seconds quand il y a peu de lumière ; c'est la raison pour laquelle, sous de faibles éclairements, l'œil ne distingue pas les couleurs ; tous les objets paraissent grisâtres, d'où le proverbe « la nuit, tous les chats sont gris ».

## La vision.

### Éclairement de l'image.

Le flux lumineux, admis dans l'œil par la pupille ou « porte de la vision », donne sur la rétine une impression lumineuse ou *impression visuelle*.

Cette impression dépend du flux lumineux que reçoivent les divers éléments de la rétine, c'est-à-dire de l'ÉCLAIREMENT DE L'IMAGE *formée sur la rétine*. Or cet éclairement est *proportionnel à la brillance*, mesurée dans la direction de l'œil, *de la surface que l'œil regarde*.

Comme nous l'avons vu, la brillance d'une surface dépend d'une part de l'éclairement qu'elle reçoit et, d'autre part, de sa nature et de son pouvoir réfléchissant.

Donc, toutes autres conditions restant les mêmes, *l'impression visuelle sera d'autant plus forte que l'éclairement sera plus élevé*. C'est là un fait fondamental qu'il importe de retenir.

### Effet des contrastes.

Mais il n'y a pas que la brillance, en valeur absolue, qui intervienne dans le mécanisme de la vision. Il y a aussi ce qu'on appelle *l'effet de contraste*.

Si nous prenons deux morceaux d'un papier gris et si nous les plaçons, *sous un même éclairement*, l'un sur un fond blanc et l'autre sur un fond noir, le premier paraîtra plus foncé que le second. Voici cette expérience. *La même brillance donne donc des impressions visuelles différentes.*

Cet exemple montre qu'il n'existe pas une simple proportionnalité entre la brillance d'un objet et son aspect visuel, malgré que l'excitation de la rétine dépende directement de cette brillance. *Tout se passe comme si la brillance et la couleur d'un objet tendaient, en quelque sorte, à paraître modifiées à l'opposé de l'aspect visuel du fond ou des surfaces adjacentes* : ainsi, l'objet paraît plus foncé sur un fond clair et plus clair sur un fond foncé ; il tend, en outre, à prendre la couleur complémentaire de celle du fond. Cet effet est d'autant plus marqué que le fond présente une plus grande surface et qu'il est plus rapproché de l'objet.

Les phénomènes de contraste jouent dans la vision un rôle extrêmement important. Leur action se manifeste comme si les organes de la vue avaient une tendance à ramener vers une valeur moyenne la brillance et la couleur des objets, de telle sorte que l'aspect visuel de ces objets soit aussi peu modifié que possible quand l'éclairement varie entre de larges limites.

### Perception différentielle des brillances.

L'aptitude de l'œil à percevoir des différences de brillance n'est d'ailleurs pas constante. Elle dépend de la valeur absolue des brillances à différencier, de la brillance du fond, et de l'importance des flux lumineux parasites venant d'autres directions.

De plus, la valeur de la plus faible brillance que l'œil soit capable de percevoir dépend essentiellement

des conditions dans lesquelles il était placé préalablement. C'est un fait bien connu que, si l'œil se trouve plongé brusquement dans l'obscurité après avoir été exposé à une lumière brillante, sa sensibilité est d'abord très faible, puis augmente peu à peu pendant près d'une heure ; elle varie ainsi dans d'énormes proportions.

Les faits qui viennent d'être rappelés sont d'une importance capitale et doivent être parfaitement connus des ingénieurs chargés des installations d'éclairage. Toute variation brusque de l'éclairement, telle que celle à laquelle se trouvent soumis les yeux d'un ouvrier quand ils quittent une partie d'une machine brillamment éclairée pour aller chercher un outil sous la machine ou dans une région sombre, doit être soigneusement évitée ; l'éclairement doit être aussi uniforme que possible.

## Durée de la vision.

Dans ce qui précède, il n'a pas encore été question du *temps nécessaire à l'œil* pour qu'une impression visuelle se manifeste. Or, on constate que, si un objet présente des dimensions telles et un éclairement tel qu'il soit juste visible lorsqu'il est immobile, l'œil est dans l'impossibilité de distinguer cet objet s'il se déplace avec une certaine vitesse.

### Relation entre la rapidité de vision et l'éclairement.

On constate également que, dans ce cas, il faut augmenter soit les dimensions de l'objet, soit son éclairement pour qu'il redevienne visible à cette vitesse. *Il existe, en quelque sorte, une relation entre les trois grandeurs : brillance, dimensions de l'objet et durée de vision*, de telle façon que si l'une se trouve diminuée, l'une des deux autres doit être augmentée.

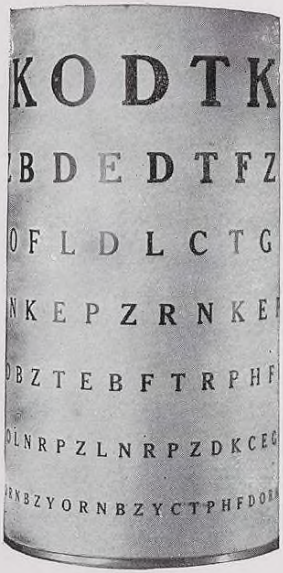



Fig. 15

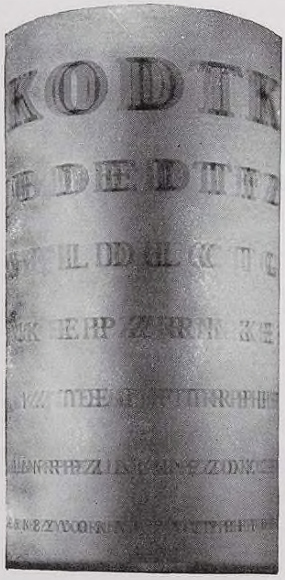



Fig. 16

Ce fait peut être mis nettement en évidence par l'expérience suivante : on fait tourner à *vitesse constante* un disque sur lequel on a peint en noir sur blanc des secteurs ou des gros points, ou bien un cylindre portant des lettres de différentes grosseurs. Pendant que cet appareil tourne, on l'éclaire tantôt fortement, tantôt faiblement. Chaque fois que l'éclairement est renforcé (fig. 15), le mouvement paraît ralentir comme si le disque ou le cylindre était brusquement freiné ; chaque fois que l'éclairement est diminué (fig. 16), le mouvement paraît s'accélérer.

L'impression de variation de vitesse du disque ou du cylindre est saisissante : elle provient de ce que, la rapidité de vision augmentant avec l'éclairement, l'œil distingue plus vite les détails quand l'éclairement est renforcé, ce qui lui donne le sentiment que l'objet se déplace moins vite.

Sur le cylindre en rotation, on remarque, en outre, que, s'il était possible de lire sous un éclairement donné les lettres d'une certaine grandeur, il devient impossible de les distinguer sous un éclairement plus faible ; ces mêmes lettres sont

d'ailleurs parfaitement lisibles, sous ce dernier éclairement, quand le cylindre est arrêté.

En reprenant la comparaison entre l'œil et l'appareil photographique, on peut dire que l'un et l'autre ont besoin d'un certain *temps de pose* pour l'obtention d'une image nette. Le temps de pose en photographie est

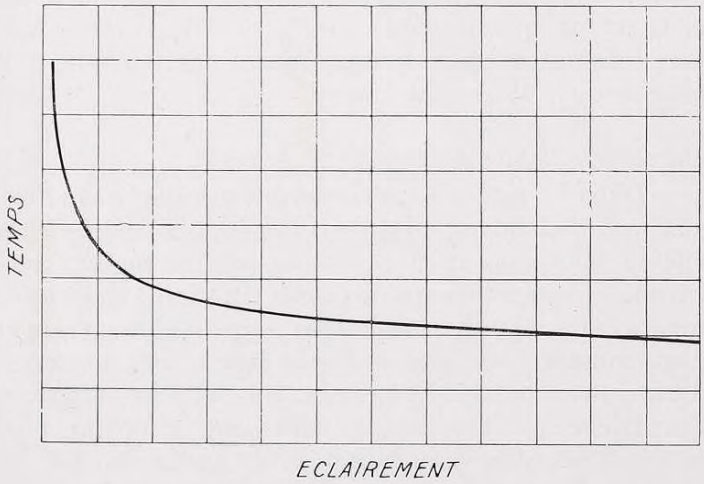



Fig. 17. — Durée de perception, en fonction de l'éclairement.

plus long s'il fait sombre que s'il fait clair : il en est de même pour l'œil et, comme les poses ont lieu des milliers et des milliers de fois par jour, il est évident qu'on économise du temps en renforçant l'éclairement.

### Influence de l'éclairement sur certaines opérations visuelles simples.

De nombreuses expériences ont été faites pour déterminer la relation qui existe entre l'éclairement et la vitesse de différentes opérations visuelles simples.

La figure 17 montre, par exemple, le résultat de mesures effectuées sur la vitesse de perception d'un point noir exposé sur un fond blanc, pour différentes valeurs de l'éclairement.

Les courbes des figures 18, 19 20 et 21 résument les résultats obtenus dans plusieurs séries d'expériences faites, sous la direction du Docteur Faillie, au Conservatoire National des Arts et Métiers, laboratoire de Physiologie du travail. Il s'agissait, dans ces expériences entreprises à la demande et avec la collaboration de la Société Française des Electriciens, de déterminer, aussi exactement que possible, l'influence de l'éclairement sur différentes opérations simples se rattachant à la psycho-physiologie du travail.

*Durée de réaction psychomotrice visuelle.*

Dans la première série de mesures, un synchronoscope d'Arsonval, dont l'aiguille était entraînée à une vitesse rigoureusement constante par un moteur synchrone alimenté par un diapason entretenu électriquement, était mis en marche par l'opérateur au moyen d'un contact électrique et devait être arrêté, au moyen d'un autre contact électrique, par le sujet soumis à l'expérience. L'aiguille se déplaçant à raison d'un tour par seconde et le cadran étant gradué en 100 divisions, l'appareil permettait de mesurer le temps en centièmes de seconde.

L'essai était conduit de la façon suivante : l'aiguille ayant été ramenée au zéro, l'opérateur prévenait le sujet pour que celui-ci concentrât son attention, puis mettait l'aiguille en marche ; aussitôt que le sujet avait perçu visuellement le déplacement de l'aiguille, il l'arrêtait en pressant sur le contact électrique placé entre ses doigts. Le point où s'arrêtait l'aiguille mesurait la *durée de réaction psychomotrice visuelle* du sujet.

L'expérience a été répétée un grand nombre de fois, sous différents éclairements et avec différents sujets. Les résultats sont représentés par la courbe de la figure 18. La durée de réaction psychomotrice visuelle diminue, très rapidement d'abord, puis lentement ensuite, à mesure que l'éclairement augmente.

*Durée d'appréciation*
*et de réaction psychomotrice combinées.*

Le même chronoscope d'Arsonval était utilisé de la façon suivante pour cette épreuve :

L'aiguille ayant été mise en route par l'opérateur et tournant d'un mouvement uniforme, le sujet devait

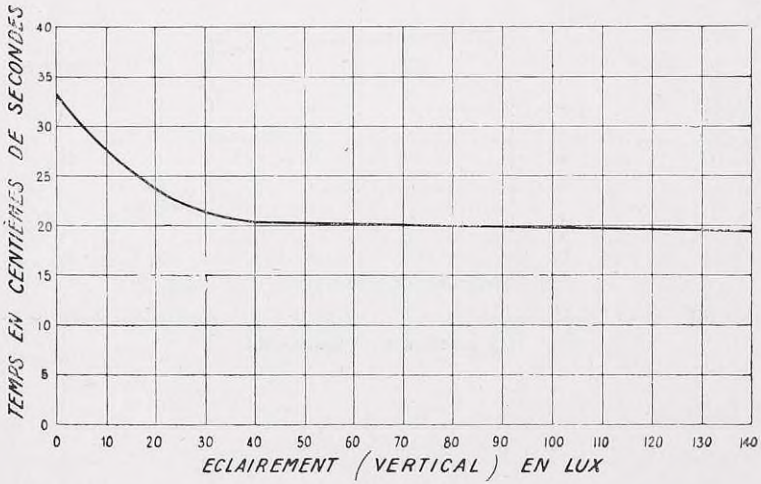



Fig. 18. — Durée de réaction psychomotrice, en fonction de l'éclairement.

l'arrêter aussi près que possible du zéro : il avait été préalablement prévenu par l'opérateur lors du passage précédent de l'aiguille au zéro.

L'écart entre la position de l'aiguille à l'arrêt et le zéro mesure la durée d'appréciation et de réaction psychomotrice du sujet.

Les résultats obtenus sont résumés par la courbe de la figure 19. Si l'on évalue en grades l'écart de l'aiguille avec le zéro, cet écart passe d'environ 17 grades, sous des éclairements *verticaux* de 2 à 3 lux, à 10 grades sous des éclairements d'une trentaine de lux, et descend au-dessous de 8 grades sous des éclairements de 250 lux, soit un gain de 50 % environ.

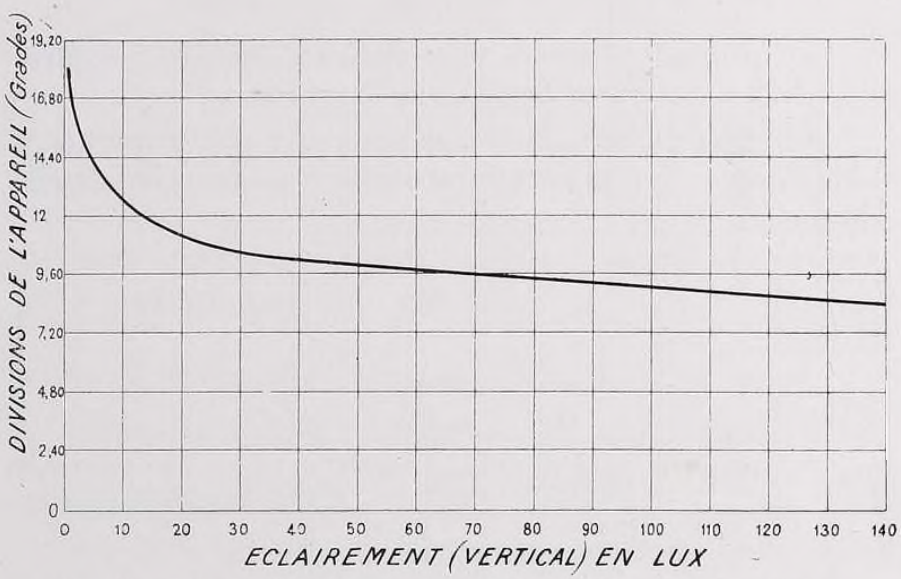



Fig. 19. — Durée d'appréciation et de réaction psychomotrice combinées (en fonction de l'éclairement.)

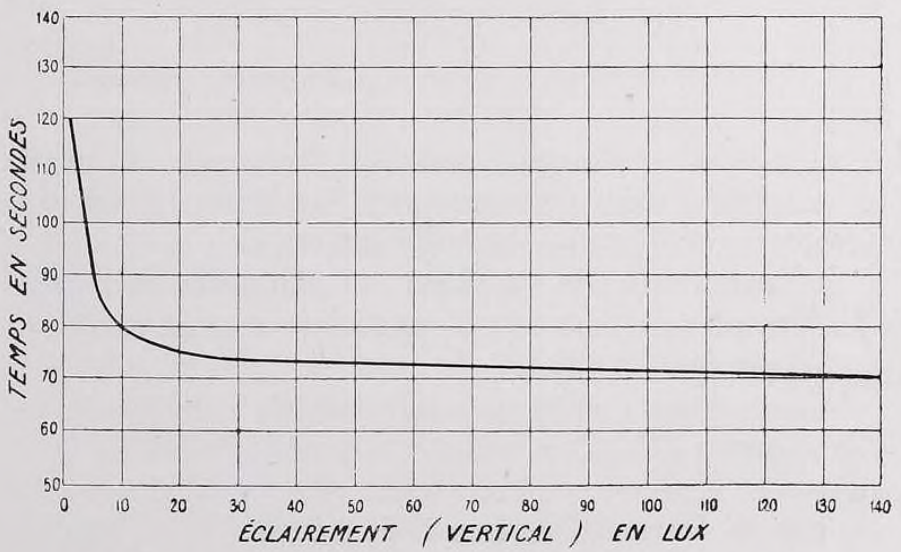



Fig. 20. — Durée de sélection et de réaction psychomotrice combinées (en fonction de l'éclairement).

*Durée de sélection*
*et de réaction psychomotrice combinées.*

On utilisait, pour cette épreuve, une machine à écrire portant sur son chariot un tableau de 70 lettres. Au fur et à mesure du déplacement du chariot, les lettres se présentaient une à une devant un voyant

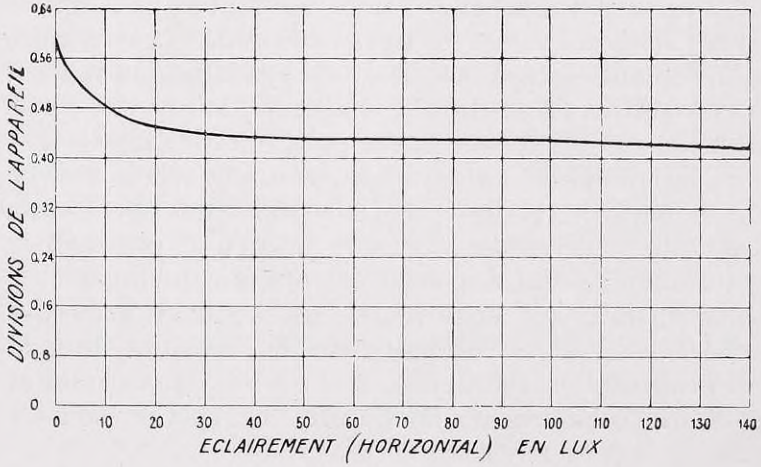



Fig. 21. — Résultats des essais de dextérité, en fonction de l'éclairement.

fixe. A ce moment, le sujet devait frapper la touche correspondant à la lettre aperçue. La mise en route du chariot marquait l'origine des temps sur un cylindre enregistreur, et son arrêt en fin de course enregistrait la fin de l'opération.

Les résultats sont résumés par la courbe de la figure 20. Le temps nécessaire à une opération complète (70 lettres) décroît d'abord rapidement, puis plus lentement, quand l'éclairement est porté de quelques lux à une vingtaine de lux, puis au delà. Lorsque l'éclairement atteint 250 lux environ, le temps a décru de 120 à 60 secondes, soit un gain de 50 % environ.



CONSERVATOIRE NATIONAL DES ARTS ET MÉTIERS
CNAM

*Dextérité.*

L'appareil utilisé pour cette épreuve était un dextérimètre formé de deux tiges horizontales réunies à l'une de leurs extrémités et faisant entre elles un angle aigu. Le sujet devait introduire entre ces tiges, aussi loin que possible en se rapprochant du sommet de l'angle, une aiguille fixée à une poignée, en s'efforçant de ne pas toucher aux tiges. Le contact de l'aiguille avec l'une ou l'autre des tiges déterminait la fermeture d'un circuit électrique relié à une sonnerie. On relevait à ce moment la position de l'aiguille, au moyen d'une division millimétrique placée sur l'une des tiges.

Les résultats obtenus sont résumés par la courbe de la figure 21. Pour la moyenne des opérateurs, l'aiguille pénètre sans contact jusqu'à 6 centimètres du sommet sous des éclairements de quelques lux, puis jusqu'à 4,4 centimètres du sommet sous des éclairements d'une trentaine de lux. Ensuite, le gain est beaucoup moins rapide : on arrive à 3,4 centimètres sous des éclairements de l'ordre de 400 lux, soit un gain de 43 % environ.

## L'Éblouissement.

Les phénomènes d'éblouissement sont extrêmement fréquents. Ils occasionnent de graves perturbations dans la vision. Suivant leur importance et leur durée, ils produisent une gêne, une sensation pénible et une fatigue plus ou moins durable des organes de la vue.

Chacun sait, par expérience, qu'il est impossible de regarder directement le soleil sans que l'œil en soit fortement incommodé et en souffre ensuite pendant quelques instants.

Ce phénomène d'éblouissement direct se manifeste de la même façon, quoique avec beaucoup moins

d'intensité, quand la vue se porte sur un foyer lumineux brillant, et le malaise qu'il occasionne est d'autant plus marqué que la brillance de ce foyer est plus forte.

On souffre également d'éblouissement, sans toujours s'en rendre compte, lorsque des sources lumineuses primaires ou secondaires (surfaces ou objets éclairés), dont la brillance dans la direction de l'œil est trop élevée, se trouvent placées dans le champ visuel, malgré que le regard ne soit pas dirigé exactement vers ces points brillants et que l'œil ne soit pas accommodé pour en avoir une image nette.

Pour bien saisir les effets de l'éblouissement, je vous recommande les deux expériences suivantes :

Par une belle journée d'été, sous un soleil dur comme celui du midi, regardez un paysage éloigné (un paysage dans lequel il n'y ait pas que des arbres, bien entendu) : par exemple, regardez la côte vue d'un bateau. Vous ne distinguerez pas beaucoup de détails. Mettez alors une paire de lunettes fumées : aussitôt vous apercevrez une quantité de détails qu'il vous était impossible de voir auparavant, et vous éprouverez la même sensation que si vous aviez fait usage d'une jumelle. Cet effet vous paraîtra surprenant : je vais vous en donner l'explication dans un instant.

Voici la seconde expérience. Supposez que vous lisiez dans un fauteuil ou dans votre lit en tenant votre livre incliné, et qu'une lampe, placée sur une table en face de vous, assez loin de vous, se trouve allumée. Vous ne vous en apercevez pas et n'y prêtez aucune attention : vous n'avez pas le sentiment que cette lampe vous incommode. Or, si quelqu'un vient à l'éteindre, vous éprouverez exactement la même sensation que si l'on venait d'allumer derrière vous une lampe supplémentaire éclairant votre livre. Inversement, si l'on rallume la lampe de la table, il vous semblera que l'on vient d'éteindre la lampe supplémentaire qui

éclairait votre livre, et vous aurez le sentiment de ne plus y voir suffisamment clair.

