

Chapitre 2

Installations électriques d'éclairage

La lumière conditionne en grande mesure l'activité de l'homme. L'éclairage de niveau correspondant contribue à agrandir la productivité du travail, à réduire le nombre d'accidents, à éviter les erreurs.

2.1. Grandeurs et unités photométriques

La lumière est caractérisée par des grandeurs énergétiques, évaluées en unités de mesure énergétique et par des grandeurs photométriques, évaluées en unités de mesure photométriques.

La photométrie est la science de la mesure des grandeurs caractéristiques de la lumière et des phénomènes lumineux, évalués à base des sensations lumineuses résultées.

2.1.1. Les radiations électromagnétiques

Les radiations électromagnétiques existent grâce aux oscillations des particules électrisées de la matière. Elles se caractérisent par la longueur d'onde, $\lambda[m]$ et la fréquence, $f[Hz]$, grandeurs dépendantes comme le montre la relation suivante:

$$\lambda = \frac{c}{f}, \text{ où } c \cong 3 \cdot 10^8 \text{ m/s} \quad (2.1.)$$

où c représente la vitesse de la lumière en vide.

Les radiations qui impressionnent l'œil s'appellent radiations lumineuses ou visibles et elles occupent une zone étroite (380...760 nm, $1\text{nm} = 10^{-9}\text{m}$) du spectre. Le spectre de radiations électromagnétiques est présenté dans la *figure 2.1.a* et le spectre visible situé entre les radiations ultraviolettes (radiations stérilisantes) et les radiations infrarouges (radiations caloriques) est représenté par la *figure 2.1.b*.

Les radiations visibles émises avec une seule longueur d'onde s'appellent radiations monochromatiques et elles produisent la sensation visuelle d'une certaine couleur. La superposition des plusieurs radiations monochromatiques crée la radiation complexe (polychromatique), dont la couleur correspond à la radiation monochromatique en excès.

La sensation de couleur blanche est le résultat du mélange, dans certaines proportions, de telles radiations monochromes qui se trouvent dans le spectre visible.

Par convention la lumière blanche correspond à la radiation du corps noir absolu qui se trouve à une température de 5000°K.

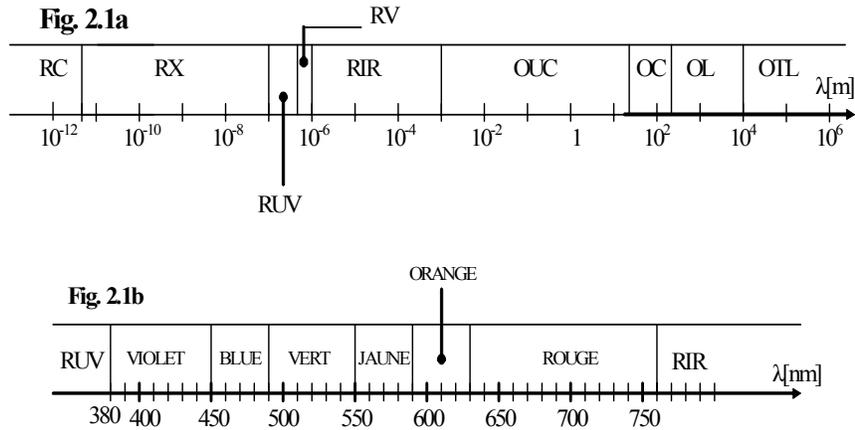


Fig. 2.1. Le spectre de radiations électromagnétiques
a) le spectre des radiations électromagnétiques; RC - radiations cosmiques; RX - radiations X; RUV - radiations ultraviolettes; RV - radiations visibles; RIR - radiations infrarouges; OUC - ondes radio ultracourtes; OC - ondes radio courtes; OL - ondes longues; OTL - ondes très longues; b) le domaine visible du spectre électromagnétique;

2.1.2. Le flux lumineux

Sous aspect énergétique, dans le cas d'une source de radiations, ce qui intéresse c'est la puissance radiée qui s'appelle flux énergétique et qui est définie par la relation:

$$\Phi_e = \frac{dW}{dt} [W] \quad (2.2.)$$

où: dW [Joule] - représente la variation élémentaire de l'énergie radiante et dt représente l'intervalle de temps considéré.

Toute radiation électromagnétique représente un transport d'énergie qui peut être transformée toujours en chaleur.

L'excitation énergétique met en évidence les propriétés radiantes d'une source dans un point de cette source et elle est calculée avec la relation:

$$M_e = \frac{d\Phi_e}{dA} \left[\frac{W}{m^2} \right] \quad (2.3.)$$

La densité spectrale de flux énergétique qui est donnée par la relation (2.4.) est utilisée pour estimer le flux énergétique de manière grapho-analytique.

$$\Phi_{e\lambda} = \frac{d\Phi_e}{d\lambda} \left[\frac{W}{m} \right] \quad (2.4.)$$

Dans la *figure 2.2.* sont présentées les courbes de répartition spectrale pour les radiations monochromes, polychromes et complexes.

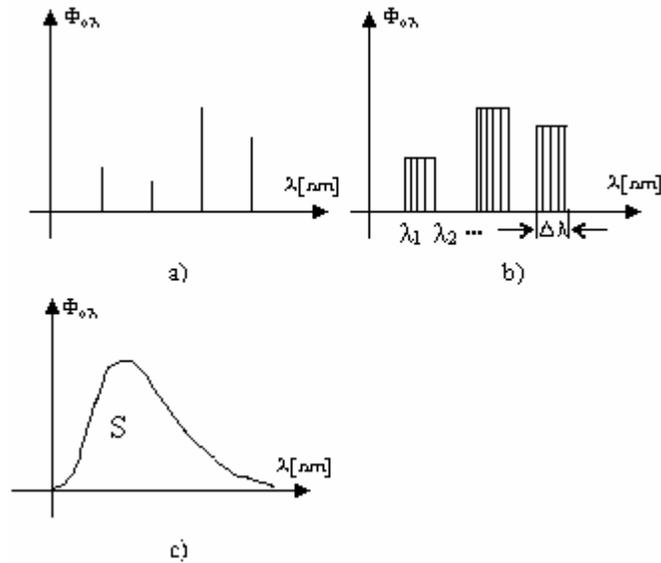


Fig. 2.2. Les courbes de répartition spectrales
 a) les radiations monochromes (spectre de lignes);
 b) les radiations polychromes (spectre de bandes);
 c) les radiations complexes (spectre continu).

Le flux énergétique se déduit par la relation (2.5):

$$\begin{aligned} \Phi_e &= \int \Phi_{e\lambda} d\lambda; \\ \Delta\Phi_e &= \Phi_{e\lambda} \Delta\lambda \quad - \text{spectre de lignes}; \\ \Phi_e &= \sum_{j=1}^n \Phi_{e\lambda_j} \Delta\lambda_j \quad - \text{spectre de bandes}; \\ \Phi_e &= \int_0^{\infty} \Phi_{e\lambda} d\lambda = S \quad - \text{spectre continu}; \end{aligned} \quad (2.5)$$

Les grandeurs photométriques des radiations font l'objet d'étude de la photométrie. Dans des conditions énergétiques égales, les sensations lumineuses diffèrent d'une couleur à l'autre du spectre. Pour établir les grandeurs photométriques et les unités de mesures afférentes on a adopté conventionnellement l'observateur photométrique de référence dont l'œil présente la sensibilité maximale à la radiation monochromatique jaune-verdâtre avec une longueur d'onde de 556 nm.

Les autres radiations du spectre visible conduisent elles aussi à des sensations, mais moins intenses.

Le flux lumineux Φ , défini du point de vue énergétique, représente la puissance des radiations électromagnétiques qui est exprimée par l'intensité de la sensation visuelle produite sur les yeux, qui dépend du flux énergétique ϕ_e . Donc le flux lumineux ϕ reçu ou émis par un corps représente le flux énergétique (ϕ_e) reçu par ce corps après la sensation lumineuse qu'il produit. Puisque la sensibilité des yeux est dépendante de la longueur d'onde des radiations, on a introduit la notion d'efficacité lumineuse spectrale V_λ , qui se définit par le rapport des densités spectrales du flux lumineux et énergétique:

$$V_\lambda = \frac{\phi_\lambda}{\phi_{e\lambda}} = \frac{d\phi/d\lambda}{d\phi_e/d\lambda} \rightarrow \phi = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} V_\lambda \phi_{e\lambda} d\lambda \quad [wl] \quad (2.6.)$$

Ce coefficient caractérise la manière dans laquelle les radiations émises sur différentes longueurs d'onde, impressionnent les yeux. Sa valeur maximale est de 1 pour la longueur $\lambda = 556nm$ (fig.2.3.)

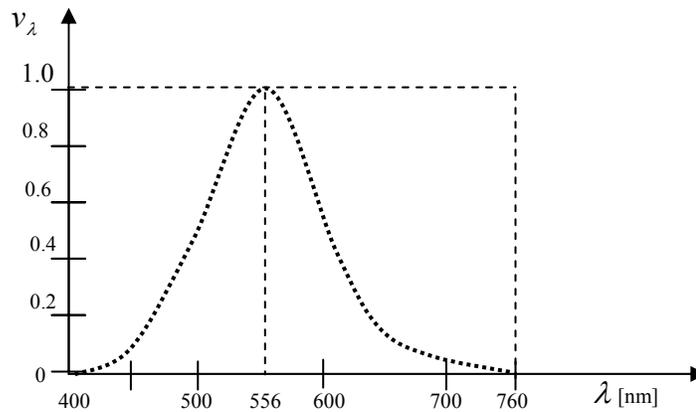


Fig. 2.3. Représentation de l'efficacité lumineuse avec la longueur d'onde

L'unité de mesure du flux lumineux d'après la relation (2.6.) est le watt lumineux (la sensation lumineuse d'un watt énergétique). En technique, on utilise comme unité de mesure pour ϕ , le lumen [lm] qui est défini en fonction de l'intensité lumineuse (candela, l'unité fondamentale). Le lumen [lm] est le flux lumineux uniformément réparti dans un angle solide d'un stéradian d'une source ponctuelle qui a l'intensité lumineuse d'une candela d'après l'axe de l'angle solide.

La liaison entre wl et lm est donnée par l'équivalent photométrique numérique égal au flux lumineux produit pour une radiation monochromatique d'un w , émise sur la longueur d'onde de 556 nm.

$$1wl = 680 lm \quad (2.7.)$$

2.1.3. L'intensité lumineuse

L'intensité lumineuse se définit comme la grandeur physique qui caractérise l'action d'une source lumineuse dans une certaine direction.

L'unité de mesure pour l'intensité lumineuse est candela [cd], l'unité fondamentale en S.I., définie comme l'intensité lumineuse dans la direction de la normale d'une surface de $1/60 \text{ cm}^2$ d'un corps homogène (radiateur intégral), à une température de solidification du platine (2046,50) et à une pression de $101,325 \text{ N/m}^2$.

L'intensité lumineuse I d'une source point formée dans une direction donnée se définit comme le rapport entre le flux élémentaire émis et l'angle solide autour de cette direction, qui comprend le flux lumineux considéré:

$$I = d\phi / d\omega \quad (2.8.)$$

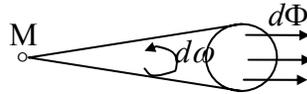


Fig. 2.4. L'intensité lumineuse dans une direction

L'intensité lumineuse est la densité spatiale du flux lumineux. La relation (2.8.) donne des résultats aussi satisfaisants dans les cas réels, parce que, les sources de lumière sont petites par rapport aux distances pour lesquelles on calcule l'effet. Dans le cas des sources ponctuelles non uniformes, qui émettent le flux Φ dans un angle solide ω on définit l'intensité moyenne (I_m) avec la relation:

$$I_{mp} = \Phi/\omega \quad (2.9.)$$

Dans la technique d'éclairage on utilise aussi d'autres valeurs moyennes de l'intensité lumineuse $I \rightarrow \Delta I$. Les sources lumineuses peuvent être uniformes ou non uniformes, selon que l'intensité lumineuse est la même ou non dans toutes les directions, elles sont symétriques si leur corps photométrique a un axe de symétrie et asymétriques dans le cas contraire.

$$d\Omega = (dA \cdot \cos\theta)/r^2 \quad (2.13.)$$

si on remplace (2.12.) et (2.13.) en (2.11.) on a:

$$E = (I \cdot \cos\theta)/r^2 \quad (2.14.)$$

qui exprime les deux lois de l'illumination:

- la loi des carrés des distances, qui dit que l'illumination d'une surface est inversement proportionnelle avec le carré de la distance ($\theta = \text{const.}$);

- la loi du cosinus, conformément à laquelle l'illumination varie proportionnellement avec le cosinus de l'angle d'incidence ($r = \text{ct.}$).

L'illumination, en général, n'est pas la même dans des points différents d'une surface, cas où on utilise l'illumination moyenne:

$$E_{med} = \frac{\Phi}{A} \quad (2.15.)$$

2.1.6. La luminance

La luminance (l'éclat lumineux) est la grandeur photométrique qui est directement perçue par l'œil humain et se réfère plutôt aux sources de lumière qu'aux surfaces illuminées.

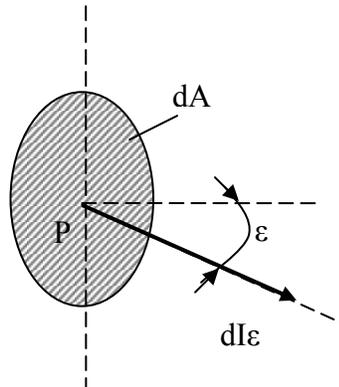


Fig. 2.6.

Par définition, la luminance dans un point P d'une surface (fig. 2.6.) et dans une certaine direction est le rapport entre l'intensité lumineuse dI_ε dans la direction considérée due à l'élément de surface dA , et l'aire de la projection orthogonale de l'élément de surface dA à côté du point sur un plan perpendiculaire sur cette direction.

$$L = \frac{dI_\varepsilon}{dA \cos \varepsilon} \quad (2.16.)$$

Pour les surfaces de luminance constantes dans toutes les directions (2.16.) on peut avoir:

$$L = \frac{I_\varepsilon}{A \cos \varepsilon} \left[\frac{cd}{m^2} \right] \quad (2.17.)$$

Telles surfaces sont considérées comme parfaites diffusantes (tubes fluorescents, surfaces réfléchissantes, mates, différentes plaques en verre ou opaline, etc.).

2.1.7. La quantité de lumière. L'exposition lumineuse

La quantité de lumière:

$$Q = \int_0^t \Phi dt \quad [lm \cdot s] \quad (2.18.)$$

représente l'énergie débitée par une source de lumière où absorbée par une surface, évaluée après la sensation lumineuse qu'elle produit.

L'exposition lumineuse (H) est la densité superficielle de la quantité de lumière et on la définit avec la relation:

$$H = \frac{dQ}{ds} = \int_0^t E dt \quad [lx \cdot s] \quad (2.19.)$$

Elle est utilisée dans la technique photographique et dans l'étude des facultés visuelles.

2.2. Les propriétés photométriques des matériaux

Si sur la surface d'un corps tombe un flux lumineux (ou énergétique) Φ , une partie Φ_α est absorbée par le corps, une partie Φ_β se reflète et une autre partie Φ_τ passe sur le corps. De la loi de la conservation de l'énergie, il résulte l'égalité:

$$\Phi = \Phi_\alpha + \Phi_\beta + \Phi_\tau \quad (2.20.)$$

qui est valable plutôt dans le cas des flux énergétiques, que des flux lumineux.

Les propriétés photométriques des matériaux sont exprimées par les valeurs des facteurs positifs et sous unitaires suivants:

- le facteur d'absorption:

$$\alpha = \frac{\Phi_{\alpha}}{\Phi} \quad (2.21.)$$

- le facteur de réflexion

$$\rho = \frac{\Phi_{\rho}}{\Phi} \quad (2.22.)$$

- le facteur de transmission

$$\tau = \frac{\Phi_{\tau}}{\Phi} \quad (2.23.)$$

Entre ces facteurs il y a la relation:

$$\alpha + \rho + \tau = 1 \quad (2.24.)$$

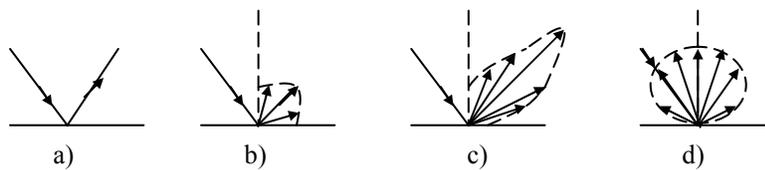


Fig. 2.7. La réflexion des matériaux:
a) - régulière; b) - diffuse; c) - mixte; d) - parfaitement diffuse

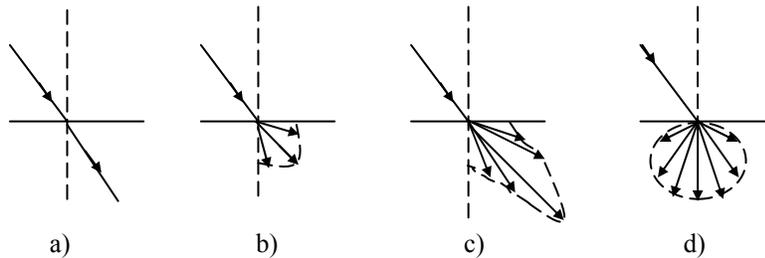


Fig. 2.8. La transmission des matériaux:
a) - régulière; b) - diffuse; c) - mixte; d) - parfaitement diffuse

Dans le cas où l'un de ces facteurs a la valeur 1, les autres sont nuls. Dans les cas limite les matériaux sont parfaitement absorbants ($\alpha = 1$), réfléchissants ($\rho = 1$), transparents ($\tau = 1$). Les matériaux réels utilisés en pratique se caractérisent par des valeurs intermédiaires des cas limite.

Dans certains cas, les facteurs d'absorption, de réflexion et de transmission sont en fonction de la longueur de l'onde des radiations lumineuses. De ce point de vue les matériaux peuvent être:

- non colorés (les facteurs α, ρ si τ , ne dépendent pas de la longueur d'onde λ et de cela le matériel absorbé, reflète et transmet la lumière d'une manière non sélective);

- colorés (caractérisés par le fait que α, ρ, τ dépendent de λ). Ces matériaux absorbent, reflètent et transmettent la lumière d'une manière sélective. La réflexion et la transmission peuvent être: régulières, diffuses, mixtes et parfaitement diffuses (*fig. 2.7.* et *fig. 2.8.*). La réflexion régulière est caractéristique aux surfaces lisses, polies. La réflexion diffuse caractérise les surfaces métalliques mates. La réflexion mixte apparaît dans le cas du verre opalin, de la glaçure de porcelaine et du marbre. La réflexion parfaitement diffuse est spécifique aux matériaux ayant une granulation fine et uniforme (teinture blanche). La transmission régulière est caractéristique au verre transparent. La transmission diffuse au verre mat, la transmission mixte, au verre opaline, et la transmission parfaitement diffuse, au verre laiteux.