L'explication de ces faits est simple. Vous vous rappelez que le facteur fondamental de la vision est l'éclairement de l'image formée sur la rétine : vous vous rappelez aussi que l'œil possède un mécanisme de défense, la contraction automatique de la pupille, par lequel il ferme plus ou moins la porte aux excitations trop violentes. Quand l'œil est ébloui, la pupille se contracte, le flux lumineux admis dans l'œil est réduit, et l'éclairement de l'image formée sur la rétine se trouve diminué. Si, au contraire, on supprime la cause d'éblouissement (par l'usage de verres fumés dans la première expérience, ou par l'extinction de la source éblouissante dans la seconde), le diamètre de la pupille s'agrandit, le flux admis dans l'œil augmente, l'éclairement de l'image également, et la vision devient plus nette.

Il n'y a pas que la *brillance* des sources, primaires ou secondaires, qui intervienne dans les phénomènes d'éblouissement direct : le *flux total* émanant d'une source lumineuse joue aussi un rôle important.

Voici encore une expérience simple qui vous le montrera. Par une belle journée d'été, contemplez le ciel bleu *sans que le soleil vous gêne*, ou bien regardez une ligne d'horizon assez éloignée : vous vous sentirez nettement incommodés par l'éblouissement. Cependant, ce n'est pas la brillance excessive du ciel qui vous éblouit. Vous en aurez la preuve immédiate en abritant vos yeux avec les deux mains disposées comme les tubes d'une jumelle. Vous apercevrez alors une portion beaucoup plus petite du ciel bleu et vous ne souffrirez plus d'éblouissement, bien que la brillance du ciel n'ait pas changé : vous constaterez d'ailleurs que les détails de la ligne d'horizon seront devenus beaucoup plus visibles.

## CONDITIONS FONDAMENTALES D'UN BON ÉCLAIRAGE

Les conditions fondamentales auxquelles doit satisfaire toute installation d'éclairage artificiel sont les suivantes :

I. — Lumière de couleur et de caractéristiques spectrales appropriées ;

II. — Éclairement convenable sur les plans d'utilisation, horizontaux, verticaux ou obliques ;

III. — Absence d'éblouissement direct, par réflexion ou par contraste ;

IV. — Diffusion suffisante de la lumière, laissant néanmoins subsister la sensation des reliefs.

### I. — Couleur et caractéristiques spectrales de la lumière.

Le développement de la race humaine s'étant effectué sous l'éclairage naturel, il parait évident, d'après les lois de l'évolution, que les organes de la vue se sont adaptés à la lumière solaire, telle qu'elle parvient sur la terre après en avoir traversé l'atmosphère. Les caractéristiques spectrales de la lumière artificielle, utilisée pour des usages normaux, devraient donc, en principe, se rapprocher autant que possible

de celles de la lumière du jour. Cela parait d'autant plus désirable que la couleur d'un corps éclairé dépend non seulement de ses propriétés absorbantes ou réfléchissantes, mais aussi de la nature de la lumière qui l'éclaire : deux objets peuvent avoir exactement la même teinte à la lumière blanche et paraître de couleurs absolument différentes sous des lumières colorées, et réciproquement.

Un dessin tracé en rouge sur une feuille blanche apparait en rouge sous la lumière blanche ; il n'est plus visible sous la lumière rouge, puisque toute la feuille paraît rouge, et il apparaît en noir sous la lumière bleue, parce que la lumière bleue ne contient pas de rayons rouges.

Il y a lieu de remarquer, toutefois, que les caractéristiques spectrales de la lumière du jour, telle que nous l'utilisons, sont assez variables, particulièrement dans les villes. En effet, les rayons lumineux qui atteignent notre œil ont subi généralement un certain nombre de réflexions sur des murs, des surfaces ou des corps de différentes couleurs : vous savez, par exemple, que la teinte d'un plafond, d'un tapis ou d'une tenture murale modifie sensiblement l'aspect d'une pièce et des objets qu'elle contient. Et même si la lumière naturelle parvenait directement à notre œil, elle pourrait provenir soit du soleil, soit du ciel bleu, soit des nuages plus ou moins épais, et présenter ainsi de notables variations dans sa composition.

D'ailleurs, quand on parle de *lumière blanche*, il est assez malaisé de préciser ce qu'on entend par ce mot, c'est-à-dire de définir la composition du groupe de radiations visibles qui nous donne la sensation de lumière blanche. Tout rayonnement à spectre continu, auquel l'œil est accoutumé depuis un certain temps, lui donne la sensation de blanc quand aucun autre rayonnement voisin ne permet d'établir une comparaison. Ainsi une feuille de papier blanc, vue sous la

lumière d'une lampe à incandescence, paraît blanche comme si elle était vue sous la lumière naturelle. Et cependant, en plein jour, la lumière de la lampe à incandescence paraît jaune ; inversement, un pinceau de lumière solaire reçu dans une pièce éclairée par des lampes à incandescence paraît bleu. En somme, l'œil considère comme blancs tous les rayonnements provenant de corps incandescents portés à une température suffisante, bien qu'il existe dans la composition de ces rayonnements des différences notables.

L'élévation de la température de fonctionnement des lampes électriques à incandescence a eu pour effet, comme cela a été expliqué précédemment, de déplacer vers les courtes longueurs d'onde la courbe spectrale du rayonnement et, par suite, de la rapprocher de celle du rayonnement solaire, de sorte que, avec les lampes à incandescence actuelles, la couleur des objets est peu modifiée. Elle l'est encore moins si l'on utilise des lampes poussées ou survoltées, dont la température de fonctionnement se trouve augmentée au détriment de la durée.

Dans les cas où il est nécessaire que les couleurs ne soient pas modifiées du tout, on peut faire usage de lampes spéciales à ampoule bleutée, dites « lampes lumière du jour », ou bien de filtres colorés spéciaux capables d'absorber l'excès de rayons rouges émis par le filament incandescent. L'efficacité lumineuse est alors réduite dans de fortes proportions, et il faut employer des lampes consommant beaucoup plus d'énergie électrique.

Pour certains travaux, en particulier dans les ateliers, il n'est pas indispensable que la lumière artificielle soit semblable à la lumière du jour. L'utilisation d'une lumière monochromatique ou colorée peut alors présenter quelquefois certains avantages ; néanmoins, l'emploi d'un tel éclairage est exceptionnel.

## II. — Éclairement convenable des plans d'utilisation.

Dans les immeubles convenablement construits, il est rare que la lumière naturelle ne donne pas au minimum un éclairement d'une centaine de lux aux différents points des pièces principales d'habitation ; on dispose, en général, d'éclairements notablement supérieurs à ce chiffre, surtout au voisinage des fenêtres.

A titre d'indication, une surface exposée au soleil, à midi, en été, présente un éclairement qui peut atteindre 100.000 lux ; à l'ombre, l'éclairement donné par un ciel clair et lumineux est compris entre 10.000 et 20.000 lux ; l'éclairement produit par la pleine lune, dans une nuit claire, est de l'ordre d'un dixième de lux ; l'obscure clarté qui tombe des étoiles, par une nuit sans lune, donne un éclairement inférieur à un millième de lux. Pour un travail prolongé, il faut au moins une trentaine de lux. La valeur généralement recommandée pour un travail de bureau est d'une soixantaine de lux. Pour des travaux de couture ou des travaux analogues, on estime nécessaire un éclairement compris entre 80 lux s'il s'agit de tissus ou objets de couleur claire, et 200 lux s'il s'agit de tissus ou objets de couleur foncée (1). Dans les ateliers, les éclairements à prévoir sont compris entre 20 et 40 lux pour les gros travaux, entre 40 et 60 lux pour les travaux moyens, entre 60 et 90 lux pour les travaux fins, entre 90 et 200 lux pour les travaux très minutieux. Ces différents chiffres sont donnés ici pour fixer l'ordre de grandeur des éclairements usuels ou recommandables.

L'œil est un si merveilleux instrument qu'il se contente, pour remplir ses fonctions, d'éclairements

(1) On voit un objet grâce aux rayons lumineux qu'il diffuse par réflexion : si donc son pouvoir réflecteur est faible, ce qui est le cas des couleurs sombres, il faut un éclairement beaucoup plus fort.

très sensiblement inférieurs à ceux indiqués. Mais il en résulte une diminution de la vitesse d'accommodation et une fatigue visuelle qui se traduisent par ce que l'on appelle la *vision brouillée*. Il peut même en résulter, à la longue, des troubles graves de la vue et du système nerveux, et une diminution temporaire ou permanente des qualités de vision des organes de la vue.

Il est généralement admis, par exemple, que les cas de myopie sont dus, en général, à un allongement du globe de l'œil résultant d'un éclairage insuffisant. Le mauvais éclairage force l'observateur à rapprocher l'objet de l'œil afin que l'image rétinienne, qui n'est pas assez lumineuse, devienne plus grande et que les détails en soient plus distincts. Il en résulte un effort de convergence, sous l'effet duquel l'œil tend à s'allonger : si les tissus sont faibles, l'œil finit par s'allonger définitivement et devient myope, alors qu'il était parfaitement normal de naissance.

Le Dr. Howe, du « New York State Department of Education », écrivait à ce propos : « Je crois que, à un certain moment, toute administration d'école qui ne prendra pas de mesures de préservation contre les défauts oculaires, que nous rencontrons si souvent, sera considérée comme défaillante envers ses devoirs vis-à-vis des élèves. Il y a quelque chose de radicalement mauvais dans tous les systèmes d'éducation qui amènent 8 à 15 % de nos enfants à acquérir une vision défectueuse en peu d'années scolaires. Autant que nous le sachions, il est très rare que des enfants naissent avec des yeux défectueux. »

De nombreuses expériences ont prouvé qu'une augmentation d'éclairement sur les plans utiles sauvegarde la vue, facilite le travail, et diminue la fatigue ; on a constaté, dans maintes entreprises industrielles, qu'une amélioration de l'éclairage avait eu pour effet un accroissement corrélatif de la production, c'est-à-dire du rendement de la main-d'œuvre.

## III. — Absence d'éblouissement.

Tout effet d'éblouissement doit être soigneusement évité pour réduire la fatigue, ménager les yeux, améliorer le confort, augmenter le rendement, éviter les accidents.

Considérons une personne travaillant sous un éclairement convenable donné par un système d'éclairage bien étudié ne provoquant aucun éblouissement. Ses pupilles ont un diamètre normal de 5 millimètres, par exemple. Supposons qu'une seconde personne travaille sous le même éclairement, donné par un système défectueux très éblouissant : ses pupilles se contractent, en raison de l'éblouissement, et n'ont, par exemple, qu'un diamètre de 3 millimètres. La section de passage du flux lumineux admis dans l'œil étant proportionnelle au diamètre de la pupille, les flux lumineux qui iront impressionner la rétine de la première et de la seconde personne seront dans le rapport de 25 à 9. L'éclairement de l'image rétinienne, dont dépend l'impression visuelle, sera donc plus que double dans l'œil de la première. Par conséquent, bien que l'éclairement sur la surface de travail soit exactement le même dans les deux cas, tout se passera comme si la seconde personne travaillait sous un éclairement beaucoup moindre.

Il existe trois genres d'éblouissement :

L'ÉBLOUISSEMENT DIRECT, L'ÉBLOUISSEMENT PAR RÉFLEXION et L'ÉBLOUISSEMENT PAR CONTRASTE.

### Éblouissement direct.

Les principales causes d'éblouissement *direct* sont les suivantes : brillance excessive des sources lumineuses ; disposition défectueuse des foyers lumineux dans le champ visuel ; contraste trop accentué par rapport au fond.

*Brillance excessive des foyers lumineux.*

L'œil est capable de percevoir des brillances très faibles. Il voit nettement au clair de lune une surface blanche dont la brillance est de l'ordre de quelques millionièmes de bougie par centimètre carré ; il distingue même, par une nuit sans lune, une surface bien blanche, dont la brillance est encore beaucoup plus faible.

Une feuille de papier blanc en plein soleil, de même qu'une route blanche, donnent des effets d'éblouissement très nets : leurs brillances excèdent rarement une à deux bougies par centimètre carré. La brillance d'une feuille de papier sur laquelle on travaille, avec l'éclairement recommandé d'une soixantaine de lux, est d'environ deux millièmes de bougie par centimètre carré.

Si l'on compare à ces brillances celles que présentent les filaments incandescents des lampes électriques, se chiffrant en centaines de bougies par centimètre carré de surface apparente, on n'est pas surpris que l'œil soit terriblement incommodé par la contemplation directe de telles sources. On comprend alors la nécessité absolue de les masquer ou d'en réduire la brillance par des dispositifs appropriés.

Un procédé simple consiste à utiliser comme source secondaire la surface même de l'ampoule (lampes opales émaillées ou dépolies) : on diminue ainsi la brillance, mais dans des proportions généralement insuffisantes, la surface apparente de l'ampoule n'étant pas assez grande pour que la brillance soit suffisamment réduite.

Quand un foyer lumineux doit se trouver placé dans le champ visuel à une distance relativement faible de l'œil, il importe que sa brillance n'excède pas 0,1 bougie par centimètre carré. Pour obtenir ce résultat, on fait usage d'enveloppes translucides en

matières diffusantes dont il sera question plus loin. Les dimensions de ces enveloppes devront toujours être proportionnées à la puissance de la lampe ou des lampes qu'elles contiennent. Le tableau suivant donne, à titre d'indication générale, les valeurs recommandées pour le diamètre d'un globe sphérique diffusant :

| Puissance de la lampe en watts | Diamètre minimum en centimètres |
|---|---|
| 75 | 20 à 25 |
| 100 | 30 |
| 150 | 35 |
| 200 | 35 à 40 |
| 300 | 40 à 45 |
| 500 | 45 à 50 |

Un artifice très efficace pour éviter les effets d'éblouissement consiste à utiliser le plafond comme source lumineuse secondaire. Pour cela, on dirige sur lui, à l'aide d'appareils appropriés, tout le flux émis par les foyers lumineux, en faisant en sorte que l'éclairement soit aussi uniforme que possible. La source secondaire présente alors une très grande surface, puisqu'elle est constituée par le plafond lui-même, et sa brillance est peu élevée.

*Disposition défectueuse des foyers lumineux.*

Il n'y a pas que la brillance des sources lumineuses, primaires ou secondaires, qui intervienne dans les phénomènes d'éblouissement. Le *flux total* émanant d'une source lumineuse peut jouer aussi un rôle important.

Ainsi une sphère diffusante de 25 centimètres de diamètre contenant une lampe de 500 watts présente,

dans la direction de l'œil, une brillance beaucoup plus faible que celle du filament incandescent d'une lampe nue de 50 watts ; cependant, si l'une ou l'autre de ces sources se trouve placée dans le champ visuel, *à une distance inférieure à 2 m. 50 environ*, elles produiront des effets d'éblouissement à peu près équivalents. L'éblouissement que l'on ressent si l'on travaille sur un bureau placé juste en face d'une fenêtre a la même cause. C'est le volume total de la lumière qui intervient dans ces deux cas : le flux lumineux reçu par l'œil est trop considérable parce que la source lumineuse est placée *trop près de lui*, ou *trop près de l'axe de vision*.

Ce dernier cas est le plus fréquent : l'angle sous lequel l'œil aperçoit la source lumineuse quand l'axe de vision est dirigé soit horizontalement (position de repos), soit vers l'objet regardé (position de travail) est trop petit pour que l'œil ne subisse pas une gêne notable. *Cet angle ne devrait jamais être inférieur à* 30°. On doit donc veiller à ce que le rayon joignant la source lumineuse à l'œil ne fasse pas avec l'horizontale un angle inférieur à la valeur minima de 30° : dans un très grand nombre d'installations d'éclairage, cette condition fondamentale n'est pas observée.

Aucune source lumineuse visible ne doit se trouver dans le plan horizontal de l'œil ou à proximité de ce plan : les lampes utilisées pour l'éclairage local doivent donc être soigneusement masquées par des réflecteurs profonds.

Pour reconnaître si une source située en dehors de l'axe de vision éblouit pendant le travail, on regarde attentivement l'endroit où l'on travaille et, sans détourner les yeux, on fait masquer par un écran, ou bien on masque soi-même avec la main la source lumineuse en question : si l'on a le sentiment d'y voir mieux qu'auparavant, c'est que l'œil subissait des effets d'éblouissement.

*Contraste par rapport au fond.*

Une autre cause d'éblouissement direct réside dans le *contraste* de la source par rapport au fond.

Tout le monde sait qu'un projecteur d'automobile, terriblement éblouissant la nuit, incommode très peu l'œil en plein jour.

De même, une source lumineuse est beaucoup plus éblouissante si elle se détache sur un fond noir que si elle apparaît sur un fond relativement clair.

C'est une des raisons pour lesquelles on recommande de choisir des tons clairs pour le plafond et pour les murs des pièces d'habitation ou des bureaux. Mais, tandis qu'il est toujours désirable que le plafond soit aussi clair que possible, c'est-à-dire blanc ou presque blanc, il peut y avoir un inconvénient à ce que les murs soient trop clairs, tout au moins dans leur partie inférieure : en effet, s'ils sont brillamment éclairés, il peut en résulter des effets d'éblouissement. Une bonne pratique, fréquemment suivie dans les installations modernes, consiste à revêtir la partie inférieure des murs de peinture ou tentures moyennement claires, et leur partie supérieure, ainsi que le plafond, d'une peinture très claire.

**Éblouissement par réflexion.**

L'éblouissement par réflexion est produit par la plupart des surfaces lisses. Du bois vernis, du métal poli, des panneaux brillants, du papier glacé, etc., sont autant de sources d'éblouissement par réflexion.

Ce genre d'éblouissement est d'autant plus redoutable que, dans bien des cas, on ne se rend pas compte qu'il existe. Quand on a travaillé, par exemple, plusieurs heures sur du papier blanc sous un éclairage que l'on croit convenable parce qu'il donne suffisamment de lumière, il arrive que l'on ressente un mal de tête et une gêne de la vue que l'on attribue à la fatigue

cérébrale. Ces troubles proviennent, en réalité, de la réflexion, sur le papier blanc, de rayons lumineux imparfaitement diffusés.

L'ouvrier qui travaille sur une machine éprouve la même gêne quand la lumière d'une lampe est réfléchie par la pièce qu'il est en train d'usiner. La fatigue est d'ailleurs accrue par le fait que la lumière réfléchie arrive par en bas : or, la nature a moins bien protégé nos yeux contre les rayons lumineux ascendants que contre les rayons lumineux descendants.

L'éblouissement par réflexion peut être occasionné aussi par les murs, si ceux-ci sont trop brillants, particulièrement si l'on se trouve assis en face d'un mur, comme cela est fréquent.

La brillance des murs doit être plus faible que celle du papier sur lequel on travaille ; en fait, pour un bon confort, elle ne devrait pas dépasser 20 % de la brillance du papier ; en tous cas, elle ne doit jamais excéder 50 %. Il faut éviter également que les murs soient revêtus de peinture brillante, tout au moins dans leur partie inférieure.

**Éblouissement par contraste.**

L'éblouissement par contraste est ressenti chaque fois que l'œil passe d'une zone sombre à une zone brillamment éclairée, ou inversement. Il faut à l'œil un certain temps pour s'adapter aux nouvelles conditions, et, si cette opération d'adaptation doit se renouveller trop fréquemment, il en résulte une fatigue notable et une perte de temps.

Ce genre d'éblouissement est toujours à redouter quand la surface de travail (table, machine, etc.) est éclairée par une lampe locale munie d'un réflecteur concentrant, le reste de la pièce étant à peu près obscur. C'est pourquoi les surfaces avoisinantes, les murs et le plafond doivent présenter un éclairement

qui, sans être équivalent à celui des surfaces de travail, n'en diffère néanmoins pas trop, et en diffère d'autant moins que ces surfaces avoisinantes sont plus rapprochées de la surface de travail.

Le degré d'éblouissement par contraste dépend de l'état d'adaptation de l'œil. Un phare d'automobile n'incommode pas l'œil adapté pour la lumière solaire, tandis qu'une source lumineuse de puissance relative-

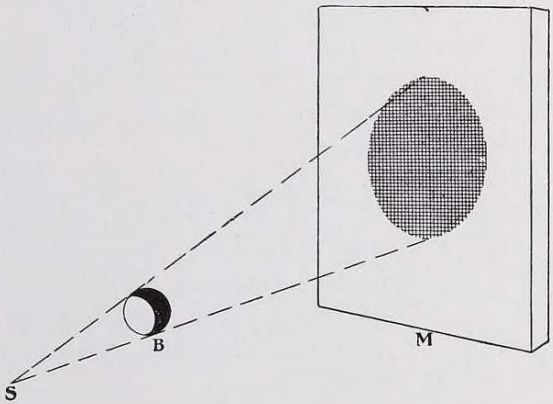



Fig. 22. — Ombre dure engendrée par une source lumineuse ponctiforme.

ment faible agit sur un œil adapté pour la demi-obscurité ; on s'en rend bien compte dans les salles de spectacle cinématographique, lorsque la lumière est brusquement allumée au moment de l'entracte.

## IV. — Diffusion de la lumière.

La lumière donnée par le plein soleil paraît « dure ». Ce sentiment provient de la netteté et de l'opacité des ombres. Et cependant, même en plein soleil, une bonne partie (20 % environ) de la lumière qui nous parvient provient du ciel ; nous ne nous

trouvons donc pas tout à fait dans le cas d'une source lumineuse ponctiforme, qui donnerait des ombres encore plus dures.

Au contraire, quand le ciel est uniformément couvert de nuages, la lumière paraît « douce ». Ce sentiment provient de ce que les ombres sont estompées, légères, presque transparentes. La lumière est *diffusée* par les nuages.

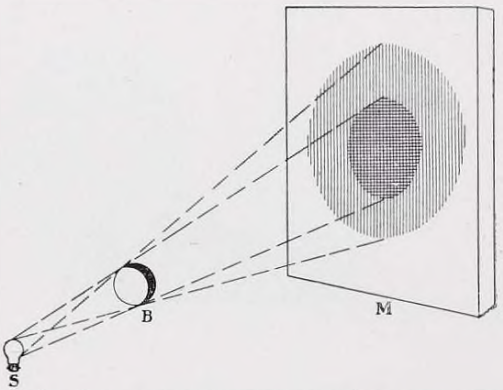



Fig. 23. — Ombre dure et pénombre douce engendrées par une source lumineuse de dimensions non négligeables (lampe opaline).

Si l'on éclaire une pièce au moyen d'une lampe nue de forte puissance, les ombres sont dures, opaques, nettement tranchées. Si, au contraire, on éclaire cette pièce en projetant la lumière sur le plafond, qui agit alors comme source secondaire, les ombres disparaissent presque complètement : la lumière est complètement diffusée.