2.3. Mesurages photométriques

La détermination des valeurs des paramètres de la technique d'illumination se fait par des mesurages photométriques physiques (objectifs) ou visuels (subjectifs). Les mesurages photométriques physiques utilisent les propriétés des matériaux de produire des photocourants ou thermo courants ou de modifier leur résistivité électrique sous l'action d'une radiation lumineuse. La photométrie physique est rapide et précise si on compare des sources lumineuses ayant la même composition spectrale. En cas contraire on recommande les méthodes subjectives ou les méthodes spectrophotométriques. Les mesures photométriques visuelles utilisent la propriété de l'œil humain d'apprécier si les luminances de deux surfaces proches et de même couleur sont ou ne sont pas égales. Dans cette catégorie on encadre les méthodes de mesurer des luminances et des intensités lumineuses. Dans le cas des mesures photométriques on utilise comme étalon primaire le corps noir, chauffé à la température de solidification du platine, représentant l'étalon d'intensité lumineuse.

Dans les installations électriques d'éclairage on mesure, généralement, les illuminations par des mesures photométriques physiques en utilisant comme appareils les luxmètres objectifs. Ces appareils sont composés en principe d'un récepteur photoélectrique (photorésistante, photo élément) et d'un appareil de mesure. Le photo-courant a d'habitude un microampère. Le photo-élément le plus répandu est la cellule photoélectrique à sélénium (*fig. 2.9.*) parce qu'elle a une sensibilité spectrale très proche de celles des yeux.

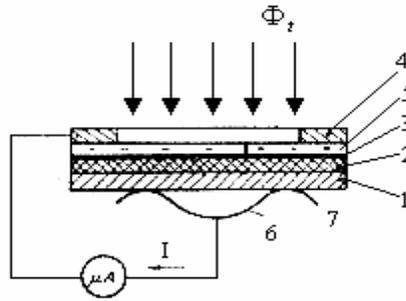


Fig. 2.9. Photo-élément à sélénium

Elle est composée d'une plaque de base en acier ou aluminium 1, l'électrode positive d'un disque très mince en sélénium 2, sur lequel, par un procédé spécial de pulvérisation cathodique, on met une couche transparente 3 d'or, de platine, de plomb ou d'oxyde de cadmium (l'électrode négative). Ces éléments composants sont consolidés à l'aide de l'anneau métallique 4 et du ressort 6. Entre les disques transparents, se forme une couche de blocage 5 qui laisse les photoélectrons, libérés par la couche de sélénium sous l'action de la lumière, passer plus facilement de la plaque de base à la couche transparente que dans le sens inverse. Le courant mesuré par le micro ampèremètre est proportionnel avec le flux lumineux Φ qui tombe sur la surface A de la cellule:

$$I = k\Phi = k \cdot E \cdot A \quad (2.25.)$$

d'où il résulte l'illumination:

$$E = I/(k \cdot A) \quad (2.26.)$$

où k est la sensibilité intégrale de la photocellule à sélénium, ayant la valeur moyenne d'environ $400 \mu\text{A}/\text{m}$, et A , la surface de la cellule. La courbe de la sensibilité relative spectrale de la cellule photoélectrique peut être très proche de celle de l'observateur de référence par l'utilisation d'un filtre de correction.

Pour l'étude des méthodes de mesurage des autres mesures photoélectriques comme: l'intensité lumineuse, le flux lumineux, etc., on recommande la consultation des ouvrages: [4, 7, 16].

2.4. Sources électriques de lumière

La couleur de la source de lumière et la manière dont celle-ci rend les couleurs sont déterminantes en photo-technique. Les sources de

lumière artificielles, ont des compositions spectrales différentes de celle de la lumière naturelle et produisent leurs propres sensations de couleur. Les yeux peuvent enregistrer la même sensation de couleur pour des spectres lumineux différents.

La définition et la classification des couleurs peuvent être faites d'après plusieurs systèmes, dont les plus utilisés sont le système Munsell et le système calorimètre standard de CIE 1031. Le système de Munsell utilisé pour la définition de la couleur des objets dans des conditions de lumière naturelle présente une classification des couleurs en rapport avec trois dimensions: la tonalité (la longueur d'onde dominante) qui est un échelle contient cinq tonalités principales (jaune-rouge, vert-jaune, bleu-vert, violet-bleu, rouge-violet), chacune présentant 10 gradations; la clarté (la luminosité de la tonalité) indique une gradation sur une échelle noir-blanc à 10 échelons (0-noir;10-blanc); la saturation de la couleur (son contenu en blanc) est indiquée par des gradations.

Le système calorimètre standard de CIE 1931 est basé sur la théorie de la composition des couleurs, conformément à laquelle une couleur peut être reproduite par le mélange, dans une certaine proportion, de trois couleurs primaires hypothétiques (des stimulus): rouge (x), vert (y) et bleu (z).

2.4.1. Classification, caractéristiques

D'après le mode de production des radiations lumineuses, les sources de lumière (les lampes) sont classifiées en plusieurs types: lampes à incandescence; lampes à décharge; lampes avec arc électrique; lampes fluorescentes ; lampes (diodes) électroluminescentes ou LED (Light Emitting Diodes); lampes à usages spéciaux.

Pour la caractérisation des propriétés émissives des sources électriques de lumière on utilise l'efficacité lumineuse et la température de couleur.

L'efficacité lumineuse η , se définit comme le rapport d'entre le flux lumineux ϕ et la puissance consommée P:

$$\eta = \phi / P; [\eta] = [lm/W] \quad (2.27.)$$

L'unité de mesure $[lm/lw]$ se définit comme l'efficacité lumineuse d'une source qui émet un flux lumineux d'un lumen pour une puissance consommée d'un watt.

La température de couleur d'une source de lumière est la température, en degrés Kelvin, à laquelle on doit faire chauffer le corps noir pour que celle-ci ait la même couleur que la source considérée.

$$[T] = 1K.$$

Par la définition de la température de couleur, la composition spectrale des radiations émises par une certaine source de lumière peut se caractériser par un seul nombre.

2.4.2. Lampes électriques à incandescence

Les lampes à incandescence (*figure 2.10.*) sont historiquement les plus anciennes (brevet de Thomas Edison en 1879) et les plus répandues dans le grand public.

Leur principe est un filament porté à incandescence dans le vide ou une atmosphère neutre empêchant sa combustion.

On distingue:

- **Les ampoules standard**

Elles comportent un filament de tungstène et elles sont remplies d'un gaz inerte (azote et argon ou krypton).

- **Les ampoules à halogène**

Elles comportent aussi un filament de tungstène, mais elles sont remplies d'un composé halogéné (iode, brome ou fluor) et d'un gaz inerte (krypton ou xénon). Responsable d'un phénomène de régénération du filament, ce composé halogéné permet d'augmenter la durée de vie des lampes et évite leur noircissement. Ceci autorise également une température de filament plus élevée et donc une luminosité supérieure dans des ampoules de petite taille.



Fig. 2.10. Lampe électrique à incandescence

Le principal inconvénient des lampes à incandescence est leur forte dissipation thermique et donc leur faible rendement lumineux; mais elles présentent l'avantage d'un bon *Indice de Rendu des Couleurs (IRC)* par le fait que leur spectre d'émission est assez proche du spectre de réception de l'œil.

Leur durée de vie est de 1000 heures environ pour les ampoules standard, de 2000 à 4000 heures pour les ampoules à halogène. A noter que cette durée de vie est réduite de 50 % lorsque la tension d'alimentation est augmentée de 5 %.

Dans le cas de ces lampes, l'émission lumineuse se réalise par l'échauffement d'un filament de wolfram (tungstène) à une température située entre 2000-3000 K. Comme élément de circuit, la lampe à incandescence est un résisteur non-linéaire, inertielle, avec des caractéristiques dynamiques et des voltampères symétriques.

Le spectre des radiations est continu, et il s'élargit sur les domaines visible et infrarouge.

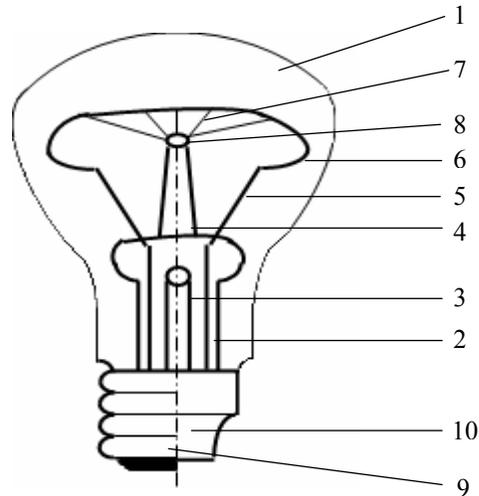


Fig. 2.11. Lampe électrique à incandescence

La lampe à incandescence normale, *fig. 2.11.*, est formée d'un ballon de verre 1 soudé prévu d'un petit pied qui consiste dans un corps 2, un tube d'évacuation 3, un petit bâton (4) et deux électrodes 5. La spirale de wolfram 6 est fixée aux bouts par les deux électrodes et elle est soutenue d'un ou de plusieurs crochets de molybdène 7, encastrés dans le disque, à l'aide d'un mastic spécial 8. À l'extrémité inférieure du ballon on fixe, le socle qui peut être de type Edison, à filet 9, ou de type baïonnette 10.

Le filament est fabriqué en wolfram, parce que celui-ci a une haute température de fusion (3665°K), une bonne résistance mécanique et une volatilisation réduite à haute température. Pour éviter l'oxydation du filament les ballons des lampes se vident.

Les lampes à puissances supérieures à 40 W ont le ballon rempli avec un gaz inerte (Ne, Ar, Kr, N) et le filament doublement spiralé pour la diminution du processus de volatilisation du wolfram, ce qui augmente la température de travail (3000 K) et implicitement, l'efficacité lumineuse. Il y a une grande variété de lampes à incandescence en fonction de la tension de travail, du flux lumineux, de la forme et des dimensions de la lampe et du type de socle.