Voici, schématiquement représentées (fig. 22, 23 et 24), les ombres portées sur un plan par une petite sphère, éclairée soit par une source à peu près ponctiforme (lampe nue), soit par une source d'une certaine surface (lampe opale), soit par une source de grande surface (globe diffusant). Vous voyez immédiatement la différence des ombres portées.

Les ombres sont à la fois nuisibles et utiles. Si elles sont dures et marquées, elles sont gênantes en raison du contraste qu'elles produisent par rapport aux objets environnants brillamment éclairés, et parce que les surfaces situées dans l'ombre peuvent ne pas présenter un éclairement suffisant pour une bonne vision. Mais, d'autre part, c'est généralement grâce aux ombres que l'on a le sentiment du relief des

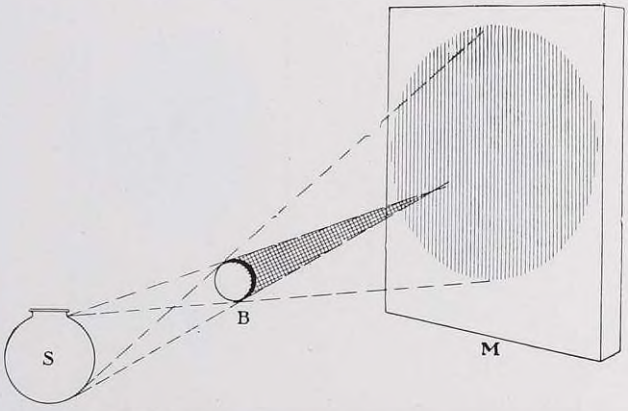



Fig. 24. — Pénombre douce engendrée par une source lumineuse de dimensions suffisantes (globe diffusant).

objets ; les surfaces sont plus facilement distinguées les unes des autres que si elles présentaient toutes le même éclairement.

Avec une lumière parfaitement diffusée, on ne se rend pas bien compte si un objet présente une section rectangulaire, triangulaire ou circulaire, si ses faces sont planes, concaves ou convexes ; le relief peut même disparaître complètement. Voilà, par exemple (fig. 25), une tête d'égyptienne en plâtre, éclairée par de la lumière diffuse : on ne peut en distinguer le modelé. Voici cette même tête, éclairée au moyen de lumière oblique (fig. 26) : tous les reliefs apparaissent.



Fig. 25. — Un éclairage complètement diffus ne permet pas d'apprécier les reliefs, ou de reconnaître la forme géométrique exacte des objets.




Fig. 26. — Un éclairage donnant des ombres suffisantes convient pour l'appréciation des reliefs ou de la forme géométrique exacte des objets.

Quand il s'agit d'éclairer un bureau ou une salle de dessin industriel, ou dans toute autre application analogue, où la question d'appréciation des reliefs ne se pose pas, on peut utiliser un éclairage complètement diffus. Dans la généralité des cas, il faut employer un éclairage aussi diffus que possible, mais comportant néanmoins assez de lumière directe pour que les objets soient vus dans leur relief, avec des ombres douces et transparentes.

*L'éblouissement blesse l'œil...*



*...la lumière diffuse ménage la vue.*

# LAMPES ÉLECTRIQUES

## Lampes a incandescence.

Nous avons vu, dans l'étude du rayonnement, que l'efficacité lumineuse d'une lampe à incandescence croît très rapidement quand sa température de fonctionnement augmente. Mais plus la température est élevée, plus est rapide la désintégration et la destruction du filament. La fabrication des lampes à incandescence repose donc sur un compromis entre deux conditions contradictoires : si la lampe a une efficacité lumineuse très élevée, elle est détruite rapidement ; si, au contraire, elle est établie pour durer longtemps, son efficacité lumineuse est faible.

Généralement, les lampes sont calculées pour avoir une *durée utile* de 800 à 1.000 heures en fonctionnement normal *sur tension constante*. On appelle durée utile, en France tout au moins, la période de temps qui s'écoule depuis la mise en service de la lampe jusqu'au moment où le flux lumineux a baissé de 20 % par rapport à sa valeur initiale, la diminution du flux lumineux provenant de la désintégration du filament et du dépôt noir qui se forme à l'intérieur de l'ampoule. La rupture du filament, c'est-à-dire la mise hors service définitive de la lampe, ne se produit généralement qu'un peu plus tard.

Si l'on « pousse » une lampe à incandescence en la *survoltant*, c'est-à-dire en la faisant fonctionner sous une tension d'alimentation supérieure à celle prévue par le constructeur, la température du filament est plus élevée, l'efficacité lumineuse augmente et la durée utile diminue : la lumière devient plus blanche,

comme cela a été expliqué. Ce dernier avantage fait utiliser des lampes très poussées pour l'éclairage de certains studios de cinéma, de façon à obtenir une lumière aussi voisine que possible de la lumière du jour pour l'utilisation de films panchromatiques.

En dehors de ce cas spécial, on a souvent avantage à pousser les lampes pour augmenter leur efficacité lumineuse au détriment de leur durée. Si le prix de l'énergie électrique est élevé, comme dans la plupart des villes, l'augmentation de dépense occasionnée par un renouvellement plus fréquent des lampes peut être inférieure à l'économie réalisée sur la dépense de courant électrique pour l'obtention d'un même flux lumineux ; il y a donc avantage. Au contraire, dans les régions où l'énergie électrique est bon marché, comme c'est le cas au voisinage de chutes d'eau, on peut avoir économie à consommer plus de courant pour l'obtention d'un même flux lumineux, en utilisant des lampes d'une efficacité lumineuse moindre et d'une durée utile plus grande : on est conduit alors à *sous-volter* les lampes, c'est-à-dire à utiliser, par exemple, sur des réseaux à 110 volts, des lampes établies pour fonctionner normalement sur 120 ou 125 volts.

Dans chaque cas particulier, il faut donc faire le *prix de revient du lumen-heure*, c'est-à-dire additionner le prix d'achat de la lampe et la dépense de courant électrique correspondant à sa consommation pendant toute la durée utile, puis diviser par la quantité totale de lumière produite pendant cette durée.

On a d'ailleurs établi des formules générales permettant de calculer, d'après le prix des lampes et le prix du courant, quelle est la durée utile la plus économique (1). Si l'on fait ce calcul pour la région pari-

(1) Voici l'une des formules approximatives que l'on peut utiliser :

$$\textit{durée la plus économique} = \frac{6000 \,.\, P}{w \,.\, p},$$

P étant le prix de la lampe, $w$ sa puissance en watts, et $p$ le prix de l'énergie électrique par kilowatt-heure.

sienne, par exemple, on trouve que cette durée est de l'ordre de 500 heures. Il semble donc que l'on aurait intérêt à survolter les lampes, c'est-à-dire à utiliser, sur des réseaux à 110 volts, des lampes établies pour fonctionner normalement sur 100 ou 105 volts. Mais c'est à la condition que la tension d'alimentation reste bien constante. Or, il n'en est généralement pas ainsi. La plupart du temps, la tension d'alimentation du réseau est déjà un peu supérieure à la normale (particulièrement aux heures de faible charge) ; d'autre part, elle présente des fluctuations qui peuvent atteindre parfois jusqu'à 10 % de la tension normale.

Les variations de tension abrègent beaucoup la vie des lampes. Dans certains pays, où elles sont particulièrement importantes en raison de la surcharge actuelle des réseaux, on a jugé utile de demander aux constructeurs une modification de la fabrication des lampes usuelles de façon qu'elles soient établies pour une durée utile de 1.500 heures en régime normal sur tension constante ; on espère ainsi pouvoir compter sur un millier d'heures comme durée utile pratique malgré les variations de tension.

Si j'insiste un peu sur ces points, c'est qu'ils sont généralement mal connus du public, dont la tendance naturelle est de considérer comme bonne une lampe qui dure très longtemps. C'est là une grave erreur. La lampe qui dure longtemps n'est pas la meilleure : elle mange de l'argent, car elle ne correspond pas aux conditions du maximum d'économie.

J'ajouterai quelques mots sur le *marquage des lampes*, c'est-à-dire sur leur désignation pour la vente.

Au début, les lampes électriques étaient marquées en *bougies*. Cela tient à ce qu'elles étaient définies par leur *intensité lumineuse* dans la direction horizontale. La plupart des sources lumineuses donnant une distribution à peu près analogue de la lumière dans les

différentes directions, la connaissance de l'intensité lumineuse dans la direction horizontale fournissait un critérium suffisant pour les comparer entre elles. Il n'en a plus été de même par la suite, particulièrement après l'adoption des filaments boudinés en hélice. On a été conduit alors à définir les lampes par leur *flux luminueux* (en *lumens*); mais, pour les besoins de la pratique, on a trouvé plus commode de les désigner d'après la *puissance électrique* qu'elles consomment, c'est-à-dire en *watts*. Les chiffres portés actuellement sur le culot ou sur l'ampoule des lampes à incandescence expriment donc, d'une part la tension d'alimentation prévue pour leur fonctionnement normal, et d'autre part la puissance électrique qu'elles consomment.

On utilise généralement des lampes à vide jusqu'à 60 watts et des lampes à milieu gazeux au delà de 60 watts. La brillance des lampes à vide est inférieure à celle des lampes à atmosphère gazeuse ; ces dernières sont donc plus éblouissantes. La lumière émise par les lampes à vide est plus jaune que celle émise par les lampes à gaz ; ces dernières donnent une lumière dont la composition se rapproche plus de celle de la lumière solaire.

Outre les lampes dont l'ampoule est en verre clair, on fabrique des lampes en verre opalin, ou bien en verre émaillé ou dépoli, de façon à diffuser la lumière et diminuer la brillance. On fabrique aussi des lampes semi-dépolies ou semi-émaillées, dont l'hémisphère inférieure (moitié opposée au culot) est seule dépolie ou émaillée, la partie supérieure de l'ampoule restant en verre clair. Ces lampes, utilisées dans des réflecteurs appropriés, permettent de réaliser des foyers lumineux peu éblouissants et d'un bon rendement.

Enfin, depuis quelque temps, on a établi une nouvelle série standard de lampes à *dépolissage intérieur*, connues en France sous le nom de lampes perle. Les

caractéristiques de ces lampes sont résumées par le tableau suivant :

| PUISSANCE EN WATTS | FLUX LUMINEUX EN LUMENS | |
|---|---|---|
| | Lampes de 100 à 130 volts | Lampes de 200 à 260 volts |
| 15 | 135 | 120 |
| 25 | 245 | 220 |
| 40 | 420 | 375 |
| 60 | 720 | 550 |
| 75 | 955 | 760 |
| 100 | 1.355 | 1.115 |

J'ai déjà mentionné l'emploi de lampes *lumière du jour*, dont l'ampoule est en verre bleuté spécial ayant pour fonction d'absorber les rayons rouges en excès. Ces lampes sont plus poussées que les lampes usuelles et leur durée utile est plus courte. Néanmoins, en raison de l'absorption du verre bleuté, leur efficacité lumineuse est de 30 à 40 % plus faible que celle des lampes claires normales.

Il existe, pour l'éclairage décoratif, des lampes de petites dimensions, dites « *lampes flamme* » dont l'usage n'est pas à recommander, car elles ont une efficacité lumineuse médiocre et une durée utile réduite par suite du noircissement rapide de l'ampoule. On utilise quelquefois aussi, particulièrement pour l'éclairage des magasins, des *lampes tubes* de grande longueur (une trentaine de centimètres), dont le filament est rectiligne; ces lampes peuvent donner de bons résultats si elles sont bien construites, mais leur prix est élevé. Certaines lampes analogues de forte puissance ont été

établies pour l'éclairage des scènes de théâtre, ou pour l'utilisation de projecteurs spéciaux employés dans l'éclairage des façades.

Il ne faut pas oublier que *l'efficacité des lampes augmente avec leur puissance* ; il y a donc intérêt, chaque fois que cela ne nuit pas à l'uniformité de l'éclairage, à remplacer un grand nombre de lampes de faible puissance par un nombre moindre de lampes de plus forte puissance. Ainsi, une lampe à atmosphère gazeuse consommant 200 watts donne le même flux lumineux que treize lampes à vide consommant chacune 25 watts ; la deuxième solution correspond à une augmentation de dépense d'énergie de 62,5 %, par rapport à la première.

### Lampes a vapeur de mercure.

La lumière produite par ces lampes est engendrée par la luminescence d'une colonne de vapeur de mercure à faible pression contenue dans un long tube de verre. La source lumineuse ayant une grande surface apparente, sa brillance est faible, de sorte que le risque d'éblouissement est minime.

La composition de la lumière diffère beaucoup de celle émise par le soleil ou par des corps incandescents. La lampe à vapeur de mercure donne un *spectre discontinu*, avec des raies dans le jaune verdâtre et le bleu violacé ; elle émet une lumière dans laquelle le bleu et le vert sont en excès notable par rapport à la proportion contenue dans la lumière blanche : les rayons rouges sont presque totalement absents. Il en résulte que les couleurs habituelles des objets se trouvent profondément modifiées, ce qui constitue, pour beaucoup d'usages, un grave inconvénient : le visage et les mains prennent un aspect cadavérique.

La lampe à vapeur de mercure usuelle est formée d'un tube de verre d'environ 2,5 cm. de diamètre et 0 m. 75 à 1 m. 25 de longueur. La tension usuelle de fonctionnement est de 110 volts, courant continu. En fonctionnement normal, la lampe est légèrement inclinée par rapport à l'horizontale. Le tube porte, à sa partie supérieure, un renflement dans lequel est logée une électrode positive en fer pur en forme de coupelle : la partie inférieure est constituée par une protubérance contenant le mercure et agissant en outre comme « chambre de condensation », en vue d'empêcher la température de la vapeur de mercure de s'élever au delà d'une valeur convenable (140° environ). Deux fils de platine, ou d'un métal ayant un coefficient de dilatation approprié, sont soudés dans le verre et amènent aux électrodes de fer et de mercure le courant électrique. Pour amorcer l'arc, on établit momentanément un court-circuit entre les électrodes, ou bien on a recours à une décharge auxiliaire produite au moyen d'un appareil approprié.

On construit aussi des lampes à vapeur de mercure fonctionnant sur courant alternatif. Elles sont munies de deux électrodes positives en fer, séparées et isolées l'une de l'autre. Au moyen de bobines de self-induction appropriées, on transforme le courant alternatif simple en courants diphasés, qu'on utilise pour l'alimentation des deux électrodes positives en fer, l'électrode négative en mercure étant commune aux deux circuits.

La lumière de la lampe à vapeur de mercure a un grand pouvoir actinique, qui la fait employer pour l'éclairage des studios de cinéma, ainsi que pour l'éclairage des ateliers de photographie et pour le tirage des bleus. En raison de la faible consommation spécifique de cette source lumineuse et de la grande diffusion de la lumière produite, un certain nombre d'applications en ont été faites à l'éclairage des ateliers, notamment dans l'industrie mécanique.

Les lampes à vapeur de mercure, établies avec du quartz transparent au lieu de verre, sont utilisées pour la production des rayons ultra-violets dans les applications médicales ou physiologiques, ainsi que pour la stérilisation des eaux. On doit veiller à ce que l'œil n'aperçoive jamais ces lampes sans interposition de verres, car les rayons ultra-violets causent à la conjonctive de graves dommages : le verre arrête la majeure partie des radiations ultra-violettes et produit un « filtrage » de la lumière nocive.

### Tubes luminescents.

On fait un usage de plus en plus étendu, pour l'éclairage publicitaire (enseignes lumineuses, etc.) de tubes luminescents de grande longueur et de faible diamètre alimentés par du courant alternatif à tension relativement élevée (3.000 volts environ).

Ces tubes contiennent différentes sortes de gaz à faible pression. Les plus répandus sont ceux au néon, qui donnent une lumière rouge. D'autres contiennent de la vapeur de mercure, de l'acide carbonique, de l'hydrogène, ou d'autres gaz ; ils donnent, directement ou avec emploi de verre fluorescent, une lumière bleue, verte, rose, blanche ou jaune.

Les tubes luminescents n'étant pas employés pour l'éclairage proprement dit, sauf dans des cas tout à fait particuliers, il n'y a pas lieu d'en faire ici une étude plus approfondie. Je signalerai seulement que, en combinant en proportions convenables la lumière rouge des tubes à néon et la lumière bleue des tubes à mercure, on peut obtenir un bon éclairage blanc (1).

---

(1) Ces proportions sont à peu près les suivantes : un tiers pour le rouge et deux tiers pour le bleu.

# DIFFÉRENTS SYSTÈMES D'ÉCLAIRAGE

## Généralités.

Les sources de lumière usuellement employées rayonnent à peu près dans toutes les directions.

Si, à l'aide d'un appareil approprié, un projecteur par exemple, on concentre la totalité du flux lumineux dans un cône très étroit, on obtient, dans une direction déterminée, une intensité lumineuse qui pourra atteindre jusqu'à 10.000 fois la valeur primitive, l'intensité dans toutes les autres directions devenant à peu près nulle. Le flux lumineux total est resté le même (si l'on néglige l'absorption de l'appareil), mais sa répartition a été complètement modifiée.

C'est là évidemment un cas extrême, mais on voit par cet exemple qu'un APPAREIL D'ÉCLAIRAGE *est généralement nécessaire pour* FAÇONNER *la lumière* en vue de son utilisation pratique.

De tels appareils ont pour fonction :

*de modifier la courbe photométrique des sources lumineuses* afin de donner, sur le plan utile, une distribution convenable de la lumière ;

*de rendre utilisable la plus grande partie du flux émis* ;

*de réduire au minimum l'éblouissement* ;

*d'adoucir les ombres*.

Je vous rappelle que les CONDITIONS FONDAMENTALES D'UN BON ÉCLAIRAGE sont les suivantes :

*Lumière de couleur et de caractéristiques spectrales appropriées* ;

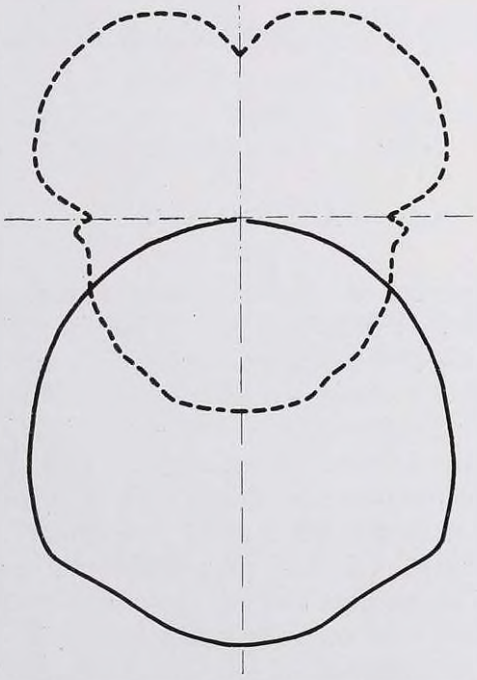


Fig. 27.
Aspect de la courbe de répartition des intensités lumineuses d'un appareil établi pour donner un éclairage direct.

*Eclairement convenable sur les plans d'utilisation* ;
*Absence d'éblouissement* ;
*Diffusion suffisante de la lumière, laissant néanmoins subsister la sensation des reliefs.*

Les différents SYSTÈMES D'ÉCLAIRAGE utilisés dans la pratique peuvent être classés en quatre catégories : *éclairage direct, éclairage indirect, éclairage semi-direct, éclairage semi-indirect.*

Dans le système d'*éclairage direct*, l'appareil distribue toute la lumière vers le bas ; la courbe de répartition des intensités lumineuses est analogue à celle que représente, en trait plein, la figure 27 (1).

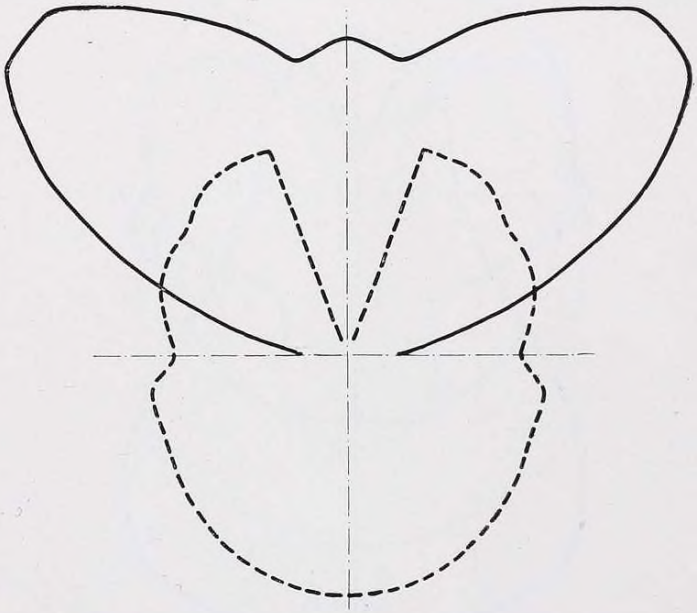


Fig. 28.
Aspect de la courbe de répartition des intensités lumineuses d'un appareil établi pour donner un éclairage indirect.

Dans le système d'*éclairage indirect*, toute la lumière est projetée vers le plafond ; la courbe de répartition des intensités lumineuses est analogue à celle que représente la figure 28. La lumière est ensuite

---

(1) La courbe en *trait interrompu* montre la répartition des intensités lumineuses de la *lampe nue* utilisée dans l'appareil.

Il faut bien remarquer que la *surface* de ces courbes ne donne *absolument aucune indication* relativement au flux lumineux émis par la lampe ou par l'appareil considéré.

diffusée par le plafond, qui agit comme source secondaire.

Dans le système d'*éclairage semi-direct*, la majeure partie de la lumière est dirigée vers le bas, mais une

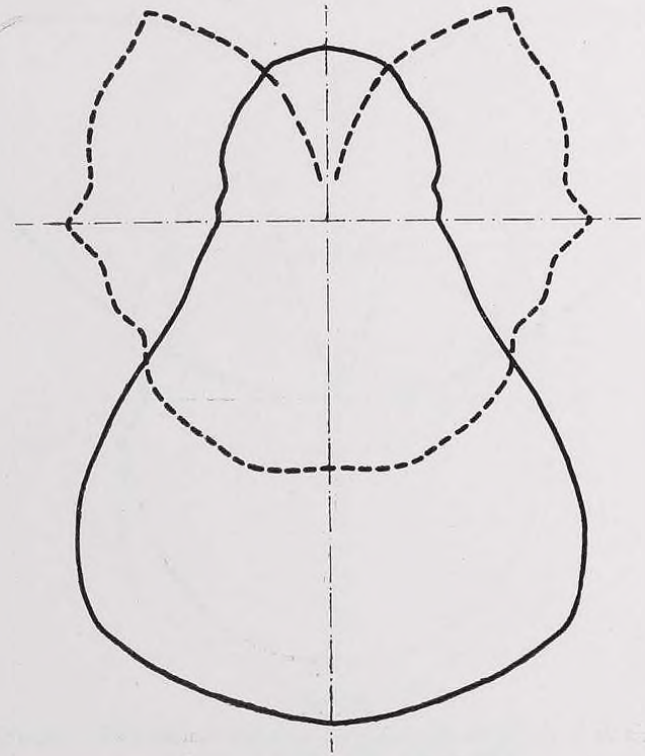


Fig. 29.
Aspect de la courbe de répartition des intensités lumineuses d'un appareil établi pour donner un éclairage semi-direct.

certaine portion de la lumière va vers le plafond, qui la renvoie en la diffusant (fig. 29).

Dans le système d'*éclairage semi-indirect*, la majeure partie de la lumière est dirigée vers le plafond, qui la renvoie en la diffusant, mais une certaine portion passe à travers l'appareil et est utilisée pour l'éclairage direct (fig. 30).

Chacun de ces systèmes d'éclairage offre des avantages et des inconvénients. L'éclairage direct est plus économique, mais il est moins agréable que l'éclairage indirect, et les ombres sont plus dures. L'éclairage indirect donne une diffusion plus parfaite

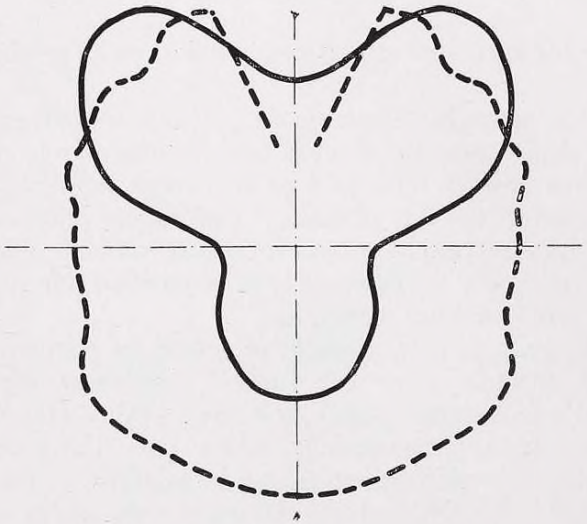


Fig. 30.
Aspect de la courbe de répartition des intensités lumineuses d'un appareil donnant un éclairage semi-indirect.

de la lumière, mais il est plus onéreux ; il exige des plafonds mats, propres et de couleur claire. Les systèmes semi-direct et semi-indirect permettent de résoudre au mieux tous les problèmes d'éclairage, car ils présentent, dans une proportion variable à volonté, les avantages et les inconvénients de l'un et l'autre. On donne la préférence au semi-direct dans les installations où l'économie d'énergie électrique est primordiale, et au semi-indirect dans les installations où la question de confort est prédominante.

Les appareils permettant de réaliser les différents systèmes d'éclairage sont extrêmement nombreux et présentent des formes variées. Suivant le but à atteindre ils utilisent les propriétés de la *réflexion régulière*, de la *réflexion diffuse*, de la *diffusion*, et de la *réfraction*.

### Propriétés optiques des matériaux utilisés.

Un rayon lumineux se dirige toujours suivant une ligne droite tant qu'il n'est pas absorbé par le milieu qu'il traverse, et tant qu'il ne rencontre pas d'obstacle. S'il rencontre un obstacle, différents phénomènes peuvent intervenir suivant la *nature* de cet obstacle, la constitution de sa *surface*, et sa *position* par rapport au rayon lumineux incident.

Il peut y avoir *absorption totale ou partielle* (cas d'une surface noire ou fumée) ; *réflexion régulière* (cas d'une surface polie) ; *réflexion diffuse* (cas d'une surface mate) ; *transmission diffuse* (cas d'une couche de nuages) ; *réflexion et transmission diffuses*, en proportions variables suivant la nature du corps et de l'angle d'incidence (cas du verre opale) ; *réfraction* (cas du verre transparent).

*Tous ces phénomènes ont lieu avec absorption d'une partie de la lumière incidente, de telle façon que le flux lumineux disponible se trouve réduit dans des proportions plus ou moins fortes par rapport au flux initial.*

#### Métal poli.

On considère comme *polie* toute surface dont les aspérités sont très petites par rapport à la longueur d'onde des rayons lumineux.

La réflexion régulière se produit chaque fois qu'un rayon lumineux frappe une surface en métal poli. Comme le montre la figure 31, un faisceau de

rayons lumineux tombant sur une surface en métal poli est réfléchi suivant une direction telle que l'angle de réflexion soit égal à l'angle d'incidence ; aucun rayon n'est réfléchi dans d'autres directions.

En faisant usage d'une surface réfléchissante convenablement disposée, on a donc la possibilité de

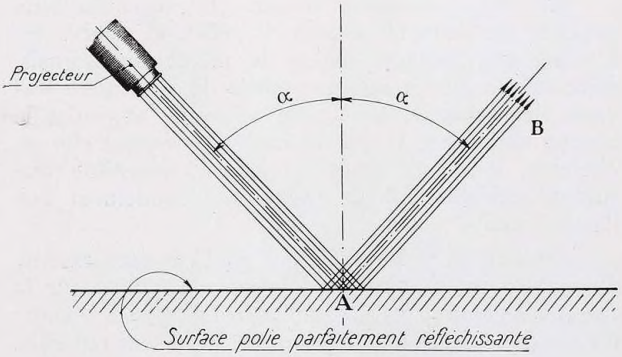



Fig. 31.
Réflexion régulière sur une surface polie.
(L'angle des rayons réfléchis est égal à l'angle des rayons incidents.)

modifier la direction des rayons lumineux, pour les envoyer dans une autre direction déterminée.

Le *rendement* d'une surface réfléchissante dépend d'un grand nombre de facteurs, parmi lesquels la nature et la couleur de la surface, et l'angle d'incidence des rayons sont les plus importants.

Toutes les surfaces de métaux parfaitement polis peuvent réfléchir la lumière, mais pas avec le même rendement. Par exemple, une surface en argent poli a un rendement moyen de 88 %, c'est-à-dire que, si un flux lumineux de 100 lumens tombe sur une surface de cette nature, un flux lumineux de 88 lumens sera réfléchi par elle. Une surface d'aluminium poli

a un rendement de 62 %, ce qui veut dire que, pour un flux lumineux incident de 100 lumens, un flux lumineux de 62 lumens seulement sera réfléchi, le reste étant absorbé, etc.

### Verre argenté.

Le verre recouvert d'une couche métallique présente des caractéristiques de réflexion semblables à celles des surfaces polies de même métal mais, étant donné que la majeure partie de la lumière traverse deux fois le verre, une fois pour atteindre la couche métallique et une seconde fois quand elle est réfléchie, le miroir en verre argenté constitue une surface réfléchissante de moins bon rendement que l'argent poli.

Environ 10 % sont réfléchis par la surface externe du verre ; 12 % sont perdus par absorption sur la surface argentée ; 5 % sont absorbés par le verre : il reste donc environ 73% des rayons qui sont réfléchis. Les pertes dans le verre dépendent de sa composition.

### Surfaces demi-mates.

Imaginons un ensemble réfléchissant formé par un grand nombre de très petites surfaces polies, distribuées suivant des angles différents. Une tôle revêtue d'une couche de peinture à la poudre d'aluminium en fournit un bon exemple, et peut être considérée comme une surface *demi-mate*. Quand un faisceau de rayons lumineux rencontre une telle surface, les rayons sont réfléchis individuellement sous des angles légèrement différents, mais tous dans la même direction générale, comme le montre la figure 32.

Ce phénomène est analogue à une réflexion, dans laquelle le faisceau serait étalé tout en conservant sa plus grande intensité dans la direction générale de

réflexion régulière. L'angle d'ouverture du faisceau des rayons réfléchis, c'est-à-dire l'importance du phénomène d'étalement de ce faisceau, ou la *dispersion* de la lumière, dépend de la nature de la surface réfléchissante. Si la constitution de la surface se rapproche de celle d'une surface polie, l'angle d'ouverture du

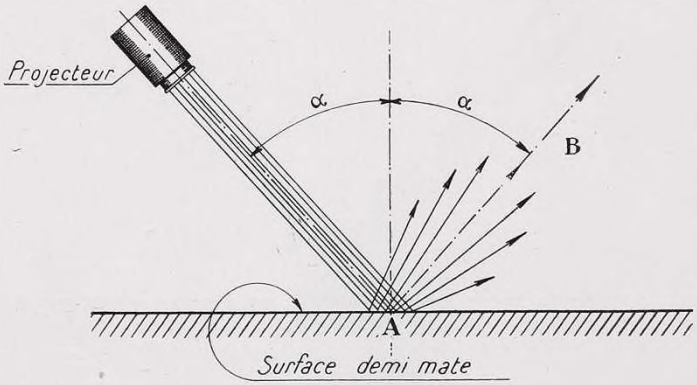



Fig. 32.
Réflexion avec dispersion sur une surface demi-mate.
(Le faisceau réfléchi est d'autant plus étalé que la surface réfléchissante est plus mate.)

faisceau réfléchi est petit ; si, au contraire, elle se rapproche de plus en plus de celle d'une surface mate, l'angle d'ouverture du faisceau réfléchi est de plus en plus grand ; à la limite, la surface agit comme une surface parfaitement diffusante.

**Surfaces diffusantes.**

Une surface est dite tout à fait *mate* si elle n'est absolument pas brillante : c'est le cas, par exemple, d'une surface de papier buvard blanc. Elle paraît mate parce que tous ses éléments constitutifs présentent aux rayons lumineux incidents des *aspérités* qui, évidemment, nous paraissent fort petites mais qui,

néanmoins, ont des dimensions appréciables vis-à-vis des longueurs d'onde des radiations lumineuses. Quand la lumière tombe sur ces aspérités, *elle se trouve réfléchie dans toutes les directions sans exception* (fig. 33). Si la surface est *parfaitement diffusante*, sa *brillance est uniforme*, quelle que soit la direction suivant laquelle

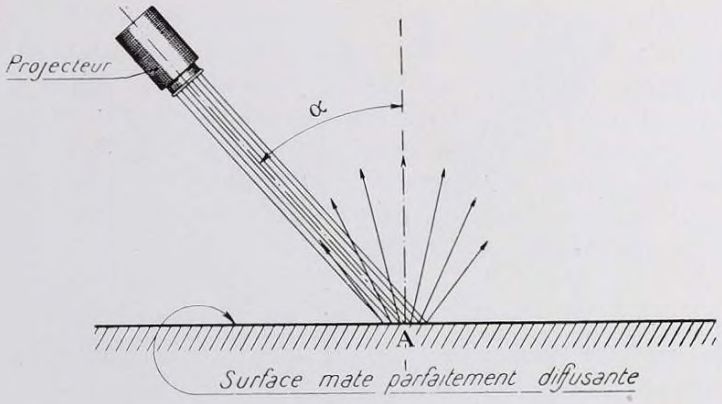



Fig. 33.
Réflexion diffuse sur une surface mate.
(La lumière est réfléchie semblablement dans *toutes* les directions si la surface est parfaitement mate.)

on la regarde : elle présente le même aspect que si elle était elle-même uniformément lumineuse.

**Verre opale.**

Le verre opale est très fréquemment employé, soit pour la réflexion, soit pour la diffusion de la lumière. En général, on classe les verres opales en deux catégories : verre fortement opalisé et verre légèrement opalisé. Le premier type est utilisé pour les réflecteurs et le second type pour les diffuseurs.

Le verre opale peut être considéré comme du verre ordinaire dans lequel de fines particules blanches seraient en suspension. Quand un faisceau de rayons

lumineux tombe sur sa surface (fig. 34), une partie de ces rayons est réfléchie directement dans la direction B comme dans le cas d'une surface en métal poli ; d'autres subissent une réflexion diffuse ; d'autres enfin traversent le verre jusqu'à ce qu'ils rencontrent des particules blanches ou des petites bulles d'air ; ils

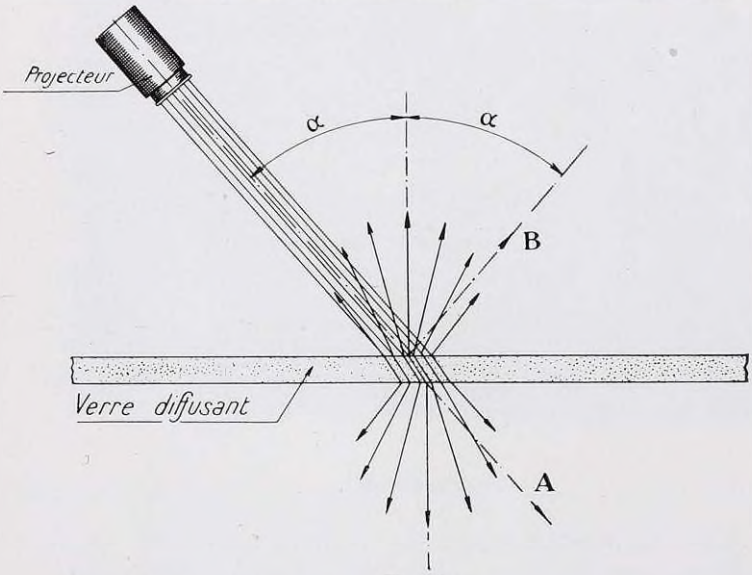



Fig. 34.
Réflexion régulière, réflexion diffuse et transmission diffuse d'un faisceau lumineux tombant obliquement sur du verre opale.

sont alors diffusés dans toutes les directions. Si le verre est légèrement opalisé, certains rayons réussissent à le traverser sans rencontrer de particule blanche : ils subissent alors seulement une réfraction, et sortent suivant la direction A.

Dès qu'une diffusion suffisante est obtenue, il n'y a aucun intérêt à augmenter l'épaisseur de la matière diffusante. Une mince couche d'un mélange dense peut être étendue sur un verre clair d'épaisseur normale. Les essais ont montré que de tels verres

absorbent moins de lumière que les verres opales épais ; ils conviennent particulièrement bien pour la réalisation de diffuseurs.

### Métal émaillé.

Une surface en métal émaillé peut être considérée, en ce qui concerne ses caractéristiques optiques, comme une couche de verre opale en contact étroit avec un support métallique (généralement de la tôle d'acier). Cette couche doit être très dense, afin de n'être traversée que par une très minime portion de la lumière qui, si elle pénètre jusqu'au support métallique, s'y trouve absorbée et, par suite, perdue.

L'émail présente de grandes variations au point de vue du rendement ; quand on compare deux réflecteurs, si l'un des deux paraît grisâtre, il est certainement d'un plus mauvais rendement que celui qui paraît blanc.

### Verre dépoli.

Les caractéristiques de transmission du verre dépoli sont analogues à celles d'une surface demi-mate. La figure 35 indique la direction des rayons lumineux rencontrant un verre dont la surface antérieure est lisse et la surface postérieure dépolie au sable ou à l'acide. Une partie de la lumière est réfléchie par le verre, mais la majeure partie le traverse et, lorsque les rayons rencontrent la surface dépolie, ils sont dispersés partiellement. La source est visible comme une tache lumineuse : dans une lampe dépolie, on aperçoit une zone plus brillante, laissant reconnaître l'emplacement du filament, mais dans laquelle aucun contour net n'est apparent.

Le verre dépoli doit être employé comme diffuseur et non comme réflecteur.

A moins que la surface dépolie ne soit de texture très fine, la poussière s'y accumule et le nettoyage en est difficile. On fabrique actuellement des lampes dépolies intérieurement ; la surface extérieure est la même que dans une lampe ordinaire ; les pertes sont moindres que dans une lampe dépolie extérieurement.

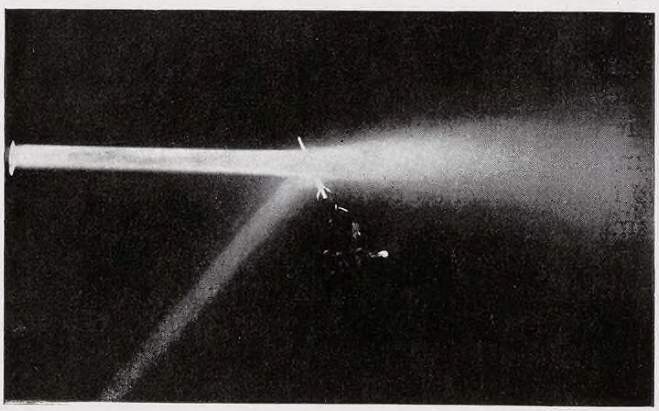


Fig. 35.
Réflexion régulière et diffuse, et transmission diffuse d'un faisceau de rayons lumineux parallèles tombant obliquement sur une plaque en verre dépoli.

**Verreries prismatiques.**

Les verreries prismatiques employées pour l'éclairage sont formées d'une quantité de petits prismes composant le corps entier de l'appareil, réflecteur ou réfracteur. Elles utilisent le phénomène de la réflexion totale ou le phénomène de la réfraction.

Pour toutes les applications pratiques, la réflexion est la même que celle qu'on obtiendrait en employant une surface en métal poli ou en verre argenté. Chaque prisme équivaut à une petite bande de miroir : en courbant cette bande longitudinalement, on infléchit la direction des rayons réfléchis ; par conséquent, en donnant au réflecteur une forme appropriée, on peut

diriger à volonté le faisceau lumineux réfléchi et obtenir la répartition de lumière désirée. Les sommets des prismes sont, en général, un peu arrondis, ce qui permet à une petite quantité de lumière de traverser le réflecteur et améliore son aspect extérieur.

Les verreries prismatiques sont employées également pour réfracter les rayons lumineux, c'est-à-dire pour changer leur direction ; les prismes ont alors une forme différente. Les réfracteurs sont généralement utilisés dans les cas où une très large distribution de la lumière est recherchée, dans l'éclairage public par exemple.

Le rendement des réflecteurs et des réfracteurs prismatiques est élevé, car ces appareils, établis en verre clair, absorbent peu de lumière. Leur champ d'applications est étendu, en raison de la possibilité qu'ils offrent d'obtenir dans tous les cas la répartition de la lumière la plus favorable.

# APPAREILS D'ÉCLAIRAGE

## Éclairage direct.

Les appareils d'éclairage *direct*, constitués par des réflecteurs opaques de différentes formes en différentes matières, accompagnés ou non de globes ou d'écrans diffuseurs (fig. 36), permettent d'obtenir le maximum d'effet utile pour une consommation d'énergie électrique donnée, ou, inversement, le minimum de consommation pour un effet utile donné (éclairement donné sur le plan d'utilisation).

Ces appareils peuvent être établis pour concentrer la lumière en un faisceau étroit, ou pour la réfléchir en un faisceau plus ou moins large. Les appareils du premier type sont souvent désignés sous le nom de *concentrants* et ceux du second type sous le nom d'*extensifs* (1).

Les *métaux polis* et les *surfaces en verre métallisé* sont principalement utilisés dans les réflecteurs dont le rôle est de projeter la lumière dans une direction déterminée. L'éclairage public, l'éclairage de la route en avant des automobiles, l'éclairage direct des monuments et des façades de bâtiments, l'éclairage des plafonds lumineux ou des locaux industriels de grande hauteur constituent un certain nombre d'applications des réflecteurs de ce type.

(1) Pour les personnes non averties, les appareils concentrants paraissent avoir un meilleur rendement que les appareils extensifs, parce que, avec une lampe de même puissance, ils permettent d'envoyer plus de lumière en un point donné. Il ne faut pas se laisser tromper par cette apparence. Le rendement réel est donné par le rapport du flux total sortant de l'appareil au flux total produit par la lampe.

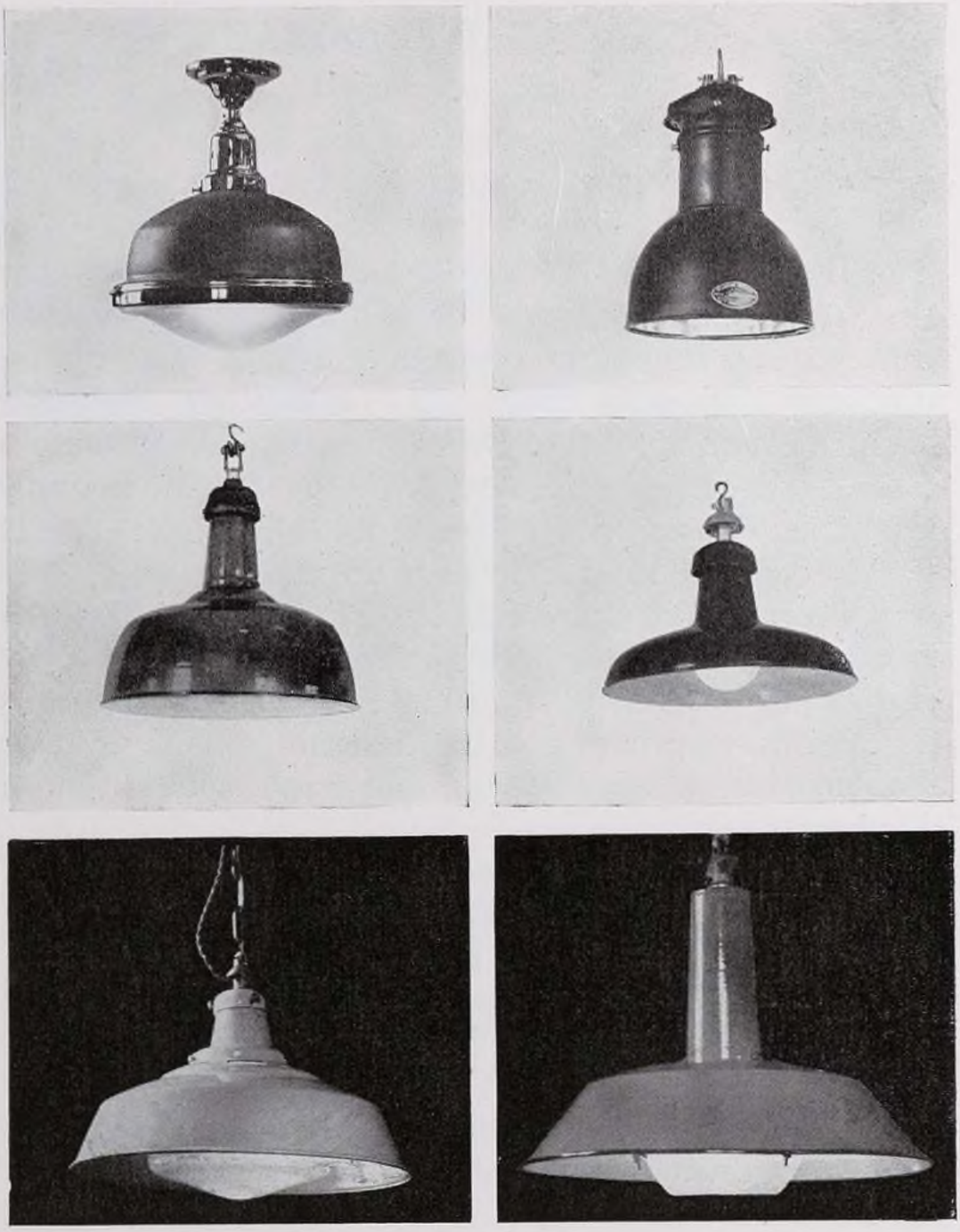


Fig. 36.