Quelques critères de classification des lampes à incandescence:

a) la tension d'alimentation: lampes à basse tension (moins de 65 V); lampes à tensions normales (entre 100 et 260 V);

b) les caractéristiques de l'environnement: lampes à vide, à gaz inerte, à halogènes;

c) les caractéristiques du ballon: lampes à ballon clair, coloré, mate, opalisé, opaline, émaillé, métallisé.

Les lampes à incandescence usuelle sont construites jusqu'à 3000 W avec une efficacité lumineuse allant jusqu'à 23...24 lm/W, avec un rendement de la source d'environ 3,5% et une durée de fonctionnement normale D (le temps dont le flux lumineux ne diminue pas en dessous de 80% de la valeur initiale d'environ 1000 heures. La luminance de ces lampes est très grande, allant jusqu'à 10^7 cd/m², ce qui produit des phénomènes d'aveuglement.

Le fonctionnement des lampes à incandescence n'est pas affecté par la température de l'environnement, mais il est affecté par les variations de la tension d'alimentation. Les variations de la tension influencent considérablement la durée de fonctionnement, ainsi, une augmentation de la tension de 5% réduit à moitié la durée de fonctionnement, et une diminution de 5% de la tension double la durée de fonctionnement. Le flux lumineux, la puissance absorbée et l'efficacité lumineuse augmentent avec l'augmentation de la tension.

La résistance du filament croît avec l'augmentation de la température, mais il a une résistance faible au froid (de quelques ohms pour une lampe de 100 W). À la mise sous tension le filament est parcouru d'un surcourant. Si l'allumage se répète fréquemment, le filament peut se casser sous l'action des forces de nature électrodynamique entre les spires.

La couleur de la lumière dépend de la température du radiateur (le filament) dans des conditions nominales pauvres en radiations bleues et violettes, si on la compare avec la lumière solaire. La lumière émise par ces lampes conduit à une distinction erronée des couleurs des objets.

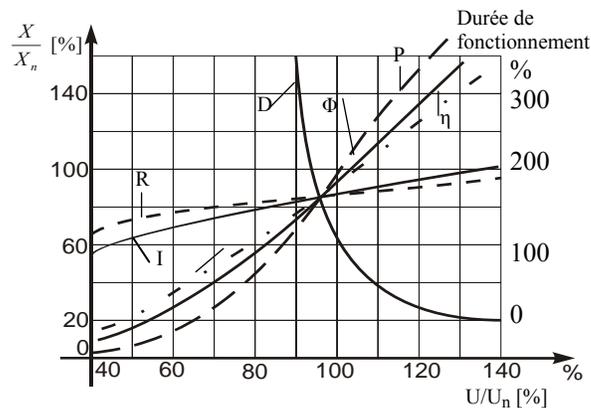


Fig. 2.12. La variation avec la tension d'alimentation des paramètres fonctionnels des lampes à incandescence

Dans la *fig.2.12.* est présentée la variation avec la tension d'alimentation des paramètres fonctionnels des lampes à incandescence.

Le flux lumineux, la puissance absorbé P et l'efficacité lumineuse augmente avec l'augmentation de la tension.

La durée de fonctionnement D , diminue avec l'augmentation de la tension d'alimentation (ainsi à $U = U_n + 0,05U_n$, $D = 1/2D_n$, et à $U = U_n - 0,05U_n$, $D = 2D_n$).

La résistance R croît avec l'augmentation de la température, mais a des valeurs réduites au froid. En conséquence, à la mise sous tension, le filament est parcouru d'un sur courant. Par des allumages répétés, le filament peut se casser sous l'action des forces électrodynamiques entre les spires.

Pour améliorer les caractéristiques de fonctionnement, dans le ballon de verre on introduit un halogène (l'iode et dans les derniers temps, le brome) obtenant une lampe à incandescence à halogènes.

Dans ce cas, un cycle régénérateur a lieu entre l'iode et le wolfram. Parmi les principales qualités de la lampe à halogènes sont: le flux lumineux pratiquement constant pendant le fonctionnement, les dimensions plus réduites, la grande durée de fonctionnement (environ 2000 heures), l'efficacité lumineuse plus grande de 30% (26 lm/W), la température de couleur de 2900 K qui permet une meilleure représentation des couleurs des objets illuminés, en comparaison avec des lampes normales. Les lampes à halogènes s'utilisent dans les installations d'illumination dans lesquelles on exige des flux lumineux importants produits par des sources de petites dimensions: l'éclairage des grands espaces, ouvertes (stades, aéroports, marchés) ou fermés (halles), l'illumination des monuments et dans la cinématographie, dans la technique photographique et dans les installations d'illumination des automobiles.

2.4.3. Lampes à décharge dans des gaz ou dans des vapeurs métalliques

La lumière est produite par une décharge électrique créée entre deux électrodes au sein d'un gaz dans une ampoule de quartz. Toutes ces lampes (fig. 2.13.) nécessitent, donc un ballast pour limiter le courant dans l'arc.



Fig. 2.13. Les lampes à décharge

Le spectre d'émission et l'IRC dépendent de la composition du gaz et s'améliorent avec l'augmentation de la pression. Plusieurs technologies ont donc été développées pour différentes applications.

Le bas rendement des lampes à incandescence, tout comme la couleur de la radiation, différente de celle de la lumière naturelle, a

déterminé la recherche d'une nouvelle source de lumière. Dans ce sens, on a obtenu les lampes à décharge qui se basent sur le phénomène de la luminescence du gaz ou des vapeurs métalliques. Ce phénomène consiste dans l'émission, par une substance, d'une radiation électromagnétique (photons) qui est due au retour des électrons des niveaux énergétiques supérieurs d'un atome excité au niveau inférieur originaire ou à d'autres niveaux intermédiaires. Ce passage d'un niveau énergétique supérieur à un niveau inférieur est accompagné de l'émission d'une radiation monochromatique ayant la fréquence:

$$f = \frac{E_s - E_i}{h} = \frac{\Delta E}{h} \quad (2.28.)$$

où: ΔE - est la différence entre l'énergie de niveau supérieur E_s et l'énergie de niveau inférieur E_i et h la constante de Planck ($6,6256 \cdot 10^{-34}$ Js).

L'excitation des atomes de la substance a lieu en principal par leur collision avec les électrons libres résultés de l'émission thermoélectrique des électrodes ou de l'ionisation de l'espace de décharge et qui se

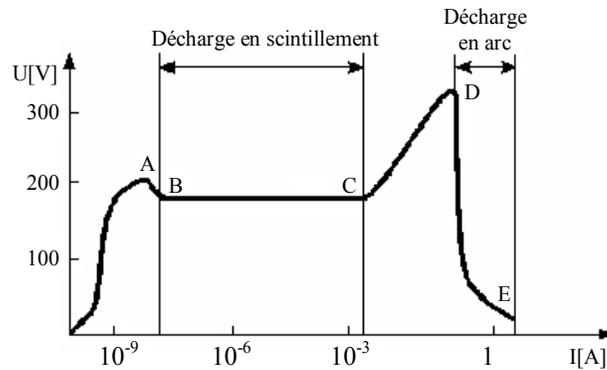


Fig. 2.14. Caractéristique tension-courant $U(I)$ du déchargement dans des gaz ou des vapeurs métalliques

trouvent accélérés sous l'influence du champ établi entre les électrodes.

La caractéristique tension courant $U(I)$ de la décharge dans des gaz ou des vapeurs métalliques (représentée dans la *figure 2.14.*), présente plusieurs zones, dont les plus importantes sont: - la zone OA appelée zone de décharge sombre; - la zone ABCD appelée zone de décharge lumineuse; et la zone DE ou zone de décharge en arc. Dans la zone OA, le gaz n'émet pas de radiations visibles et les porteurs de charge sont seulement les électrons libres du gaz.

La tension à laquelle on aboutit dans le point A s'appelle *tension d'allumage*. Les électrons libres accélérés par la tension d'allumage, accumulent suffisamment d'énergie cinétique pour provoquer l'excitation et l'ionisation des atomes du gaz. Par la collision, il apparaît de nouveaux électrons libres, et par la suite il se produit une ionisation en avalanche du gaz. La zone ABCD de la caractéristique U(I) est accompagnée de l'émission des radiations lumineuses, phénomène que l'on rencontre dans le cas des lampes à décharge en régime de lueur ou à électrodes froides. De l'anode jusqu'au cathode, l'émission des radiations lumineuses est localisée dans quatre zones lumineuses qui alternent avec des zones sombres: la lumière anodique, la colonne lumineuse positive, la lumière négative et la lumière cathodique. Le domaine DE, correspondant à la décharge en arc, est présent dans les lampes à les électrodes chaudes, dans les lampes à décharge dans des vapeurs métalliques et dans les lampes à arc.

Si les électrodes sont préchauffées de l'extérieur ou si le milieu du tube est fortement ionisé, alors les points A et D de la caractéristique U(I) peuvent se confondre.

Pour la limitation et la stabilisation de la décharge on utilise des éléments de circuit composés par résisteurs, capacités, bobines ou par une combinaison entre les trois, dans un milieu gazeux à vapeurs métalliques nommé ballast.

Pour le déclenchement des décharges électriques dans du gaz ou dans des vapeurs métalliques on a besoin d'un champ électrique puissant.

Dans ce but, on peut choisir plusieurs méthodes d'amorçage à savoir:

- l'utilisation des électrodes auxiliaires d'amorçage pour l'échauffement des électrodes;
- le pré échauffement des électrodes par des tensions augmentées en utilisant des dispositifs d'amorçage à starters;
- la disposition d'une bande métallique placée le long du tube à l'intérieur ou à l'extérieur, qui se trouve liée à une électrode, pour faire augmenter le champ;
- l'utilisation d'un transformateur élévateur à haute réactance de dispersion qui assure, quand il fonctionne à vide, une tension élevée pour l'amorçage de la décharge.