Appareils pour éclairage direct : en verre argenté ou en métal poli ; en tôle émaillée ; en tôle émaillée avec globes ou écrans diffuseurs.

Une application non moins importante consiste dans l'éclairage des devantures de magasins au moyen de réflecteurs dyssymétriques (fig. 37), ou bien symétriques, ayant pour fonction de diriger la lumière sur les objets placés en étalage. Les réflecteurs de ce genre présentent généralement, sur leur surface réfléchissante, des canelures, des stries, des ondulations ou des facettes ayant pour fonction d'uniformiser le faisceau réfléchi et d'éviter la formation d'images brillantes du filament.

Il ne faut jamais perdre de vue que chaque modèle de réflecteur est établi pour être équipé avec une lampe de forme et de dimensions déterminées, dont le filament occupe une position donnée. Si, dans un réflecteur correctement établi, on remplace la lampe prévue par une lampe de puissance différente, on modifie généralement d'une façon nuisible la répartition de la lumière réfléchie, car le filament incandescent ne se trouve plus placé à l'endroit voulu pour que l'ensemble fonctionne dans les conditions requises.

Certains réflecteurs en forme de gouttière plus ou moins ouverte, établis en métal poli ou en éléments de verre argenté strié, sont destinés à être utilisés avec des lampes tubulaires. Ils sont généralement employés pour l'éclairage des vitrines. Toutefois, dans ces dernières années, on a utilisé des réflecteurs de ce genre, en verre argenté, pour l'éclairage des façades ou des monuments au moyen de lampes tubulaires de forte puissance.

Les *réflecteurs prismatiques* peuvent également être utilisés dans un certain nombre d'applications d'éclairage direct, notamment pour l'éclairage des devantures de magasins.

On peut leur adjoindre des *plaques concentrantes* qui, agissant comme réfracteurs, renforcent leur action et dirigent la lumière.



Fig. 37.
Réflecteurs dyssymétriques ou symétriques (projecteurs), en verre prismatique, en métal poli ou en verre argenté, destinés à l'éclairage des devantures de magasin.

Les réflecteurs en *métal émaillé* trouvent leur emploi dans les usines et les ateliers, où leur bon rendement, leur robustesse et la bonne conservation de la surface réfléchissante ont une grande importance. Les réflecteurs avec lampes semi-dépolies à leur partie inférieure conviennent particulièrement bien : toutes autres conditions restant les mêmes, plus le diamètre apparent de la source lumineuse est grand, moins l'éblouissement, direct ou par réflexion, est à craindre, et moins les ombres sont dures. Un résultat encore meilleur est obtenu avec les réflecteurs munis d'écrans ou de globes diffusants.

Il est nécessaire de réaliser avec le plus grand soin le centrage du filament dans l'appareil. En effet, si le filament est placé trop bas, il n'est plus masqué à la vue et peut produire de l'éblouissement direct ; s'il est placé trop haut, il est bien masqué à la vue, mais l'angle d'ouverture du cône contenant les rayons lumineux diminue : la lampe étant plus enveloppée, la quantité de rayons réfléchis augmente et le rendement de l'appareil diminue. Sur un appareil en tôle émaillée, équipé avec une lampe de 60 watts, on a obtenu les résultats suivants :

| Ouverture du cône lumineux | Rendement lumineux en % |
|---|---|
| 162° | 74,8 |
| 146° | 68,2 |
| 138° | 64,8 |
| 130° | 58,5 |

Ces chiffres montrent que, en remontant la lampe dans cet appareil, on a diminué son rendement de :

$$74{,}8 - 58{,}5 = 16{,}3\ \%$$

Certains constructeurs établissent leurs réflecteurs sans dispositif de réglage, pour des lampes déterminées. On devra, si l'on utilise ce genre d'appareils, s'assurer que le type de lampe employé est bien celui que recommande le constructeur, ou bien l'on devra vérifier que le filament est situé à la place correcte dans le réflecteur.

Autant que possible, il est préférable d'utiliser des appareils à foyer lumineux réglable. Un système de centrage recommandable consiste à percer dans le bord du réflecteur deux trous allongés situés sur un même diamètre. On vise l'un de ces trous à travers l'autre et, en manœuvrant un dispositif de réglage, on amène le plan du filament en coïncidence avec la ligne des trous : on est sûr, ainsi, que la lampe se trouve placée dans la position voulue.

## Éclairage indirect.

L'éclairage *indirect* est plus onéreux que l'éclairage direct, mais beaucoup meilleur au point de vue de la suppression de l'éblouissement.

Pour obtenir des résultats convenables, il faut que le plafond soit absolument mat et de couleur claire (blanc autant que possible) : un plafond de couleur foncée absorbe en pure perte la majeure partie de la lumière qu'on lui envoie.

Ce mode d'éclairage peut être obtenu de différentes façons :

*par coupes ou réflecteurs.* — La surface interne des appareils est constituée par du métal émaillé, du verre argenté ou, éventuellement, par du verre prismatique. Un habillage extérieur permet, si cela est nécessaire, de donner aux réflecteurs un aspect décoratif. Pour éviter les dépôts de poussières sur la surface réfléchis-

sante, il y a intérêt à fermer par un verre clair mince la partie supérieure des appareils. Ceux-ci peuvent être suspendus au plafond (fig. 38) ou placés sur des piédestaux (comme le montrent les figures 54 et 55) ;

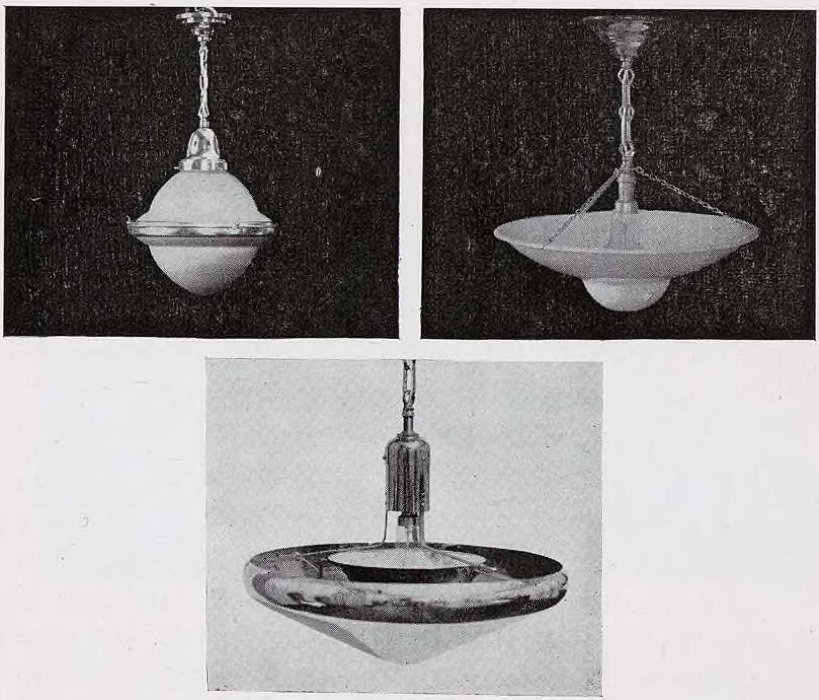


Fig. 38.
Appareils pour éclairage indirect : en verre argenté, avec partie supérieure en verre dépoli ; en métal émaillé (coupe) ; en verre argenté, avec habillage décoratif.

dans ce cas, leur hauteur doit être telle qu'une personne debout ne puisse pas apercevoir les lampes.

On peut également faire usage de réflecteurs dyssymétriques en verre argenté ou en métal poli, ou de réfracteurs, dissimulés dans des appliques ou des demi-vasques fixées aux murs. Ces appareils doivent être disposés et réglés de façon à projeter sur le plafond un flux lumineux qui, dans l'ensemble, présente une

uniformité suffisante, sans quoi l'effet décoratif est peu réussi. Il est possible également de loger ces réflecteurs dyssymétriques dans les murs eux-mêmes en les plaçant dans des niches dont le fond, peint en blanc mat, est incliné ; la partie antérieure des niches peut être fermée par des panneaux en verre dépoli.

*par corniches.* — Trop souvent, l'éclairage par corniches est réalisé sans l'emploi de réflecteurs spéciaux ; en outre, les lampes ou appareils sont généralement placés à une distance insuffisante du plafond. Il en résulte une forte perte de lumière et des effets peu réussis.

On admet quelquefois que la hauteur comprise entre les lampes de corniche et la partie supérieure du plafond doit être égale au tiers de la largeur de la pièce ; cette condition est, en général, difficile à réaliser ; de plus, elle n'est certainement pas suffisante et le centre du plafond peut paraître noir. L'usage de réflecteurs spéciaux (métal poli, verre argenté) est à recommander ; il permet de rapprocher sensiblement la corniche du plafond, qui peut même être plat si le type de réflecteurs est bien choisi. En fait, la forme des plafonds et surtout le genre de réflecteurs employés ont une importance primordiale ; ces appareils ne doivent pas être employés sans discernement, et leur usage correct est soumis à certaines conditions.

L'inconvénient du système d'éclairage par corniches est de nécessiter un grand nombre de lampes de faible puissance, conduisant à des frais élevés de premier établissement et à une consommation importante d'énergie électrique.

*par dispositifs spéciaux.* — Il est possible d'imaginer différents dispositifs permettant d'éclairer uniformément le plafond.

Par exemple, on peut (fig. 39) disposer aux quatre angles de la pièce, ou bien au milieu des grands côtés, juste sous le plafond ou sous la corniche, des appareils optiques formés de lentilles de Fresnel, analogues à ceux employés dans le Service des phares

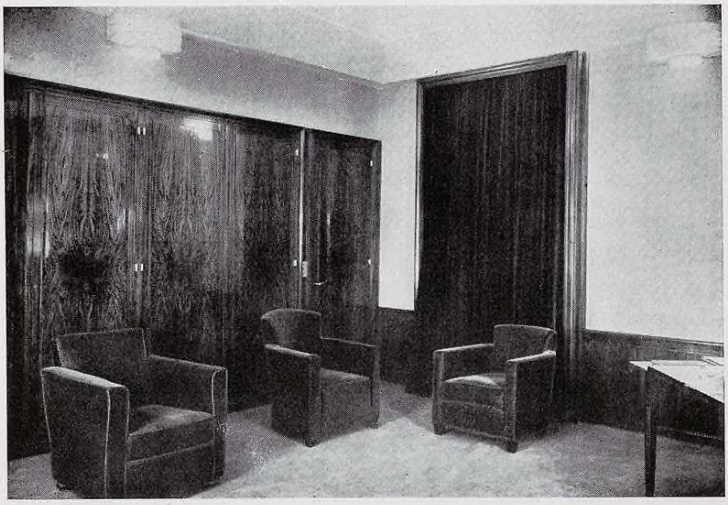


Fig. 39.
Eclairage indirect par appareils donnant sur le plafond des rayons lumineux rasants.
(Compagnie des Lampes ; Leleu, déc$^{r}$ ; Dourgnon, ing$^{r}$-éclairagiste).

ou dans la Marine sous forme de feux de position. Ces appareils, établis pour donner dans un *quart d'horizon* ou dans un *demi-horizon* une nappe horizontale de lumière homogène, sont équipés avec des lampes spéciales de projection, dont la position doit être exactement réglée ; ils sont munis de lamelles ou persiennes horizontales en verre dépoli pour masquer à la vue la partie brillante de l'optique. Pour cette application, il faut que le plafond soit tout à fait plat, puisqu'il reçoit des rayons lumineux rasants qui, par les ombres portées, mettent en évidence et exagèrent

tous les défauts, de même qu'une route cahoteuse paraît beaucoup plus mauvaise la nuit, à la lumière des projecteurs d'automobiles.



Fig. 40.
Eclairage indirect par dispositif spécial combiné avec un plafond de forme appropriée (Salon des Artistes décorateurs ; E. Printz, déc[r]).

On peut aussi, dans les cas où il est possible de donner au plafond une forme appropriée, l'éclairer au moyen d'un grand réflecteur en forme de gouttière circulaire ou elliptique contenant un assez grand nombre de lampes (fig. 40).

Enfin, en donnant au plafond une forme spéciale (coupole ou demi-coupole de profil convenable, avec ou sans protubérance centrale), on peut assurer l'éclairage indirect au moyen d'un seul foyer lumineux, central ou désaxé.

### Éclairage semi-direct.

Les appareils *semi-directs* dirigent la majeure partie du flux lumineux vers le bas et une faible partie de ce flux vers le plafond. Ils sont employés sous différentes formes : appareils d'éclairage local avec abat-jour semi-opalisé ; réflecteurs en verre prismatique ; appareils en verre opalin ouverts à la partie inférieure ; diffuseurs en verre opalin ou en verre dépoli, en une seule pièce ou en plusieurs parties assemblées, etc. La figure 41 en montre un certain nombre d'exemples.

Les diffuseurs entièrement fermés, composés de verreries opales (fig. 42) qui dérivent du globe sphérique ou de l'œuf opale ou dépoli, donnent un éclairement à peu près uniforme dans les différentes parties d'une pièce, y compris le plafond et les murs. Ceux-ci doivent être de couleur claire pour renvoyer, en les diffusant, les rayons lumineux qu'ils reçoivent ; ils ne doivent pas être revêtus de peinture brillante, sans quoi ils pourraient produire de l'éblouissement par réflexion.

Si l'on considère deux globes sphériques en verre diffusant de même qualité contenant la même lampe, celui dont le diamètre est le plus grand sera le moins éblouissant. Si l'on compare un globe de verre dépoli et un globe de mêmes dimensions en verre opale, on constate que le premier présente une plage lumineuse centrale brillante correspondant à l'emplacement du filament incandescent, avec une surface périphérique moins lumineuse, tandis que le second est à peu près

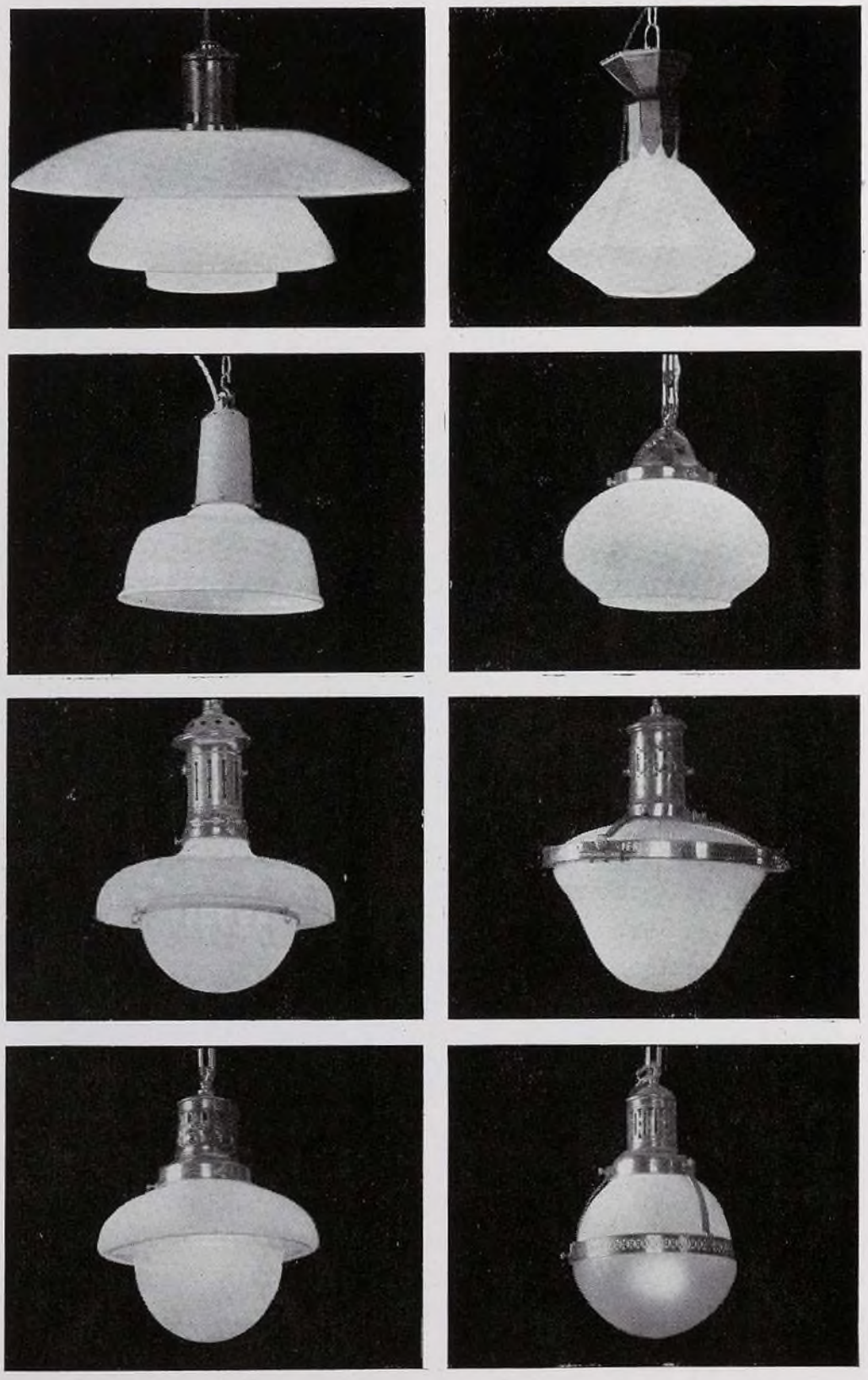


Fig. 41. — Appareils divers pour éclairage semi-direct.

uniformément lumineux sur toute la surface apparente ; sa brillance maxima est donc plus faible.

Il ne faut pas confondre le pouvoir diffusant d'une matière avec son pouvoir absorbant ; il existe des verres qui absorbent beaucoup et qui laissent

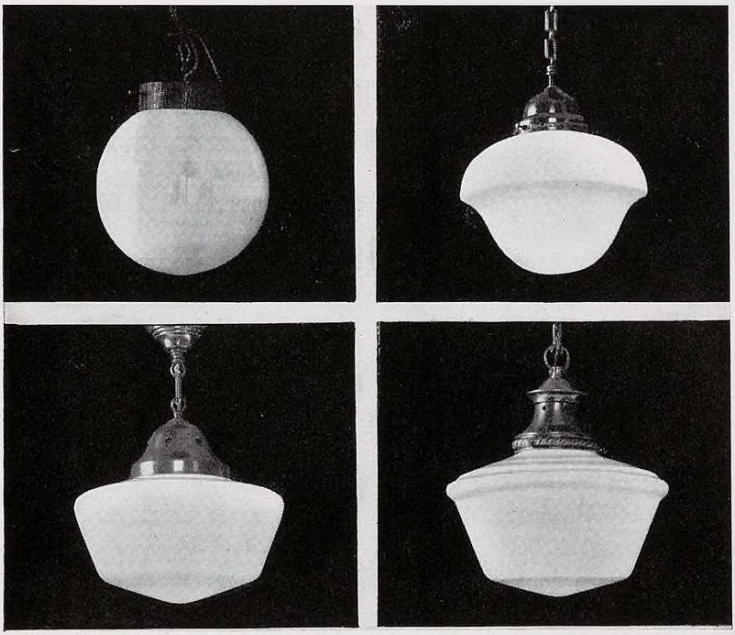


Fig. 42.— Diffuseurs fermés pour éclairage semi-direct.

subsister néanmoins à la vue l'image du filament ; au contraire, un bon verre doit absorber peu de lumière et ne laisser apparaître aucune tache lumineuse à l'endroit du filament.

Un autre élément important est le facteur de réflexion du verre employé. Supposons que, dans un globe diffusant complètement fermé, 16 % du flux lumineux soient absorbés, 64 % transmis et 20 % réfléchis sur la surface intérieure des parois. Cette

dernière portion du flux va atteindre à nouveau les parois et les traversera en partie ; elle ne sera donc pas entièrement perdue. On trouve par le calcul que, dans ces conditions, le rendement de l'appareil pourra atteindre 80 % (au lieu de 64 % qu'on aurait trouvé par la considération de la transmission seule, et 84 % qu'on aurait trouvé par la considération de l'absorption seule).

La forme d'un diffuseur en verre opale joue un rôle peu important dans la distribution du flux lumineux. Toutefois, moins cette forme est simple, et plus on a à redouter de pertes en raison des multiples réflexions des rayons lumineux sur les parois intérieures. Un diffuseur à peu près sphérique devrait donc avoir un rendement un peu meilleur que les diffuseurs de formes plus compliquées. Un diffuseur de forme aplatie envoie un peu plus de lumière suivant la verticale inférieure qu'un diffuseur sphérique ou allongé.

Les dimensions de chaque appareil doivent être proportionnées à la puissance de la lampe utilisée, sans quoi la brillance peut être trop élevée. Un même appareil peut être satisfaisant avec une lampe de 100 watts et défectueux avec une lampe de 200 watts : c'est pourquoi l'on devra se conformer aux indications données par les constructeurs en ce qui concerne la puissance maxima de la lampe à employer. On devra utiliser dans les diffuseurs fermés des lampes en verre clair, à l'exclusion de lampes opales ou dépolies.

### Éclairage semi-indirect.

L'éclairage totalement indirect donne souvent à la pièce un aspect un peu triste et ne met pas en valeur les reliefs et les ornements. De plus, dans le cas d'éclairage indirect par coupes opaques, les appareils se détachent en noir par contraste sur le plafond très

blanc et très éclairé, d'où résulte une impression souvent fâcheuse.

Dans l'éclairage *semi-indirect*, une portion du flux est dirigée vers le bas et donne à la pièce un aspect plus gai et plus agréable.

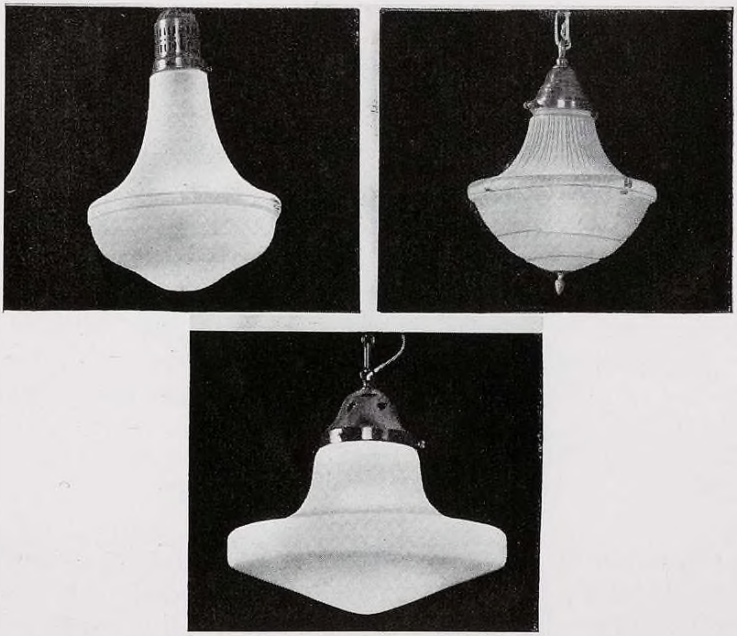


Fig. 43. — Diffuseurs fermés pour éclairage semi-indirect.

Un appareil semi-indirect qui a reçu de très nombreuses applications est la coupe en verre opale, en albâtre ou en matière équivalente. Bien entendu, de telles coupes doivent être blanches ou de couleur très claire, les matières colorées absorbant beaucoup de lumière : c'est une erreur, d'ailleurs fréquente, d'utiliser, pour la fabrication des coupes d'éclairage des matériaux veinés ou teintés.

La figure 43 montre quelques diffuseurs fermés, en verre opale ou prismatique, pour éclairage semi-

indirect. La partie supérieure de ces appareils est en verre clair ou légèrement dépoli.

On emploie fréquemment, aux Etats-Unis, des appareils constitués par un réflecteur spécial en tôle émaillée et par un plateau inférieur en verre opale (fig. 44). La plus grande partie de la lumière est en-

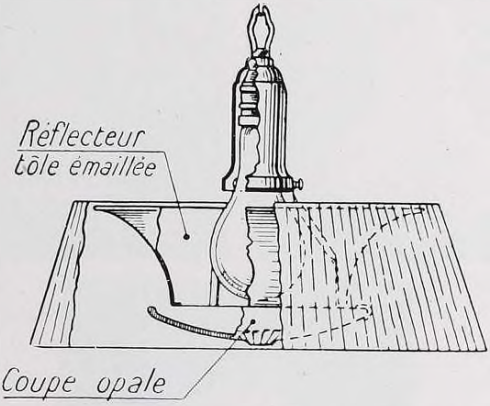



Fig. 44. — Appareil pour éclairage semi-indirect.

voyée par le réflecteur vers le plafond tandis qu'une faible partie traverse le verre opale et donne un peu d'éclairage direct. On enveloppe souvent l'appareil d'un abat-jour pour rendre son aspect plus décoratif.

On peut utiliser, pour les lampes portatives ou les torchères, des appareils mixtes dans lesquels une partie du flux lumineux assure l'éclairage local, tandis qu'une autre partie est renvoyée vers le plafond par un réflecteur approprié. Un dispositif simple consiste à placer une lampe de forte puissance dans une sorte de tulipe haute en verre opale relativement dense, qui projette vers le plafond une bonne partie du flux lumineux et laisse filtrer le reste pour assurer l'éclairage local : un abat-jour approprié enveloppe la tulipe opale.

## APPLICATIONS PRATIQUES

### Éclairage des intérieurs.

Avant de faire choix d'un système d'éclairage, il faut considérer attentivement le revêtement des plafonds et des murs, et juger de leur pouvoir réfléchissant. Les pouvoirs réfléchissants des différentes couleurs usuellement employées sont indiqués approximativement par le tableau suivant :

Pourcentage de la lumière réfléchie par différentes couleurs :

| | |
|---|---|
| Blanc | 67 à 80% |
| Ivoire | 66 à 70 » |
| Crème | 56 à 72 » |
| Jaune paille | 55 à 67 » |
| Jaune | 44 à 59 » |
| Brun | 27 à 41 » |
| Vert clair | 43 à 67 » |
| Vert foncé | 10 à 22 » |
| Bleu clair | 31 à 55 » |
| Rouge clair | 32 à 55 » |
| Rouge foncé | 12 à 27 » |
| Gris | 15 à 57 » |

L'éclairage totalement indirect conviendra chaque fois que, disposant d'un plafond blanc, on considérera l'éblouissement comme particulièrement nuisible et

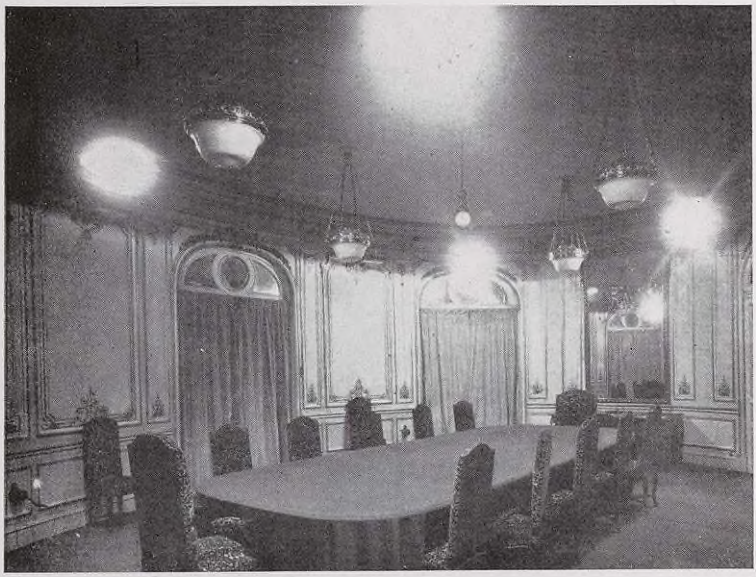


Fig. 45.
Salle de démonstration éclairée au moyen d'appareils d'éclairage direct
(réflecteurs en tôle émaillée).

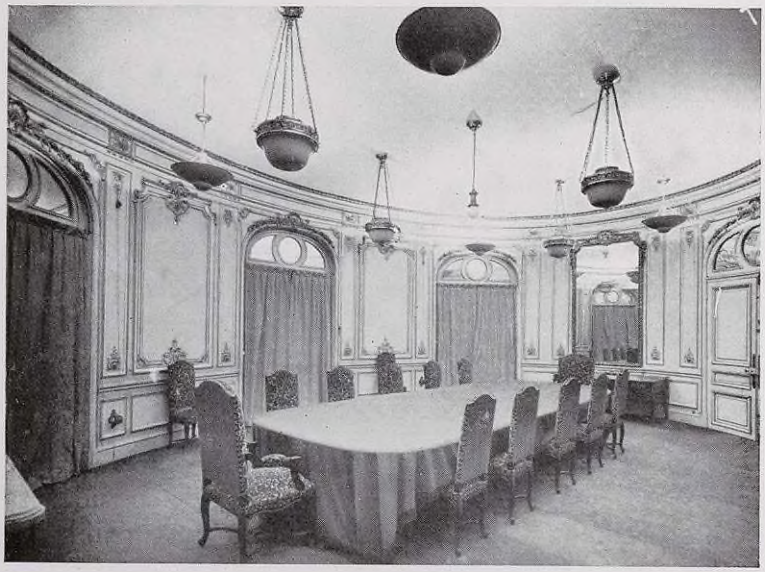


Fig. 46.
La même salle éclairée au moyen d'appareils d'éclairage indirect
(coupes en tôle émaillée).

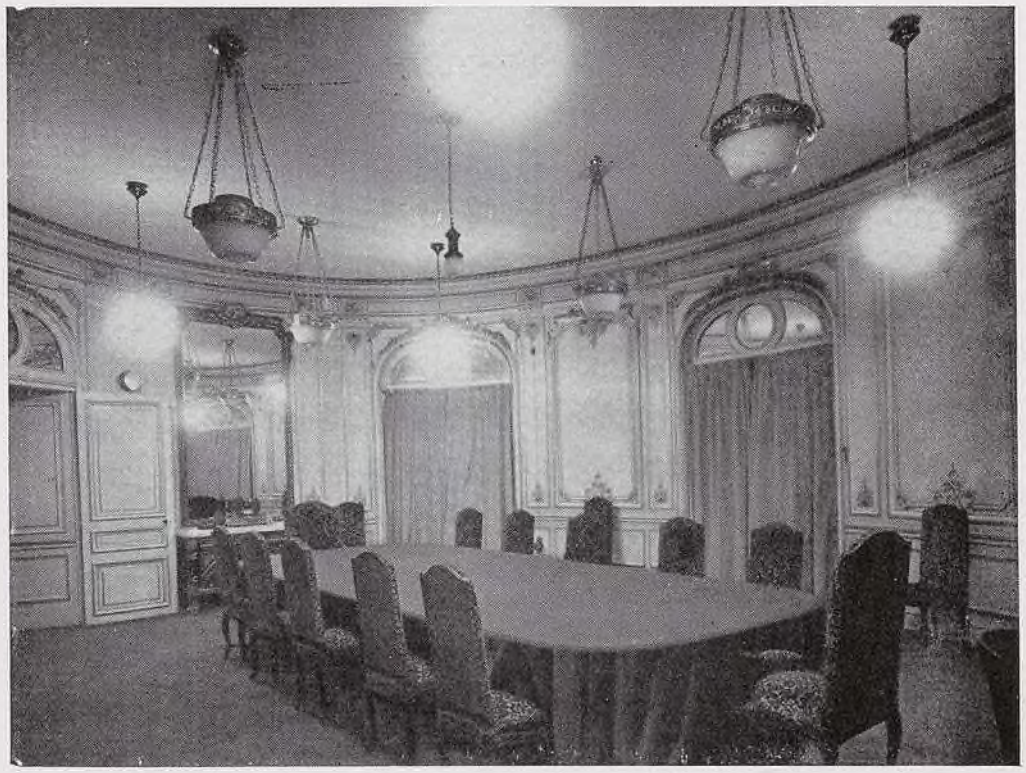


Fig. 47.
La même salle éclairée au moyen d'appareils d'éclairage semi-direct
(diffuseurs en verre opale).

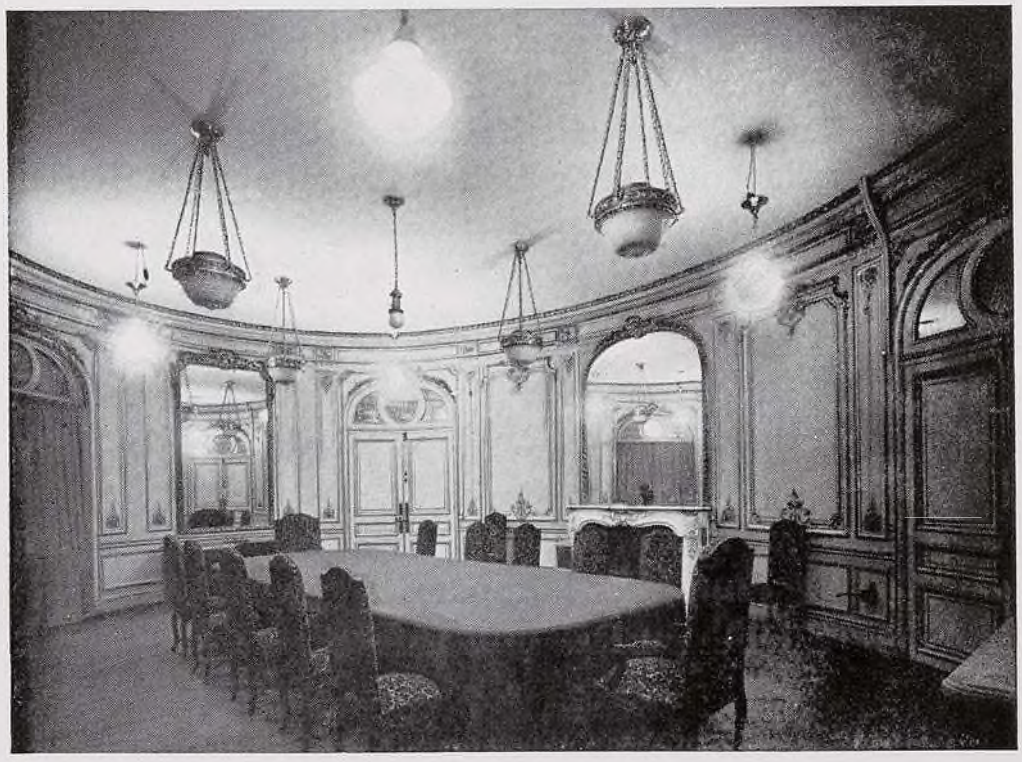


Fig. 48.
La même salle éclairée au moyen d'appareils d'éclairage semi-indirect
(diffuseurs en verre prismatique).

les ombres non nécessaires (banques, bureaux de dessin, salles de dactylographie, comptabilité, etc.).

L'éclairage direct est le plus économique, mais il présente un certain nombre d'inconvénients (éblouissement, ombres dures) qui le font peu employer pour l'éclairage des intérieurs, exception faite des couloirs ou des locaux secondaires. Pourtant, il s'impose quand le plafond ne peut pas être utilisé pour réfléchir la lumière (plafond sombre ou vitré par exemple). Les différents types de réflecteurs *avec diffuseurs* permettent d'obtenir, dans ce cas, une solution à peu près satisfaisante.

L'éclairage semi-direct est le plus répandu. Les appareils ouverts à la partie inférieure sont plus économiques que les appareils entièrement fermés, mais ils sont plus susceptibles que les autres de provoquer l'éblouissement ; aussi devront-ils, en général, être suspendus relativement haut.

L'éclairage semi-indirect, moins économique que le précédent, présente une excellente solution dans la plupart des cas, et est particulièrement recommandable pour l'éclairage des pièces où l'on travaille.

Les figures 45, 46, 47 et 48 montrent une salle éclairée par quatre appareils d'éclairage direct (réflecteurs en tôle émaillée) ; par quatre appareils d'éclairage indirect (coupes en tôle émaillée) ; par quatre appareils d'éclairage semi-direct (diffuseurs en verre opale) ; et par quatre appareils d'éclairage semi-indirect (verreries prismatiques). L'examen de ces photographies montre, sans qu'il soit nécessaire d'insister plus longtemps, les différences existant entre ces divers modes d'éclairage (1).

La figure 49 montre l'effet d'éblouissement produit par l'emploi d'un foyer lumineux unique de forte puissance et de faible surface diffusante (lampe opaline).

(1) Les appareils de démonstration en verre opale, que l'on aperçoit sur chacune de ces photographies, n'étaient pas allumés.

Les appareils une fois choisis, il convient de déterminer leurs positions et emplacements. La première chose à faire est de fixer leur hauteur ; celle-ci devra être prise assez grande, afin de diminuer le plus possible les risques d'éblouissement. Généralement, dans

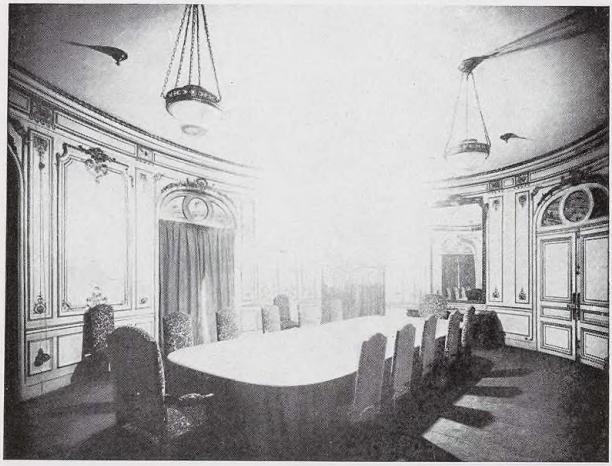


Fig. 49.
Salle de démonstration éclairée au moyen d'une lampe opale unique.

une grande salle par exemple, on a intérêt, tant au point de vue de l'économie qu'au point de vue de l'éblouissement, à fixer les appareils au plafond. L'espacement à adopter sera alors à peu près déterminé: il devra, pour une uniformité d'éclairement horizontal donnée, être proportionnel à la hauteur de suspension au-dessus du plan utile, le coefficient de proportionnalité dépendant de l'uniformité désirée, du type d'appareils employé, de la couleur du plafond et des murs.

Afin de simplifier le problème, on admet ordinairement que, avec des appareils du type courant, les

résultats sont satisfaisants pour un espacement égal ou inférieur à 1,5 fois la hauteur au-dessus du plan utile (hauteur utile). Pour certains appareils calculés spécialement, on peut atteindre un rapport d'espacement se rapprochant de 2. Ces appareils sont donc relativement

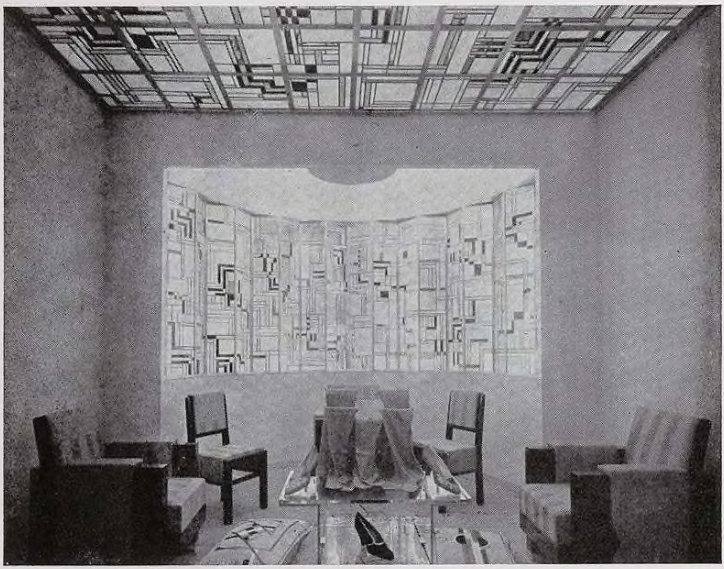


Fig. 50.—Eclairage direct par vitrages lumineux. Eclairage indirect du fond par plafond en demi-coupole recevant la lumière d'une lampe centrale masquée (Chaussures Bally ; Mallet-Stevens, arche ; Salomon, ingr-éclairagiste).

plus avantageux puisqu'ils peuvent être placés en moins grand nombre, mais ils donnent alors des ombres plus marquées et plus gênantes. Pour les appareils concentrants, au contraire, l'espacement peut tomber à 0,5.

**Pièces d'habitation, Magasins de luxe.**

Pour l'éclairage des pièces d'habitation, les appareils rationnels usuels sont, en général, insuffisamment décoratifs. La tendance moderne est de ne plus

employer de lustre ou d'appareil central, mais d'utiliser différents dispositifs combinés avec la décoration générale, de façon à former des ensembles homogènes.



Fig. 51. — Eclairage par poutres lumineuses en verre diffusant (Chaussures Enzel ; Raymond Nicolas, archᵉ ; photo Parade).

En somme, l'éclairage devient un élément décoratif, et non l'un des moindres.

La même tendance se retrouve pour l'éclairage des magasins de luxe (fig. 50 et 51), des grands hôtels, des restaurants, des bars, des salles de spectacle, etc...

Souvent les dispositifs d'éclairage sont entièrement dissimulés dans des faux-plafonds, des corniches spéciales, des caissons, des appliques, des vasques,

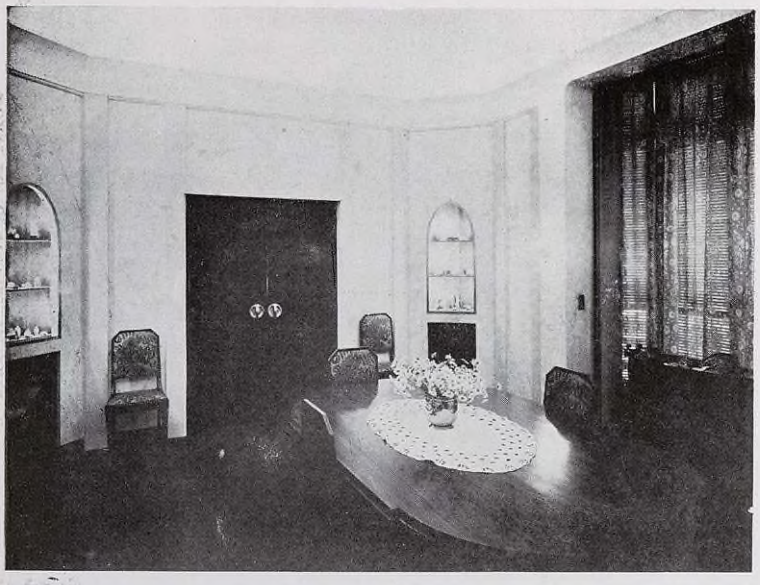


Fig. 52. — Eclairage indirect par corniches. Un complément d'éclairage est donné par deux petites appliques et par des vitrines encastrées. Dominique.)



Fig. 53. — Eclairage indirect obtenu au moyen d'un foyer lumineux unique disposé au-dessus de l'axe du tableau de droite. (Pierre Chareau.)

des vases, etc., ou bien ils se trouvent placés derrière des dalles ou des vitrages, horizontaux ou verticaux, formant des plafonds lumineux ou des parois éclairantes. Ce mode d'éclairage est très agréable, mais généralement très onéreux, tant au point de vue du prix de l'installation qu'au point de vue de la dépense d'énergie électrique, car il nécessite un grand nombre de lampes de faible puissance dont la consommation, pour le même flux lumineux total, est beaucoup plus grande.