Dans ce qui suit nous allons présenter certaines lampes à décharge, les plus connues.

1. Lampes à décharge en régime de lueur à lumière cathodique

Dans le cas de ces lampes la couleur lumineuse positive est supprimée, la décharge a lieu dans un gaz inerte (argon, néon) à basse pression (5...25 mmHg).

Les électrodes sont en fer ou en aluminium et elles sont couvertes de matériaux thermo résistifs.

Les lampes fonctionnent aussi en courant alternatif (AC) et en courant continu (DC) à des tensions de 120 V ou 220 V, à puissance basse (1...3 W). La lumière peut être jaune ou rouge. Le temps de fonctionnement peut aller jusqu'à 2000 h. De telles lampes sont utilisées dans les installations de signalisation, de contrôle, de synchronisation,

etc. dans des systèmes d'affichage numérique,

2. Lampes à décharge en arc dans des vapeurs de mercure

La décharge est produite dans une ampoule en quartz ou en céramique à des pressions supérieures à 100 KPa. Ces lampes sont appelées «ballons fluorescents». Elles émettent une lumière de couleur blanche bleutée caractéristique.

Applications: parkings, hypermarchés, entrepôts.

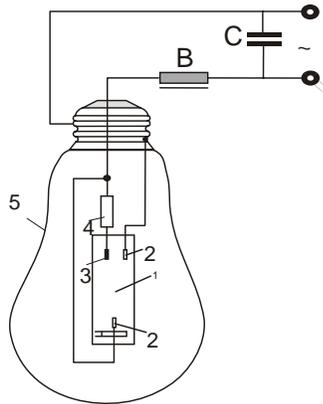


Fig. 2.15. Lampes à vapeurs de mercure à haute pression

Ces lampes peuvent être des lampes à vapeurs de mercure à basse ou à haute pression, à ballon clair, avec un spectre riche en radiations ultraviolettes

($\lambda = 180 \dots 400$ nm). Elles sont utilisées à la stérilisation de l'eau, de l'air et des aliments ainsi qu'à l'analyse (à base de lumière) des matériaux textiles et agricoles, etc. Il y a aussi des lampes à vapeurs de mercure de haute pression (fig. 2.15.) que l'on utilise pour l'éclairage extérieur.

Le spectre de lumière est riche en radiations bleu-vert mais pauvre en radiations rouges. Pour ajuster la composition spectrale, on utilise des luminophores qui se déposent à l'intérieur du ballon de glace.

La durée de vie en est de 1000-2000 h et l'efficacité lumineuse est comprise entre 35...65 lm/W pour les puissances unitaires de 80...2000 W. Les lampes à vapeurs de mercure de haute pression se composent d'un tube de quartz 1 prévu aux deux bouts de deux électrodes principales 2 et une électrode auxiliaire 3 connectée par une résistance 4 à l'électrode principale opposée. Le milieu du tube est en argon auquel on a ajouté quelques milligrammes de mercure.

L'ensemble entier est introduit dans un ballon de verre 5. Le verre de quartz, qui se dévitriifie se trouve sous l'action des graisses ou de la transpiration des mains. La lampe est alimentée au réseau par l'intermédiaire d'un ballast B (la bobine à noyau en fer et entrefer) et, éventuellement, d'un condensateur C pour compenser le facteur de puissance.

L'amorçage de la décharge se déroule en deux étapes:

- initialement, il apparaît un courant de décharge entre l'électrode auxiliaire et l'électrode principale, phénomène qui permet l'ionisation du gaz inerte, ainsi que la vaporisation du mercure;

- dans la phase suivante, à cause de l'ionisation intense, il apparaît un arc électrique entre les électrodes principales. La pression dans le tube croît et la décharge afférente à l'électrode auxiliaire s'éteint, à cause tant de la résistance de limitation que de la pression élevée. Le rallumage de la lampe est possible seulement après le refroidissement (5...10 min. en fonction de la puissance) et la réduction de la pression élevée.

3. Lampe à des décharges en arc, à vapeurs de sodium

La lampe à vapeurs de sodium de haute pression (*fig.2.16.*) destinée à l'éclairage public donne une lumière blanche dorée ($T_{cc} = 6000^{\circ}\text{K}$). Elle est constituée d'un tube d'alumine sintérisée translucide 1 (lucalox) résistant bien à l'action des vapeurs de sodium (pression partielle 100...200 mm Hg) qui se trouvent à une température élevée (environ 700°C) et qui a deux électrodes 2 aux extrémités. Dans le tube il y a du xénon qui favorise la décharge, ainsi que du mercure en excès (4 parties Hg à 1 partie Na), qui joue rôle de gaz tampon, faisant augmenter, de cette façon, la chute de tension sur l'arc. Le tube de décharge est protégé de l'action du milieu ambiant par un ballon de verre cylindrique vidé. L'amorçage se fait par l'intermédiaire du starter S qui assure des impulsions de tension élevée grâce à la décharge d'une capacitance C_1 sur le primaire d'un transformateur d'impulsions T_1 .

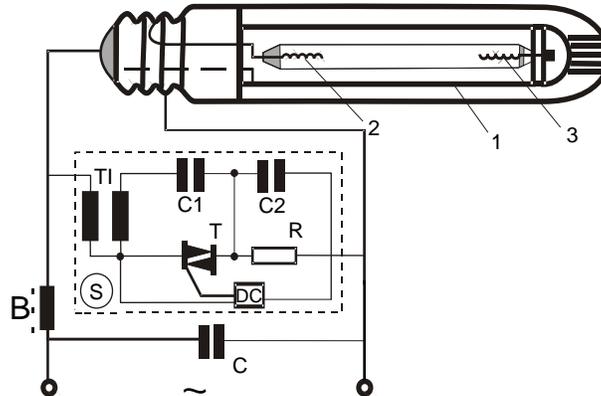


Fig. 2.16. Lampes à vapeurs de sodium à haute pression

Ces 1...2 impulsions par cycle apparaissent comme une conséquence de l'ouverture d'un élément bidirectionnel T (triac) commandé par un dispositif de commande DC. La stabilisation de la décharge est assurée par un ballast B.

La compensation du facteur de puissance se fait à l'aide d'une capacitance (C). Ces lampes sont confectionnées pour des puissances unitaires de 250 ou 400 W, avec des ballons clairs ou couverts de luminophore. L'efficacité lumineuse est élevée (72...100 lm/W) mais la durée de vie est à peu près de 10000 heures.

Ces lampes sont recommandées pour l'éclairage extérieur des espaces ouverts (places, triages et nœuds de chemins de fer, plates-formes industrielles avec dégagements de fumée ou poussière etc.) des artères de circulation et plus particulièrement dans les villes de montagne où il y a souvent du brouillard.

4. Lampes fluorescentes

Cette famille regroupe les tubes fluorescents et les lampes fluo-compactes. Leur technologie est généralement dite « à mercure basse pression ».

- **Les tubes fluorescents**

Ils sont apparus en 1938. Dans ces tubes, une décharge électrique provoque la collision d'électrons avec des ions de vapeur de mercure, d'où un rayonnement ultraviolet par excitation des atomes de mercure. Le matériau fluorescent, dont est recouvert l'intérieur des tubes, transforme alors ce rayonnement en lumière visible.

Cette technologie présente l'inconvénient d'un IRC moyen par le fait que le spectre d'émission est discontinu. Il existe toutefois aujourd'hui différentes familles de produits répondant aux multiples besoins d'IRC, par exemple les tubes dits « lumière du jour ».

Les tubes fluorescents dissipent moins de chaleur et ont une durée de vie plus longue que les lampes à incandescence, par contre ils nécessitent l'emploi de deux dispositifs : l'un pour l'allumage appelé « starter » et l'autre pour la limitation du courant de l'arc après allumage. Ce dernier appelé « ballast » est en général une inductance placée en série avec l'arc. Les contraintes liées à ce ballast sont détaillées dans la suite du document.

Les lampes fluorescentes sont des lampes à décharges et ballon fluorescent, où la lumière est émise en principal par une couche de substance fluorescente (luminophore déposé sur les murs intérieurs de la lampe) qui est excitée par la radiation ultraviolette de la décharge. Le luminophore absorbe les radiations ultraviolettes qui sont produites par la décharge dans des vapeurs de mercure en les transformant dans des radiations visibles par la modification de la longueur d'onde.

Les matériaux fluorescents, qui se déposent sur les murs intérieurs de la lampe, contiennent une substance de base (le luminophore proprement dit), élément activant aussi une substance auxiliaire. Comme luminophore, on utilise des silicates de zinc, de cadmium, de béryllium (qui présentent des fluorescences jaune-verdâtre, jaune-orange ou des

couleurs intermédiaires), des wolframs, de magnésium et de calcium (avec une fluorescence bleue), de borate de cadmium (avec une fluorescence rougeâtre), des halogéno-phosphats (phosphate de fluor, chlore et brome) qui sont des luminophores modernes, de grand rendement, qui ont une fluorescence blanche.

L'activateur est un métal lourd (éventuellement, un oxyde métallique). Si à la substance de base on en ajoute en petite quantité (0,1...1%), on fait accélérer la photoluminescence.

La substance auxiliaire est un sel (CaI_2 , NaCl) et elle a le rôle de favoriser la formation de microcristaux complexes de luminophore.

Ces matériaux sont bien mélangés, ils fondent aux températures élevées ($900\dots1500^\circ\text{C}$) et on obtient une poudre fluorescente dont les cristaux sont de l'ordre des microns ou des dizaines de microns. Cette substance a un bon coefficient d'absorption pour les radiations ayant une fréquence élevée comme les radiations ultraviolettes des lampes à mercure.

L'énergie des radiations absorbée excite les atomes de la substance fluorescente, dont les électrons sautent sur des orbites énergétiques supérieurs.

Spécifique pour une telle substance est le fait que le retour des électrons sur les niveaux énergétiques inférieures se fait par étapes et, par conséquent, les radiations électromagnétiques qui accompagnent ces sauts ont des fréquences plus basses que celles des ondes absorbées, donc elles sont placées dans le domaine visible.

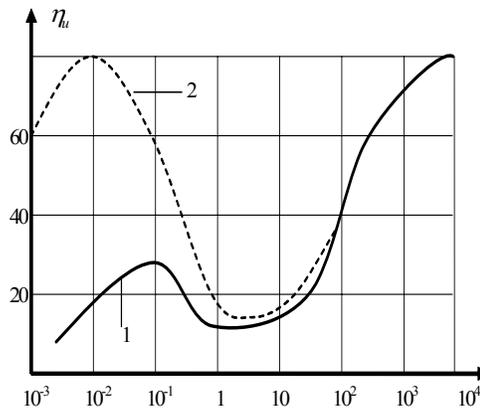


Fig. 2.17. Efficacité lumineuse en fonction de la pression pour les lampes à vapeurs de mercure: 1) à ballon clair en verre de quartz; 2) à ballon fluorescent

Par conséquent, les substances fluorescentes se comportent comme des éléments modificateurs de la fréquence des radiations électromagnétiques.

L'action des substances fluorescentes contribue à l'amélioration de la composition spectrale de la lumière radiée, à la modification de la couleur, et aussi à l'agrandissement de l'efficacité lumineuse des lampes dans le domaine à basses pressions (*fig. 2.17.*).

Les lampes fluorescentes peuvent être à basse pression, nommées aussi tubes fluorescents, et à haute pression ou lampes à ballon fluorescent.

A. Lampes fluorescentes à vapeurs de mercure et à basse pression

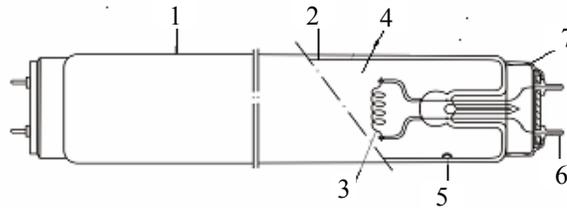


Fig. 2.18. Exemple de lampe fluorescente vapeurs de mercure à basse pression

Construction et fonctionnement:

1. tube de verre;
2. poudre fluorescente;
3. électrode;
4. gaz inerte et vapeurs de mercure;
5. mercure;
6. fiche de contact;
7. socle.

Les tubes fluorescents (*fig. 2.18.*) sont généralement fabriqués sous la forme d'un cylindre droit en verre (1), ayant la longueur de $L = 150-1500$ mm et le diamètre de 10-40 mm; sur la paroi intérieure du tube, on dispose la substance fluorescente 2; aux extrémités on trouve des électrodes de Wolfram bi spiralées 3 couvertes par matériaux thermorésistifs. Le milieu de décharge 4 est un gaz inerte (argon) à basse pression et quelques milligrammes de Hg 5 dont la pression partielle, sous forme de vapeurs, est environ 0,1 mm Hg.

Pour assurer la volatilisation du mercure, pour réaliser la tension d'allumage et stabiliser la décharge pendant le fonctionnement, on utilise des appareils de starting-réglage, les plus usuels étant ceux du type starter et ballast.

Le starter est construit sous diverses variantes, la plus répandue (*fig. 2.19.*) étant la lampe lumineuse à scintillements.

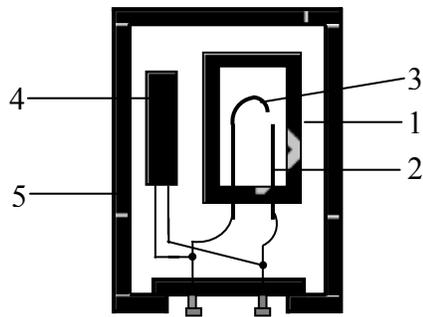


Fig. 2.19. Exemple de starter

Un tel starter est composé d'un ballon de verre (1), chargé d'argon ou de néon à basse pression, à l'intérieur duquel on trouve deux électrodes, l'une en fil de cuivre (2) et la seconde en bimétal (3). En parallèle avec la lampe, on connecte une capacité (4) destiné à réduire les perturbations radiophoniques. Pour un bon fonctionnement des montages aux starters, leur tension

de travail (U_{st}) doit être plus basse que celle du réseau (U_r), mais plus grande que la tension du régime (U_{ue}) de la lampe.

$$U_e < U_{st} < U_r \quad (2.29.)$$

Le ballast ou l'appareil de préconnexion est varié comme dimension et celle-ci dépend de la nature de la tension d'alimentation, de la poudre de la lampe et du montage choisi. Pour les lampes fluorescentes, à courant alternatif, le ballast est une bobine avec un noyau de fer à grand flux de dispersion qui a une caractéristique voltampère très basse, nécessaire pour maintenir un point stable de fonctionnement sur la caractéristique voltampère de la lampe.

Connectant au réseau (fig. 2.20.) un montage à éclairage avec starter, la tension d'alimentation (U_r) s'applique par le ballast et les filaments des électrodes et des starters 5.

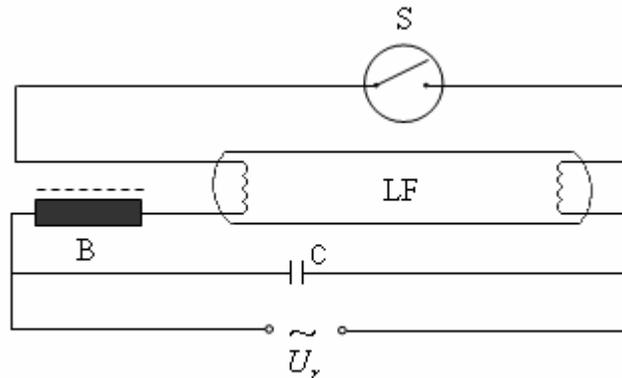


Fig. 2.20. Montage à éclairage avec starter

Dans le starter, il est amorcé une décharge lumineuse qui réchauffe le gaz de l'intérieur et dilate le bimétal qui finalement va fermer

le contact du starter. Par l'inclusion du contact du starter, le contact augmentera le courant minimal deux fois environ et chauffera intensément (900...1100°C) les filaments de la lampe (LF). Le gaz dans la lampe est ionisé, le mercure se vaporise partiellement et la lampe fluorescente est prête pour l'amorçage. En même temps, le gaz dans le starter est refroidi et le bimétal revient à la position normale en interrompant brusquement le circuit. La variation du circuit à travers la bobine conduit à l'apparition d'une tension électromotrice ($e = - d\Phi/dt$) d'auto-induction de valeur élevée (1...1,2 kV) qui, appliquée aux électrodes de la lampe, favorise l'initialisation de la décharge dans l'arc et la fermeture de l'amorçage de la lampe. Dans le cas du non amorçage de la lampe au premier essai, le phénomène se répète jusqu'à l'amorçage de la lampe. Le condensateur C est utilisé pour améliorer le facteur de puissance.

Le fonctionnement correct de la lampe à starter est dépendant de la température du milieu ambiant. C'est pour cette raison que les lampes à starter sont utilisées dans les installations d'éclairage intérieur.

Les lampes fluorescentes à vapeurs de mercure à basse pression, produites en Roumanie sont réalisées en deux variantes:

- lampes à allumage par starter, pour fonctionner à l'intérieur aux températures supérieures ou égales à 4...5°C (Symbole LFA) et aux températures inférieures (symbole LFB);

- lampes à allumage par starter pour l'éclairage extérieur, aux températures jusqu'à -15 °C (symbole LFR).

Afin d'améliorer l'allumage, les lampes LFB et LFR sont munies à l'extérieur d'une bande métallisée reliée à l'un des électrodes de la lampe, par une résistance forte (en vue d'augmenter et d'uniformiser les champs électriques le long de la lampe).

Ces sources d'éclairage sont caractérisées par des puissances unitaires de 8...65 W, une efficacité lumineuse de 500...700 lm/V et une durée de fonctionnement de 2000.....3000 h, à condition que l'on fasse un seul allumage pendant 2 h. L'usure des électrodes augmente avec la fréquence des alimentations au réseau et la durée de vie en diminue considérablement. L'augmentation de la puissance du tube détermine un flux lumineux plus intense seulement si on assure les conditions de refroidissement, en vue d'obtenir les températures et les pressions optimales des vapeurs de mercure de 40° C, respectivement 0,01...1 mmHg, et si elles sont assurées sans sur dimensionner la lampe.

Parmi les procédés destinés à entretenir la pression à une valeur optimale on peut mentionner:

- le refroidissement forcé, à l'air, du tube en verre, à l'aide d'un ventilateur;

- la création d'une zone froide à l'intérieur de la lampe, par l'écranage thermique du support du filament ou par une prolongation du refroidissement;

- l'augmentation de la surface extérieure de refroidissement du tube, par des cannelures.

Les tubes fluorescents à grande puissance, le rapport puissance/longueur du tubes est de 80...100 W/m, comparée par 30...40 W/m pour les tubes fluorescents normaux.