Lorsque les plafonds ou vitrages lumineux ont été mal étudiés, ce qui arrive trop fréquemment, chaque lampe forme une tache brillante dans le panneau diffusant ; l'effet décoratif se trouve en partie gâché par ce défaut et l'éblouissement est à craindre. Pour obtenir de bons résultats, on doit utiliser des réflecteurs appropriés et convenablement disposés, et ménager un certain espace entre les lampes et les plaques de verre ; on ne parvient d'ailleurs à réaliser une brillance uniforme des vitrages qu'en les éclairant indirectement, avec l'aide de panneaux peints en blanc mat, qui reçoivent la lumière des appareils et la réfléchissent vers les vitrages en la diffusant ; on peut également disposer les appareils de façon à ce qu'ils donnent sur le vitrage des rayons rasants.

De même, les installations d'éclairage indirect sont difficiles à bien réussir. La forme du plafond et le genre de réflecteurs utilisés ont une importance primordiale, car il faut que la brillance du plafond soit à peu près uniforme. Les figures 52 et 53 montrent deux bons exemples d'installations réussies, où des solutions tout à fait différentes ont été utilisées.

Dans bien des cas, on se borne à placer des lampes tubes ou des lampes de faible puissance dans des corniches situées à une distance insuffisante du plafond ; il en résulte que le milieu du plafond est sombre, tandis que les bords sont trop brillants.

Une bonne méthode consiste à dissimuler des réflecteurs dans des consoles, des vasques, des vases, (fig. 54 et 55), ou bien à les disposer habilement à la partie supérieure de lustres en perles, dont les lampes



Fig. 54. — Eclairage indirect au moyen d'un réflecteur dissimulé dans une vasque (Paquebot *Ile de France* ; Ruhlmann, déc[r]).

visibles de faible puissance servent seulement à faire jouer les cristaux sans donner la majeure partie du flux lumineux nécessaire pour assurer l'éclairage de la pièce (fig. 56).

Tous ces dispositifs ont besoin d'être étudiés avec un grand soin, et la collaboration de l'ingénieur spécialiste et du décorateur est absolument nécessaire.

D'une façon générale d'ailleurs, il est indispensable que l'architecte se préoccupe, dès le début de l'établissement de ses projets, des questions relatives à l'éclairage et prenne le conseil d'un spécialiste s'il n'est pas

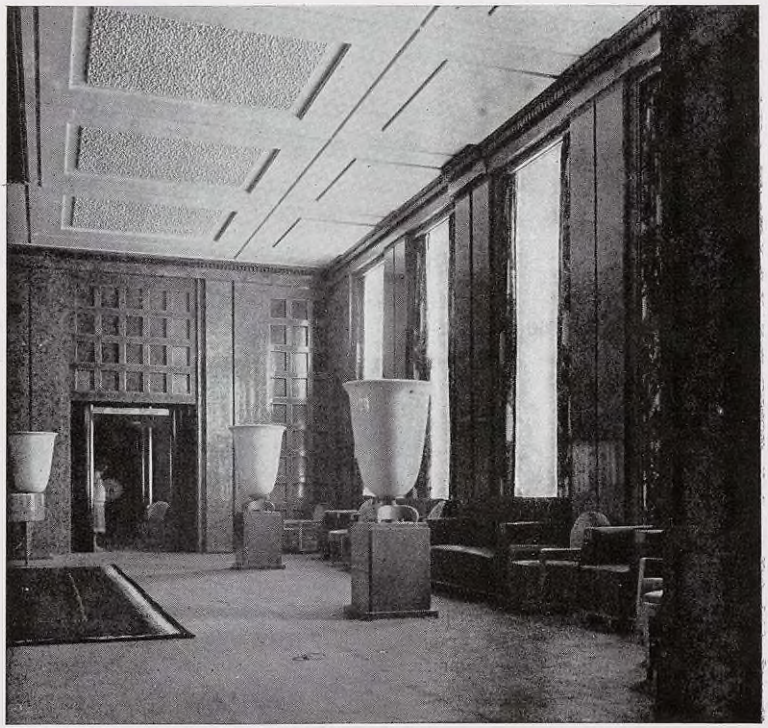


Fig. 55. — Eclairage indirect au moyen de réflecteurs dissimulés dans des vases de Sèvres (Paquebot *Ile de France* ; Ruhlmann, déc[r]).

lui-même parfaitement compétent. Il ne peut plus se permettre, comme autrefois, de prévoir simplement un piton d'accrochage au centre de chaque pièce, avec des canalisations quelconques, généralement insuffisantes ou incomplètes, que l'installateur pose un peu au hasard. La maison moderne a besoin d'une distribution d'énergie électrique aussi complète que pos-

sible, permettant non seulement la réalisation d'éclairages rationnels suffisamment intenses, mais aussi l'utilisation de nombreux appareils électrodomestiques qui facilitent le travail, simplifient la vie et augmentent

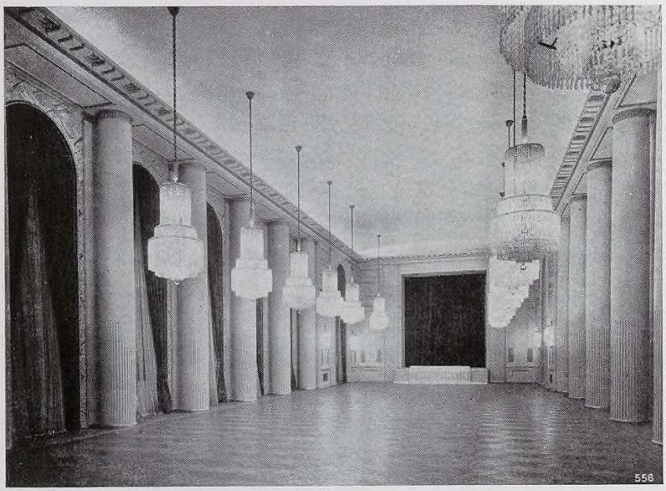


Fig. 56. — Eclairage semi-indirect par lustres en perles munis à leur partie supérieure de réflecteurs projetant la lumière au plafond
(Chambre de Commerce de Paris ; Ruhlmann, déc[r]).

le confort : il y a malheureusement encore beaucoup à faire dans cet ordre d'idées.

**Bureaux, Écoles, Salles de classes.**

Dans les grands locaux, certaines considérations (symétrie, position des poutres, etc.) imposent quelquefois l'emplacement des appareils ; néanmoins, il est généralement possible, avec un peu d'habileté, de réaliser un bon éclairage général tout en satisfaisant à ces conditions d'ordre esthétique.

Bien que l'on doive toujours donner la préférence à l'éclairage *général*, prévu pour fournir seul, aux différents points d'utilisation, *tout* l'éclairement nécessaire, l'éclairage *local* par lampes portatives pourra être utilisé quand il s'agit d'éclairer des bureaux individuels, ou bien des bureaux dans lesquels les employés sont clairsemés, à la condition que ces pièces soient pourvues, en outre, d'un éclairage général réduit suffisant pour éviter les contrastes trop marqués. Cette solution permet de réaliser une économie d'énergie électrique, mais elle présente de nombreux inconvénients (prix élevé des canalisations et de l'installation, impossibilité de changer la position des tables, risque d'éblouissement direct et par réflexion, casse fréquente des lampes et dégradation des appareils, encombrement des tables, etc.)

En ce qui concerne les écoles, l'éclairage des salles de classe demande certaines précautions particulières. En effet, le regard de l'élève ne doit pas être considéré comme étant dirigé toujours vers la table de travail, mais aussi vers le professeur et le tableau noir. Il est donc nécessaire d'étudier l'installation, au point de vue de l'éblouissement, de telle façon qu'aucun point lumineux ne se trouve placé dans *chacun des deux champs de vision* ayant pour axes les deux directions normales du regard.

Par contre, les élèves étant tous orientés dans le même sens, l'éblouissement sera beaucoup moins à craindre pour toutes les autres directions, ce qui n'est pas le cas d'un bureau, où les employés peuvent être disposés d'une façon quelconque.

Dans les amphithéâtres, ordinairement hauts de plafond, l'éclairage par appareils concentrants peut souvent être conseillé. Dans les salles de classe ordinaires, le système à adopter dépend des circonstances. D'une façon générale, il y a intérêt à placer les appareils le plus haut possible.

L'éclairage des tableaux noirs présente des difficultés particulières; il faut éclairer fortement, et aussi uniformément que possible, une surface verticale, tout en évitant les risques d'éblouissement par réflexion qui peuvent exister avec des tableaux insuffisamment mats. Pour vérifier que le danger d'éblouissement par réflexion est écarté, il faut tracer le schéma des rayons réfléchis et voir si l'œil des élèves est toujours en dehors du champ de réflexion. Quand l'éclairage vient par en haut, ce qui est le cas le plus fréquent, cette condition est d'autant mieux remplie que l'appareil est plus près des murs, mais alors l'uniformité d'éclairement est plus difficile à obtenir ; on est conduit à faire usage d'appareils concentrants, donnant un maximum nettement accusé vers le bas du tableau.

Dans les salles de dessin d'art, il faut que le plâtre ou le modèle soient éclairés d'une façon particulière pour présenter des ombres permettant d'apprécier les reliefs : on peut employer dans ce but de petits projecteurs masqués à la vue des élèves. Il est bon que chaque élève ou groupe d'élèves soit pourvu d'un éclairage local suffisant pour qu'il n'y ait pas une différence d'éclairement trop marquée entre le modèle considéré et le papier sur lequel on dessine.

## Éclairage des enseignes et des devantures de magasin.

La lumière attire la foule. C'est là un fait bien connu, confirmé par maintes expériences au cours desquelles on a noté le nombre de passants attirés par une façade ou une devanture de magasin dont on modifiait périodiquement la puissance d'éclairage.

Le pouvoir attractif d'une *enseigne lumineuse* dépend beaucoup de la façon dont cette enseigne se détache sur le fond ou sur les surfaces environnantes.

On fait grand usage, en France, de tubes luminescents de différentes couleurs, habilement façonnés pour former des lettres ou des dessins. Un bon exemple d'enseigne de ce genre est donné par la figure 57.

Au lieu d'éclairer l'enseigne, ou de la constituer par des lettres rendues lumineuses au moyen de




Fig. 57. — Enseigne et façade d'un magasin éclairées au moyen de tubes luminescents (Mallet-Stevens, arch$^{e}$ ; Salomon, ing$^{r}$-éclairagiste).

lampes ou de tubes, on a eu l'idée de faire apparaître ces lettres en *silhouette*, se détachant en sombre sur un fond clair. Pour cela, on a utilisé des lettres opaques creuses, ouvertes à leur partie postérieure, dans lesquelles sont dissimulées des lampes. Les lettres ainsi constituées sont montées un peu en avant de la façade du bâtiment, qui se trouve éclairée par les lampes placées derrière elles : ces lettres apparaissent alors en silhouette sur la façade claire.

Une disposition beaucoup meilleure a été utilisée récemment. La figure 58 en donne un exemple. La

façade est creusée en arrière de l'enseigne pour former une surface courbe, éclairée par une rampe de lampes placée à sa partie inférieure, derrière un ressaut.

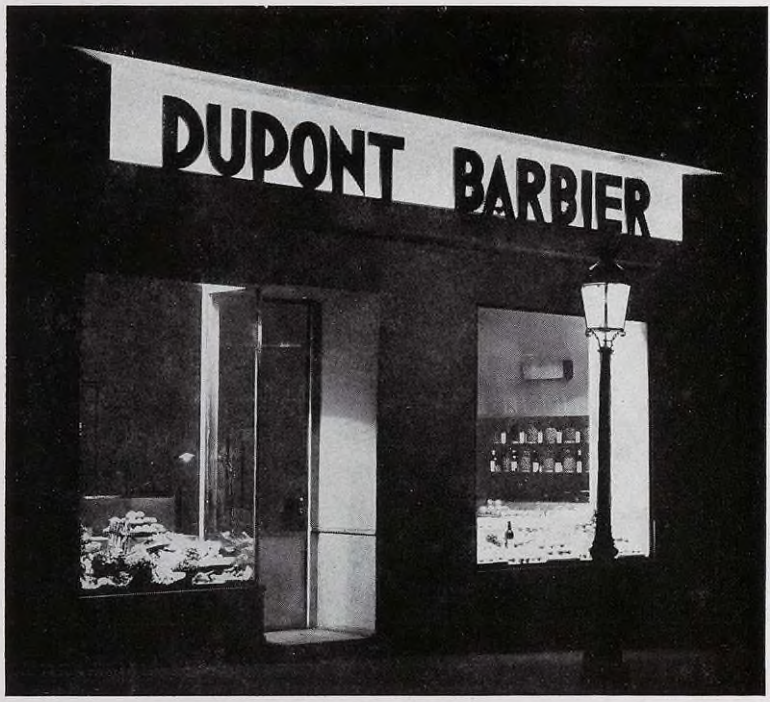



Fig. 58. — Enseigne formée de lettres se détachant en silhouette sur un fond éclairé d'égale brillance
(Dupont-Barbier ; Djo-Bourgeois, arche ; Salomon, ingr-éclairagiste).

La courbe de la surface est calculée pour que, recevant la lumière des lampes masquées, sa brillance soit uniforme en tous les points. En avant de ce défoncement lumineux sont disposées les lettres de l'enseigne, qui se trouvent à peu près à l'aplomb normal de la façade. L'effet silhouette ainsi obtenu est tout à fait réussi.

Certains magasins ont réalisé des *marquises lumineuses* plus ou moins volumineuses. La plus impor-

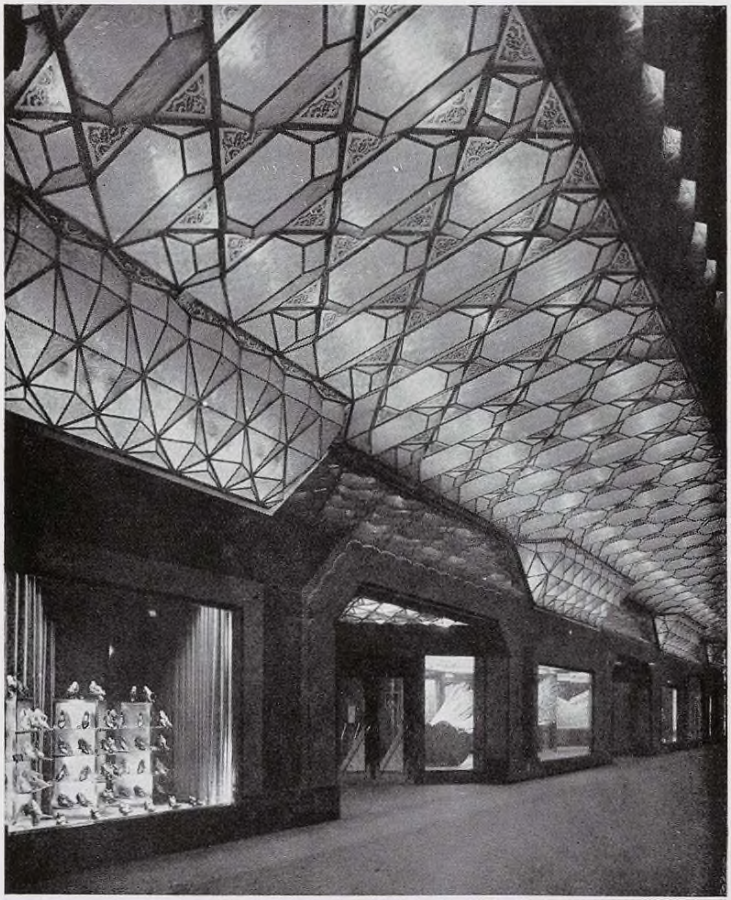


Fig. 59. — Marquise lumineuse des Galeries Lafayette (Chanut, arche).

tante de toutes est représentée par la figure 59. C'est sans doute le plus grand appareil d'éclairage qui existe au monde, car cet appareil, formé d'éléments diffusants en glaces striées gravées, contient 800 lampes de

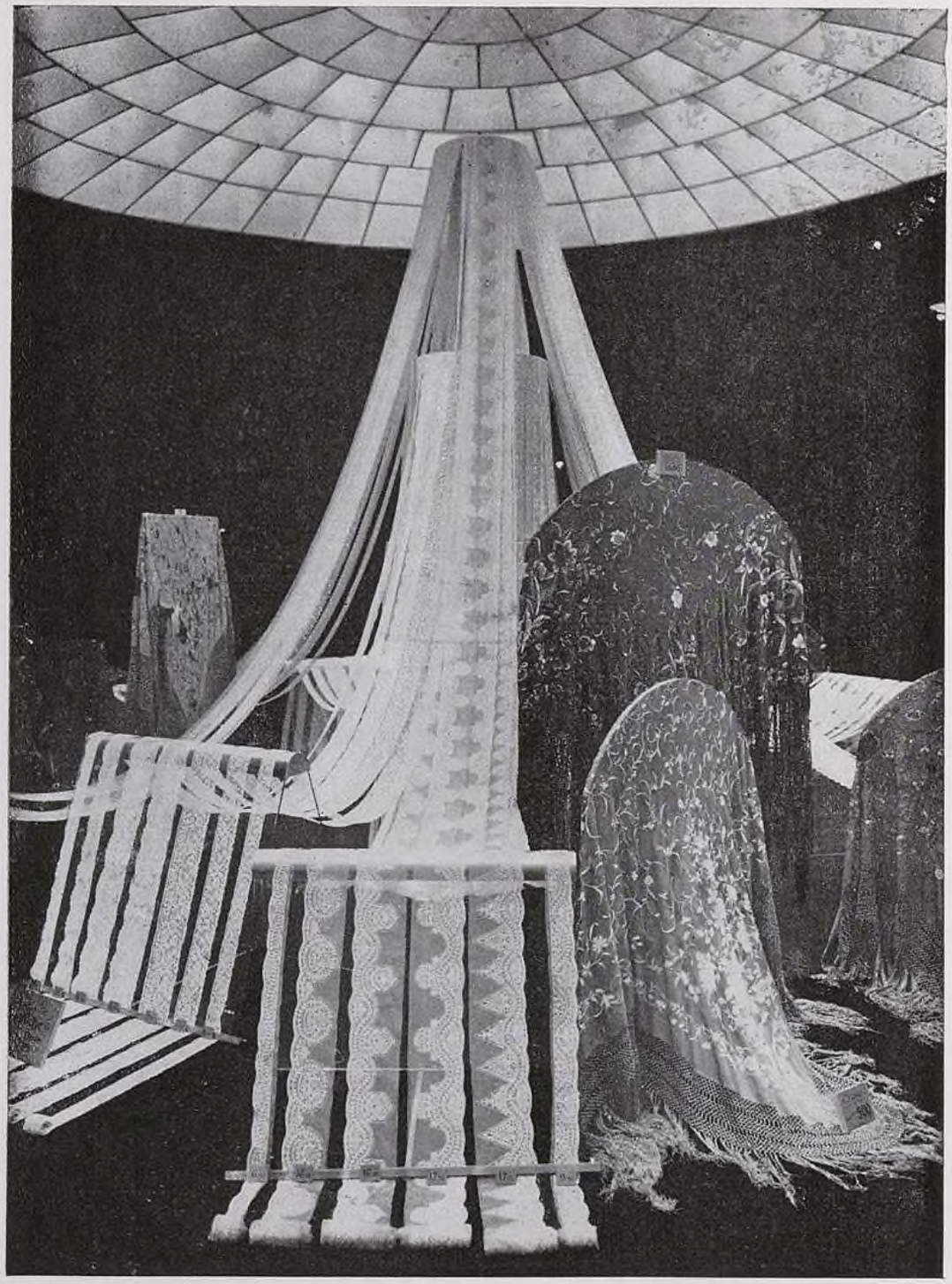


Fig. 60 — Eclairage par plafond cellulaire d'une vitrine en rotonde
(Magasins du Printemps ; Wybo, arch[e]).

500 watts, sans compter les lampes de 50 watts qui illuminent son fronton.

En ce qui concerne l'éclairage des devantures de magasin, on dispose actuellement de réflecteurs dyssymétriques et de projecteurs de différents modèles qui permettent de les éclairer d'une façon parfaite, avec le minimum de consommation. On peut aussi utiliser des rampes de lampes masquées par des réflecteurs en forme de gouttière. Enfin, on peut faire usage de plaques concentrantes en verre prismatique derrière lesquelles sont disposées les lampes.

On ne devrait plus jamais voir ces lampes pendues au bout d'un fil, ou ces rampes latérales de lampes non masquées qui crèvent les yeux des passants sous prétexte de les attirer. Les installations défectueuses consomment d'ailleurs plus d'énergie électrique que les installations correctement établies, où toute la lumière produite est dirigée, au moyen d'appareils appropriés, vers les points où elle est utile.

Les principes généraux que l'on doit observer sont les suivants :

*utiliser un éclairage d'autant plus puissant que les marchandises exposées ont une couleur plus foncée* ;

*concentrer la lumière sur les objets placés en étalage et ne pas la gâcher en pure perte* ;

*faire usage de dispositifs appropriés pour que le détail des objets soit nettement visible* ;

*éviter l'éblouissement direct*, en cachant les foyers lumineux à la vue des passants et des clients ;

*éviter l'éblouissement par réflexion.*

En outre, on ne devra jamais perdre de vue *que la nature et la couleur des parois et du fond de la devanture ont une très grande importance.*

De très remarquables exemples d'installations bien établies sont donnés par certains grands magasins qui, sans provoquer chez les passants le moindre éblouissement, ont su réaliser dans leurs vitrines des éclairages extrêmement puissants sous lesquels tous les objets sont magnifiquement mis en valeur.

On peut signaler dans cet ordre d'idées, comme dispositif spécial, le plafond cellulaire d'une vitrine en rotonde, qui a permis de résoudre d'une façon parfaite un problème extrêmement difficile (fig. 60). Les appareils ont été placés dans des alvéoles juxtaposées, dont les parois interceptent les rayons lumineux qui pourraient atteindre l'œil des observateurs et laissent passer ceux qui éclairent directement les objets placés en montre. Ce plafond cellulaire, dont tous les éléments sont peints en blanc mat, donne, à une certaine distance, l'impression d'un vitrage diffusant lumineux.