B. Lampes fluorescentes spéciales

a) *Les lampes fluorescentes spéciales à réflecteur* contiennent entre la couche de luminophore et la paroi en verre, une couche de substance réfléchissante qui a le rôle de guider la lumière. La lumière peut être émise par un orifice. Ces lampes sont recommandées pour l'éclairage des vitrines.

b) *Les lampes fluorescentes à courant continu* ont l'avantage d'un meilleur rendement et d'un flux lumineux constant (absence de vacillements). Les lampes fluorescentes normales peuvent fonctionner aussi à courant continu si on prend des mesures pour stabiliser le point de fonctionnement.

c) *Les lampes fluorescentes alimentées en courant alternatif à haute fréquence* ont l'avantage qu'elles sont rallumées instantanément après chaque passage par la valeur zéro de la tension et qu'elles atténuent les variations du flux lumineux (les vacillements deviennent imperceptibles); l'efficacité lumineuse hausse de 5...10% en fonction de la fréquence et du type de lampe; la tension d'allumage est plus faible et donc la tension d'alimentation est plus proche de la tension de fonctionnement; le facteur de puissance est plus élevé et la durée de fonctionnement plus grande. Les fréquences optimales du point de vue économique sont de 400...1000 Hz.

Les *désavantages* en sont: le coût élevé et l'interférence avec les réseaux de télécommunication. Elles sont utilisées à l'éclairage des trains, des avions, etc.

d) *Les lampes fluo compactes*. Le principe de fonctionnement est identique à celui d'un tube fluorescent. Les fonctions de starter et de ballast sont assurées par un circuit électronique (intégré à la lampe) qui permet l'emploi de tubes de dimensions réduites et repliés sur eux-mêmes. Les lampes fluo compactes ont été développées pour remplacer les lampes à incandescence: elles apportent une économie d'énergie significative (par exemple 15 W contre 75 W pour une même luminosité) et une augmentation de la durée de vie (8000 h en moyenne et jusqu'à 20 000 h pour certaines).

Les lampes fluo compactes (*fig. 2.21.*) standard présentent un léger retard à l'allumage et leur durée de vie est réduite selon le nombre d'allumages. Ainsi, pour une fréquence d'allumage multipliée par 3, la durée de vie de la lampe est réduite de moitié.

Les lampes dites «à induction» ou «sans électrodes» ont un démarrage instantané et le nombre de commutations n'affecte pas leur durée de vie. Leur principe est une ionisation du gaz présent dans le tube par un champ électromagnétique à très haute fréquence (jusqu'à 1 GHz). Leur durée de vie peut atteindre 100000 h.

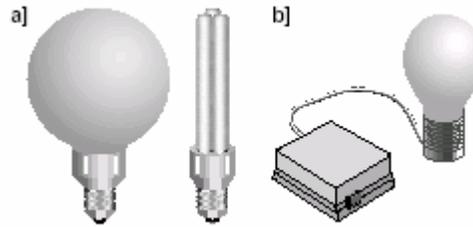


Fig. 2.21. Les lampes fluo-compactes:
a) standard; b) à induction

Malgré a leur encombrement, la faible consommation d'énergie électrique et le flux lumineux important de ces sources de lumière les destinent principalement à l'éclairage d'usines, de bureaux, d'écoles, d'hôpitaux aussi l'éclairage public urbain et routier.

C. Lampes fluorescentes à vapeurs de mercure à haute pression

La technologie de fabrication est pareille à celle des lampes à vapeurs de mercure à haute pression. Mais ces lampes ne peuvent avoir que deux électrodes auxiliaires et les parois intérieures de l'ampoule sont couverts d'un luminophore qui, en fonction de sa composition, donne la couleur de la lumière émise. L'amorçage de la décharge et le fonctionnement sont similaires pour les lampes à vapeurs de mercure à haute pression. Ces lampes émettent un flux lumineux constant jusqu'à des températures de -20°C de l'environnement.

L'efficacité lumineuse varie entre 30 et 50 lm/W. En Roumanie, on réalise des lampes (LVF) à puissance unitaire de 80, 125, 250 et respectivement 400 W. Elles sont utilisées pour l'éclairage des halles industrielles, des rues, des terrains de sport, etc., qui nécessitent des flux lumineux intenses, relativement concentrés et où des conditions spéciales en ce qui concerne les couleurs ne sont pas imposées.

Montages avec des lampes fluorescentes à vapeurs de mercure à basse pression

Les lampes fluorescentes alimentées avec des tensions de fréquence industrielle sont des éléments non linéaires de circuit et elles se comportent comme des résistances non linéaires, non initiales, ayant la caractéristique volt ampère symétrique à hystérésis (*fig. 2.22.a*). C'est pour cela que les formes d'onde de la tension et du courant sont déformées (*fig. 2.22.b* - montage à ballast inductif).

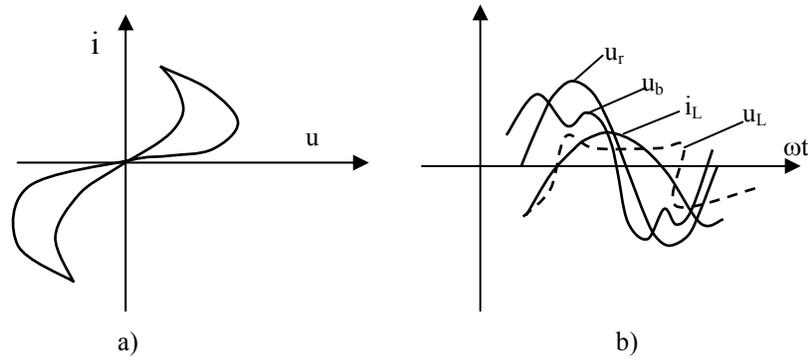


Fig. 2.22. Caractéristiques: a) voltampère symétrique
b) montage à ballast inductif

Le facteur de puissance en régime sinusoïdal permanent a l'expression:

$$k = \frac{\frac{1}{\pi} \int_0^{\pi} u_e i_e d(\omega t)}{u_e I_e} \quad (2.30.)$$

Les montages avec des lampes fluorescentes doivent accomplir les conditions qualitatives suivantes:

- limiter les vacillations du flux lumineux pour éviter l'effet stroboscopique;
- assurer un facteur de puissance élevé;
- diminuer le pourcentage d'harmoniques dans la courbe du courant;
- assurer une impédance élevée en audiofréquence, pour ne pas perturber les systèmes de télécommunications voisins.

Les principaux montages (*fig. 2.23.*) qui s'imposent sont:

- le montage à ballast inductif (a) obtenu par la liaison en série entre la lampe et une bobine à noyau de fer, à grand flux de dispersion; le facteur de puissance est $k_m = 0,5$ inductif;
- le montage à ballast capacitif (b) où l'élément de limitation est obtenu par la connexion en série d'un ballast inductif normal (B) et d'une capacité (C), avec $k_m = 0,5$ capacitif;
- le montage duo (c) obtenu par la connexion parallèle, dans le même corps, d'un montage inductif ayant un capacitif ($k_m = 0,95$), dans ce cas, l'effet stroboscopique est pratiquement éliminé à cause du déphasage électriques entre les deux flux d'environ 120° .

Une autre solution pour éliminer l'effet stroboscopique consiste en l'utilisation du déphasage existant entre les tensions de phase, par la

connexion successive aux trois phases, des lampes en montages inductif ou capacitif.

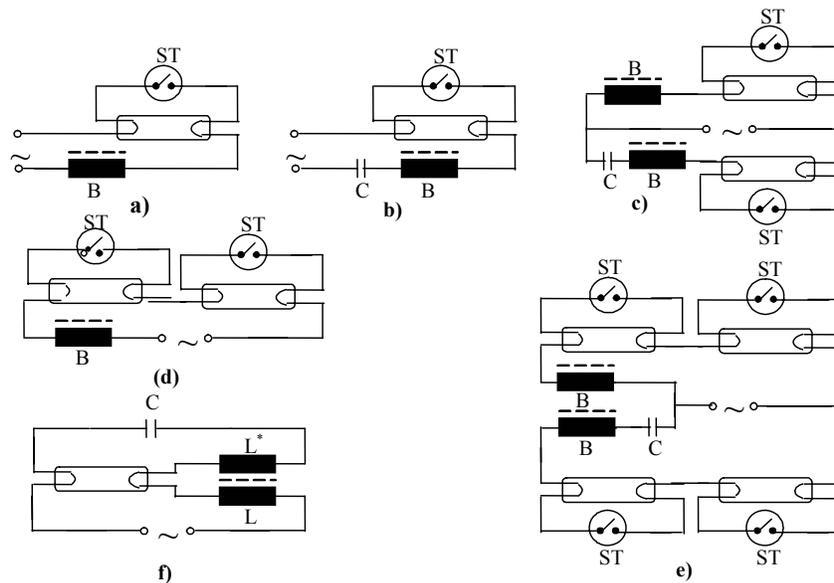


Fig. 2.23. Les principaux types de montages pour éclairage

- le montage en tandem (d) qui permet l'élimination en série de deux lampes de 20 W, en utilisant un ballast pour les lampes de 40 W ($k_m = 0,5$). Ce type est utilisé pour les lampes à deux tubes de 20 W.

- le montage en double tandem (e) obtenu par la connexion en parallèle sur le même corps de deux montages en tandem l'un à ballast inductif et l'autre à ballast capacitif. ($k_m = 0,95$);

- le montage pour allumage rapide, sans starter (f) à circuit résonant (L^* , C) dont la fréquence de résonance est un peu inférieure à 50 Hz.

Au moment de la connexion au réseau du montage, dans le circuit en série (L, filament, L^* , C, filament), il apparaît une surtension aux bornes du condensateur, qui assure l'allumage.

Les bobines L et L^* sont reliées en opposition, pour améliorer le facteur de puissance du montage ($k_m = 0,9 \dots 0,95$).

Pour ces montages sont recommandées des lampes de type LPR, afin d'éviter l'usure intense des électrodes (les anneaux anodiques subissent la charge électrique lors de l'alternance où l'électrode a le rôle d'anode).

2.4.4. Les lampes à usages spéciaux

Les types de lampes sont, à l'exception des deux dernières, d'un emploi unitaire. Dans tous les cas, leur alimentation électrique doit être

étudiée selon les informations techniques spécifiques délivrées par leurs constructeurs.