## Éclairage des ateliers.

C'est un fait indiscutable que beaucoup d'ateliers sont encore éclairés d'une façon très défectueuse. Et, cependant, si l'on réfléchit que, pendant le quart environ du temps total, le travail est exécuté à la lumière artificielle, on se rend compte de l'importance d'un bon éclairage.

Dans un rapport publié aux Etats-Unis, Mr. R. E. Simpson s'exprimait comme suit :

« Il y a quelques raisons de croire que 18 % de nos accidents du travail sont dus à des défauts de nos installations d'éclairage. S'il en est bien ainsi, les services de 108.000 hommes sont perdus chaque année parce que l'éclairage qui leur est fourni n'est pas suffisant pour assurer leur sécurité. Le fait que cette situation puisse se perpétuer d'année en année est

des plus répréhensibles, parce que le remède est très facile à appliquer et procure, en plus de la sécurité, maints autres avantages. »

Un bon éclairage diminue les chances d'accidents, augmente le bien-être des ouvriers, facilite les manutentions, réduit les temps perdus, et améliore le rendement puisque la durée des opérations visuelles diminue quand l'éclairement augmente.

L'*éblouissement direct* doit être soigneusement évité ; il en est de même de l'*éblouissement par réflexion* sur les pièces en cours d'usinage, et de l'*éblouissement par contraste* par rapport aux espaces environnants.

La lumière doit être bien diffusée et convenablement répartie.

L'*éclairage général*, réalisé au moyen d'appareils d'éclairage direct judicieusement choisis et convenablement disposés, constitue la solution la meilleure, que l'on doit s'efforcer d'adopter chaque fois que cela sera possible. Pour l'établissement d'un tel éclairage, la nature et la composition des ateliers, la forme et la hauteur des bâtiments, l'existence de galeries ou d'étages, la constitution des murs et des plafonds, la présence de piliers, de fermes, de ponts roulants, de transmissions mécaniques, etc., les dimensions des machines-outils et des pièces à usiner, doivent être prises en considération et minutieusement examinées.

Les figures 61, 62, 63, 64 montrent la répartition du flux lumineux obtenu avec une lampe nue ou bien avec des appareils d'éclairage direct plus ou moins concentrants : on se rend compte immédiatement que c'est l'appareil de la figure 64 qui doit être utilisé dans un atelier dont les proportions correspondent au schéma figuré.

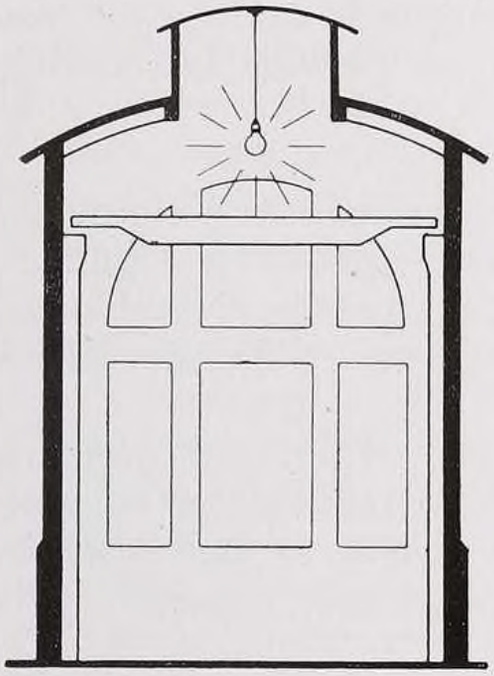


Fig. 61

Une lampe nue donne une très mauvaise utilisation de la lumière, puisque la majeure partie du flux lumineux n'atteint pas les plans utiles.

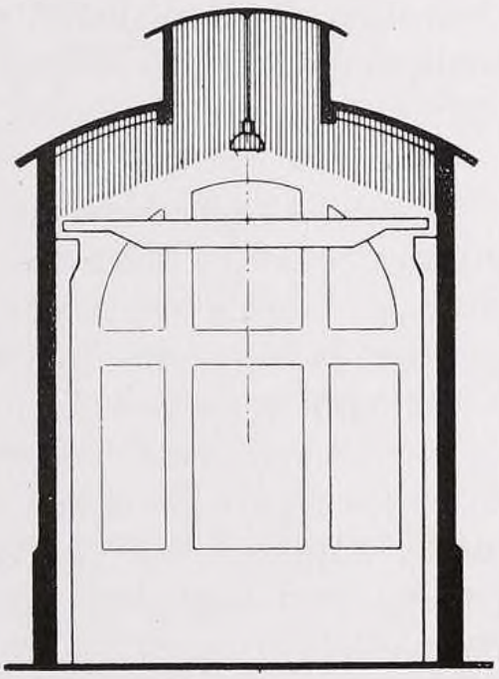


Fig. 62

Un réflecteur trop extensif n'utilise pas non plus le flux lumineux au maximum, puisqu'une grande partie de celui-ci est envoyée inutilement sur les murs.

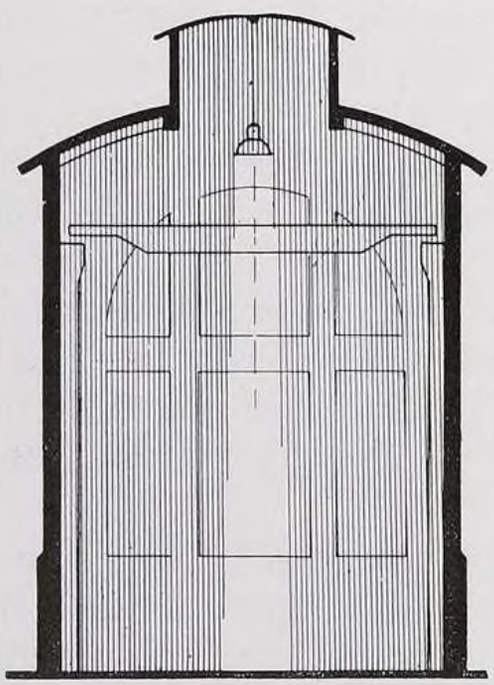


Fig. 63

Un appareil trop concentrant ne permet pas d'envoyer la lumière sur toute l'étendue de la surface à éclairer.

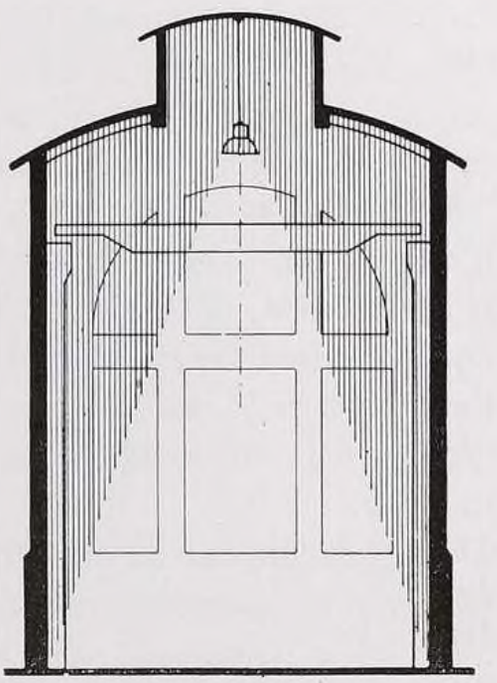


Fig. 64

L'appareil convenable doit éclairer entièrement les plans utiles et donner le moins possible de lumière inutilisée.

On doit placer les appareils aussi haut que possible et les rapprocher autant que possible les uns des autres pour éviter les ombres gênantes.

Pour que les ombres ne soient pas trop dures, il est recommandable d'utiliser des réflecteurs diffusants, tels que ceux en métal émaillé, et de les équiper de préférence avec des lampes semi-émaillées. L'emploi de réflecteurs munis de globes diffusants donne des ombres encore plus douces, mais le rendement est un peu moindre. Quand il s'agit d'éclairer des halls de grande hauteur, on peut faire usage de réflecteurs concentrants en métal poli équipés avec des lampes nues.

L'*éclairage local*, avec une lampe sur chaque machine, est généralement défectueux. On évite difficilement l'éblouissement direct et surtout l'éblouissement par réflexion. Les *contrastes* entre les parties éclairées et les espaces environnants sont trop marqués ; si l'ouvrier quitte des yeux son travail pour prendre une pièce ou un outil, il lui faut un certain temps d'adaptation pour distinguer ce qu'il cherche ; inversement, quand son regard se reporte sur la partie éclairée de la machine, ses yeux se trouvent éblouis par contraste et ont besoin, à nouveau, d'un certain temps d'adaptation. En fin de journée, la totalisation de ces temps morts représente une perte de temps appréciable; d'autre part, le travail d'adaptation, imposé trop fréquemment à l'œil, occasionne une fatigue très marquée.

Si, par suite de l'impossibilité matérielle où l'on se trouve de placer convenablement les appareils nécessaires pour assurer l'éclairage général d'un atelier, ou par suite de raisons particulières qui obligent à chercher le maximum d'économie, on décide d'avoir recours à l'éclairage local, on devra le compléter toujours par un *éclairage de circulation* et, si possible,

par un éclairage général réduit, de façon à éviter des contrastes trop marqués.

Les appareils assurant l'éclairage local devront toujours comporter des réflecteurs profonds dissimulant complètement le filament à la vue de l'ouvrier pour éviter l'éblouissement direct. Ces réflecteurs profonds devront être en tôle émaillée, de préférence au métal poli, pour éviter l'éblouissement par réflexion, qui est toujours à craindre.

Quels que soient le mode d'éclairage et le type d'appareils utilisé, un service régulier d'entretien, assurant la visite et le nettoyage périodique des foyers lumineux, est indispensable. La fréquence des nettoyages sera déterminée par expérience, d'après les conditions particulières de chaque installation. Si l'on peut installer des appareils d'éclairage de telle façon qu'ils puissent être facilement descendus, les nettoyages seront évidemment plus aisés que quand une échelle est nécessaire pour atteindre des appareils fixes : c'est là un point important qu'il ne faut pas perdre de vue quand on réalise une installation d'éclairage.

Le nettoyage des plafonds et des murs ne devra pas être négligé. L'énergie électrique consommée en surplus parce que les plafonds et les murs ont perdu la majeure partie de leur pouvoir réfléchissant coûte généralement plus cher qu'un lessivage ou une couche de peinture.

### Éclairage des voies publiques.

L'éclairage des voies publiques prend chaque jour plus d'importance. Les nécessités du trafic croissent constamment, et la sécurité des piétons, des cyclistes et des automobilistes dépend dans une large mesure de l'éclairage.

Un autre avantage d'un bon éclairage est d'ordre commercial. Il est établi que la lumière attire la foule : certains commerçants l'ont si bien compris que, dans des villes importantes, les riverains d'une même rue se sont mis d'accord pour faire améliorer à leurs frais l'éclairage de la chaussée, dans l'unique but d'attirer un plus grand nombre de passants. Enfin, si le but initial de l'éclairage public est la sécurité du trafic, ainsi que la prévention des accidents et des crimes, il est incontestable qu'un bon éclairage apporte aussi sa contribution au confort général.

Techniquement parlant, le but de l'éclairage des rues est de produire une certaine brillance sur le sol, ainsi que sur les personnes ou les objets. Durant le jour, il y a une telle abondance de lumière que sa distribution sur une surface n'a pas besoin d'être analysée de près ; mais, lorsque la quantité de lumière artificielle est limitée, comme c'est le cas pour la plupart des rues, une analyse plus complète des phénomènes est nécessaire.

Généralement, on s'efforce d'obtenir un éclairement aussi uniforme que possible sur la chaussée (fig. 65). Mais il n'est pas certain que ce soit là le moyen d'obtenir le maximum d'effet utile avec le minimum de lumière.

Il faut se rappeler tout d'abord que l'éclairement de surfaces (telles que pavés, véhicules, arbres, personnes, etc.) et la brillance de ces surfaces sont deux choses bien distinctes. C'est de la *brillance* que dépend l'effet produit, et cette brillance est elle-même fonction de la *répartition de la lumière réfléchie* autour du point considéré, du *facteur de réflexion de la surface*, ainsi que de son *éclairement*. Comme le pouvoir réflecteur des différents corps varie dans de grandes proportions, leur brillance, pour un éclairement donné, diffère dans les mêmes proportions. L'obliquité des rayons

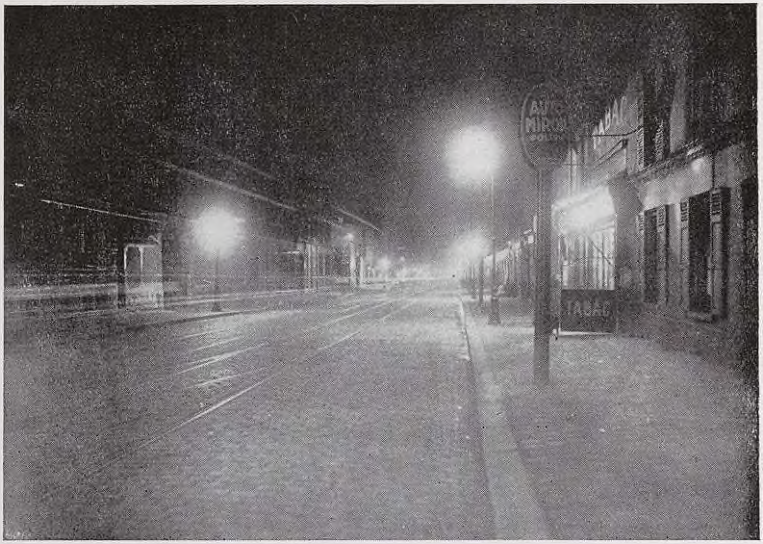



Fig. 65.— Exemple de chaussée dont l'éclairement se rapproche de l'uniformité.

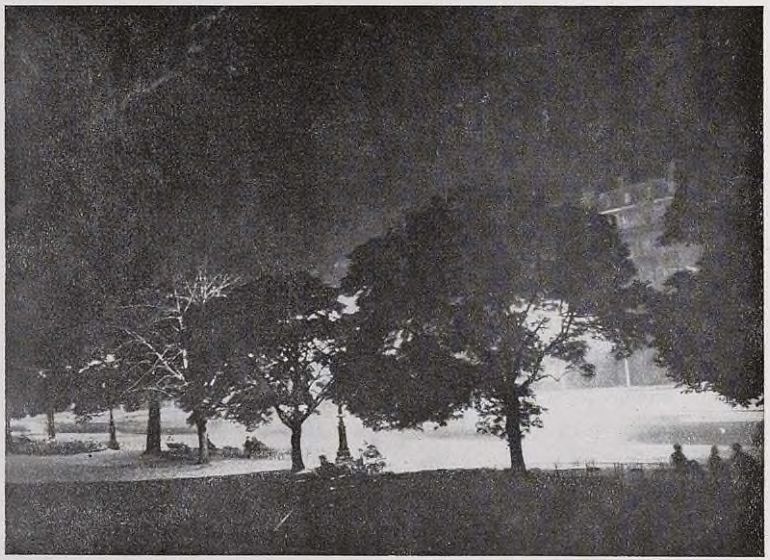


Fig. 66. — Exemple d'effet silhouette.

lumineux joue également un rôle et tend à uniformiser la brillance de la chaussée dans la direction de l'observateur, lorsque cet observateur s'éloigne de plus en plus du foyer lumineux.

Pendant le jour, nous percevons les objets grâce à leurs différences de brillance, ainsi que par le con-



Fig. 67. — Exemple d'effet silhouette (arbres) et d'éclairage par reflexion (maisons du fond) intervenant simultanément.

traste de leurs couleurs. Les variations d'éclairement ont aussi leur importance et produisent les effets d'ombre et de lumière. Pendant la nuit, ces différences d'éclairement ont un effet encore plus marqué, alors que les variations de couleur ont relativement peu d'importance. Mais, bien souvent, les objets sont vus de loin, non par la lumière qu'ils réfléchissent dans notre direction, mais par le fait que les plans devant lesquels ils se trouvent sont plus éclairés qu'eux-mêmes ; ils se détachent alors en *silhouette* (fig. 66) sur

le fond relativement brillant. Quelquefois, les deux effets interviennent simultanément : c'est le cas lorsqu'un objet est vu, partie devant un fond sombre et partie devant un fond clair (fig. 67).

Les obstacles des routes, tels que pierres, briques, etc., peuvent être vus soit directement, soit par

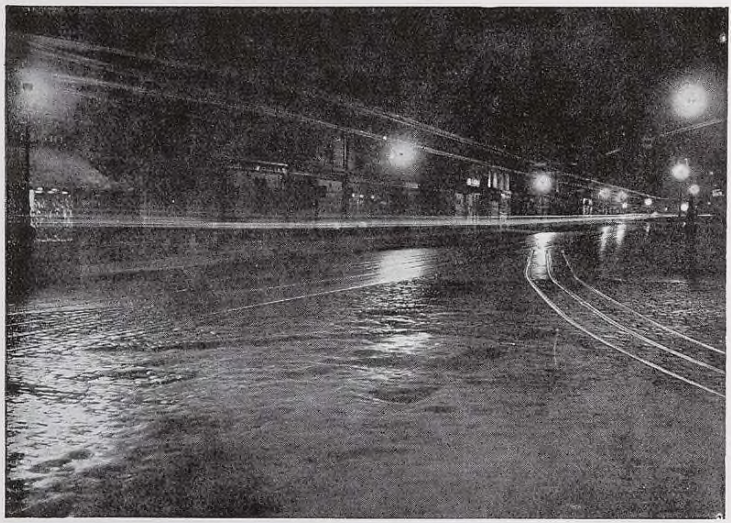


Fig. 68. — Les ombres permettent de déceler les irrégularités du pavage.

silhouette, mais sont habituellement décelés, tant par les ombres qu'ils produisent que par la réflexion de leurs surfaces. Les trous et les dépressions sont reconnus habituellement par leurs ombres (fig. 68), sauf lorsqu'ils se trouvent tout près d'une source lumineuse.

Des essais ont été faits dans le but de déterminer l'influence des ombres sur la vision des objets dans l'éclairage extérieur. Ces essais ont montré que la vision se trouve facilitée lorsque les sources lumineuses sont suffisamment espacées : au contraire, si les sources se trouvent plus rapprochées et si, par suite, l'éclairement est plus uniforme, la vision est moins bonne, les

objets se détachant avec moins de relief. Comme, en général, des raisons d'économie conduisent à espacer les foyers le plus possible, les conditions de formation des ombres se trouvent presque toujours réalisées.

L'éblouissement cause une très grande gêne et il faut tâcher de l'éviter. Malheureusement, on ne peut que le réduire. De nombreux essais ont montré que l'éblouissement est déjà très notable lorsqu'un foyer lumineux brillant est placé de façon à être vu sous un angle de 15° avec l'horizontale. Comme l'effet d'éblouissement augmente très rapidement quand on abaisse le foyer jusqu'à 6° à 8° de l'horizontale de vision, *il y a intérêt à placer ce foyer aussi haut que possible.* On se trouve limité dans cette voie par des questions d'économie et d'esthétique. L'emploi d'un globe diffuseur a relativement peu d'influence sur l'éblouissement dans l'éclairage public : en effet, lorsque la source lumineuse se trouve dans le champ visuel, elle est suffisamment éloignée pour que son diamètre apparent soit relativement très petit ; la source se rapproche alors beaucoup d'une source ponctuelle. On ne peut donc songer à diminuer l'éblouissement par l'emploi de grandes surfaces diffusantes que lorsque l'on utilise des foyers bas et rapprochés.

L'éclairage des voies publiques a pu être grandement amélioré dans ces dernières années par l'emploi de lampes de forte puissance et par l'utilisation d'appareils appropriés, donnant une distribution convenable du flux lumineux. Ces appareils sont généralement constitués par des surfaces réfléchissantes (métal poli ou verre argenté) avec globes opalisés, ou bien par des réfracteurs spéciaux établis pour donner une courbe très aplatie des intensités lumineuses.

Sans vouloir m'étendre sur cette question, qui m'entraînerait trop loin, je me bornerai à signaler que, dans certaines villes comme Paris, des considérations

d'esthétique ou de tradition d'une part, et la présence d'arbres dans les principales artères, d'autre part, empêchent souvent l'adoption de solutions qui, techniquement, seraient susceptibles de donner les meilleurs résultats. En particulier, ces considérations empêchent



Fig. 69. — Eclairage d'un terrain de jeux, à Lynn, près de Boston, au moyen de batteries de projecteurs de 1,000 watts disposés à une vingtaine de mètres de hauteur.

l'utilisation de candélabres ou de pylônes de grande hauteur, grâce auxquels les effets d'éblouissement, si fréquents et si gênants, pourraient être considérablement réduits, sinon entièrement supprimés.

L'emploi, dans certaines voies publiques, de l'éclairage au gaz qui, d'ailleurs, avec les becs modernes à gaz surpressé, permet d'obtenir des résultats très satisfaisants (la figure 66 en montre un exemple), contribue aussi à limiter, en raison de l'uniformité d'aspect qu'il est désirable de réaliser, la hauteur généralement adoptée pour les candélabres.

## Éclairage des grands espaces.

L'éclairage des grands espaces présente souvent certaines difficultés qui empêchent de traiter ce problème comme celui de l'éclairage des voies publiques C'est le cas, par exemple, des chantiers, des voies de triage de chemins de fer, des terrains de jeux, etc.

Le seul dispositif susceptible de donner de bons résultats dans ces cas consiste à utiliser des projecteurs supportés par des poteaux ou des pylones de grande hauteur. Ces projecteurs sont généralement rassemblés en groupes plus ou moins importants : chacun d'eux est réglé individuellement de façon que l'axe du faisceau lumineux qu'il envoie sur le sol ait une direction telle que, dans l'ensemble, l'éclairement du terrain soit aussi uniforme que possible.

Voici, par exemple, la photographie d'un terrain de jeux situé à Lynn, près de Boston (fig. 69), dont l'éclairage est assuré par des batteries de quinze projecteurs de 1.000 watts, supportées par des poteaux à une vingtaine de mètres au dessus du sol. Comme on peut s'en rendre compte sur la photographie, l'uniformité d'éclairement est tout à fait satisfaisante : j'ai constaté moi-même que l'éclairement est suffisant pour qu'on ne perde pas un instant de vue la balle utilisée dans le jeu de base-ball.


ARTS-ET-MÉTIERS ★ CONSERVATOIRE N°1 BIBLIOTHÈQUE

IMPRIMERIE VENDOME
338, RUE SAINT-HONORÉ
PARIS

IMPRIMERIE VENDOME
338, Rue Saint-Honoré
Paris