- **Lampes à incandescence spéciales pour les feux tricolores**

Leur durée de vie est augmentée et leur montage particulier leur permet de résister aux vibrations.

- **Lampes spéciales à vapeur de mercure**

Elles émettent un faisceau homogène de lumière blanc-bleu destinée à la reprographie, la sérigraphie ou l'éclairage à effets en joaillerie.

- **Lampes émettant une lumière blanche avec un rayonnement autour de 655nm**

Elles sont destinées à accélérer la photosynthèse des plantes. Les applications sont, par exemple, les magasins de fleuristes, les halls d'entrée, les serres industrielles.

- **Lampes germicides**

Elles émettent de l'ultraviolet dans la longueur d'onde 253,7nm. Les applications sont la purification, la stérilisation de l'air, de l'eau et des instruments dans l'industrie pharmaceutique, les hôpitaux, les stations de traitement ou les laboratoires. Ces lampes émettent un rayonnement dangereux pour les yeux et la peau.

- **Lampes génératrices d'UVA**

Elles sont utilisées pour le brunissement de la peau et la photothérapie.

- **Lampes à lumière noire**

Elles génèrent une émission d'ultraviolets dans les grandes longueurs d'ondes ayant pour effet d'activer les pigments fluorescents. Les applications sont la recherche de défauts en industrie ou de faux (billets, tableaux...) ainsi que les spectacles.

- **Lampes aux halogènes spéciales**

Utilisées pour la projection d'images (visionneuse, rétro-projection, lecture de microfiche), leur rayonnement calorifique vers le film est réduit de 60 % par rapport à une lampe classique.

- **Lampes adaptées à la projection pour les studios et théâtres**

Leur température de couleur est de 3200° K. Leurs puissances peuvent atteindre 5000W. Ces lampes ont une meilleure efficacité lumineuse et des flux lumineux plus importants mais une durée de vie réduite (12 h, 100 h, 500 h).

- **Lampes chauffantes**

Elles génèrent un faisceau d'énergie calorifique en infrarouge court. Certains types sont destinés à l'élevage, d'autres au séchage et à la cuisson de peintures, au chauffage dans les processus industriels ou au chauffage de zone par rayonnement.

2.5. Corps d'éclairage

2.5.1. Généralités

L'élément de base d'une installation électrique est le corps d'éclairage (c.d.e.) défini comme l'ensemble constitué d'une source de lumière d'un système de distribution et de répartition spatiale du flux lumineux (réflecteur) et d'un système de résistance mécanique (armature métallique) où sont montés les accessoires de la lampe (socles, douilles, starters, ballasts, conducteurs d'alimentation). Une des fonctions de base d'un c.d.e. est la redistribution du flux lumineux, émis par la source de lumière, afin d'obtenir sur les surfaces utiles, les niveaux d'éclairage prescrits. La distribution du flux lumineux peut être uniforme dans un angle solide ou concentré du c.d.e. Le c.d.e. protège l'œil en cas d'intensité plus forte de la source de lumière ce qui se réalise à l'aide du réflecteur qui peut jouer le rôle de filtre.

Les corps d'éclairage d'utilisation générale doivent satisfaire quelques conditions comme:

- posséder une courbe photométrique propice au système d'éclairage choisi;
- présenter un rendement élevé et un coefficient de dépréciation acceptable, ce qui conduit à un entretien simple et facile;
- avoir une luminance acceptable et créer des ombres le plus estompées que possible;
- être esthétique, pendant et après le fonctionnement;
- accomplir toutes les conditions de protection imposées par le milieu où ils sont installés.

2.5.2. Caractéristiques photométriques

Les principales caractéristiques photométriques des c.d.e sont:

- la courbe photométrique est la représentation graphique en coordonnées polaires de la dépendance $I(\theta)$ c'est-à-dire de l'intensité lumineuse du c.d.e. en fonction de l'angle de hauteur θ , pour la lampe conventionnelle de 1000 lm. Si la source de lumière a un autre flux (Φ_{is}), alors les valeurs des intensités lumineuses seront corrigées par le coefficient $\Phi_{is}/1000$ conformément à la relation:

$$I'(\theta) = I(\theta) \frac{\Phi_{is}}{1000} \quad (2.31.)$$

où:

- $I'(\theta)$ est la valeur réelle de l'intensité lumineuse pour un flux Φ_{is} de la source de lumière;
- les courbes iso lux spatiales et relatives;

- le rendement du c.d.e. (η_c) est défini comme le rapport entre le flux lumineux émis (Φ_c) et le flux de la source (Φ_{is}):

$$\eta_c = \frac{\phi_c}{\phi_{is}} \quad (2.32.)$$

- l'angle de protection δ caractérise le c.d.e. du point de vue de l'effet d'aveuglement qu'il présente étant mesuré entre les plans de l'orifice du c.d.e. et la droite qui relie son extrémité par l'extrémité opposée de la source de lumière (*fig. 2.24.*), où les dimensions géométriques (h , r , l) ont les significations de la figure.

$$\delta = \arctg \frac{h}{R+r} \quad (2.33.)$$

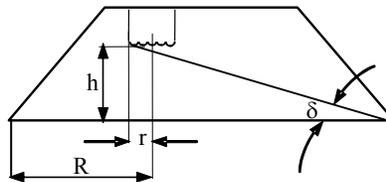


Fig. 2.24. L'effet d'aveuglement

Plus l'angle de protection est grand, plus les c.d.e. peuvent être montés près du plan utile en raison du fait que la région de protection est plus large.

Les c.d.e. à angles de protection inférieurs à 30° n'assurent pas une protection efficace de l'œil, par rapport à la luminance de la source de lumière.

Les angles de protection des c.d.e. sont réalisés par des abat-jour opaques ou en verre dépoli. En fonction de l'angle de protection, les normes concernant l'éclairage artificiel donnent les hauteurs minimales pour les c.d.e., à partir de la nécessité de limiter l'effet d'aveuglement.

- la répartition zonale du flux lumineux (*fig. 2.25.*) indique le flux lumineux émis par la source de lumière à l'intérieur des angles solides dont les axes coïncident avec celui du c.d.e.

- le coefficient d'amplification (m) est le rapport entre l'intensité lumineuse maximale (I_{\max}) et l'intensité lumineuse moyenne sphérique (I_{ms}) du c.d.e.

$$m = \frac{I_{\max}}{I_{ms}} = \frac{4\pi I_{\max}}{\Phi_c} \quad (2.34.)$$

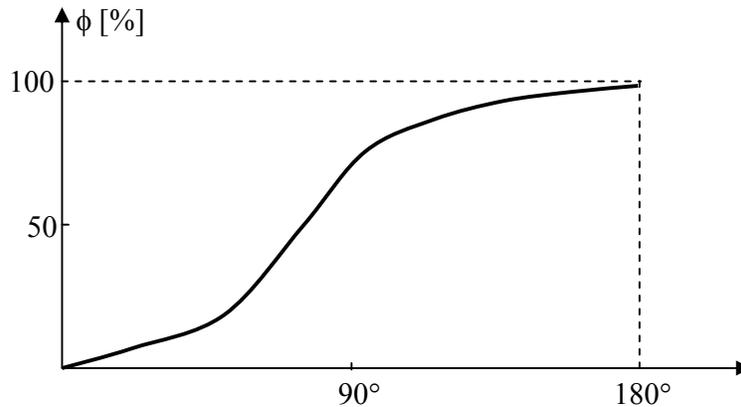


Fig. 2.25. La répartition zonale du flux lumineux

$$\Delta = \frac{\varphi_{ce}}{\varphi_{ci}} < 1 \quad (2.35.)$$

Le coefficient de maintien est < 1 à cause de la source de lumière.

En pratique, on utilise souvent l'inverse de cette grandeur désigné par le facteur de dépréciation.

$$k = 1/\Delta > 1 \quad (2.36.)$$

- le degré de protection indique la protection contre les agents extérieurs (pluie, poussières, vapeurs corrosifs, danger d'explosion) et contre les parties qui se trouvent sous tension.

2.5.3. Classification des corps d'éclairage (c.d.e.)

Les c.d.e. peuvent être classifiés par rapport à plusieurs critères dont les plus importants sont: le type de la source de lumière, la distribution du flux lumineux, le type de l'installation d'éclairage, etc.

a) D'après les sources de lumière on a:

- des c.d.e. pour lampes à incandescence;
- des c.d.e. pour lampes fluorescentes.

b) D'après la forme du corps photométrique, il y a:

- des c.d.e. symétriques, caractérisés par une seule courbe photométrique où l'on distingue des corps photométriques à deux plans de symétrie, caractérisés par deux courbes photométriques et des corps photométriques asymétriques;

- des c.d.e. asymétriques où l'on distingue des c.d.e. à deux courbes photométriques;

- des c.d.e. asymétriques dont la caractérisation est faite par des courbes isocandé la (courbes d'intensité lumineuse égale).

c) D'après la distribution du flux lumineux (Φ_c) du corps, dans les deux hémisphères supérieur (Φ_Δ) et inférieur (Φ_∇), obtenus par la section du corps photométrique à l'aide d'un plan horizontal qui passe par le milieu du c.d.e., on a un éclairage:

- direct où $\Phi_\nabla \geq 0,9 \Phi_c$;
- semi direct où $\Phi_\nabla = (0,6 \dots 0,9) \Phi_c$;
- mixte où $\Phi_\nabla = (0,4 \dots 0,6) \Phi_c$;
- semi indirect où $\Phi_\Delta = (0,6 \dots 0,9) \Phi_c$;
- indirect où $\Phi_\Delta \geq 0,9 \Phi_c$.

Dans la *figure 2.26.* sont données les courbes photométriques correspondantes:

d) D'après l'angle solide où le flux lumineux est distribué, l'éclairage peut être:

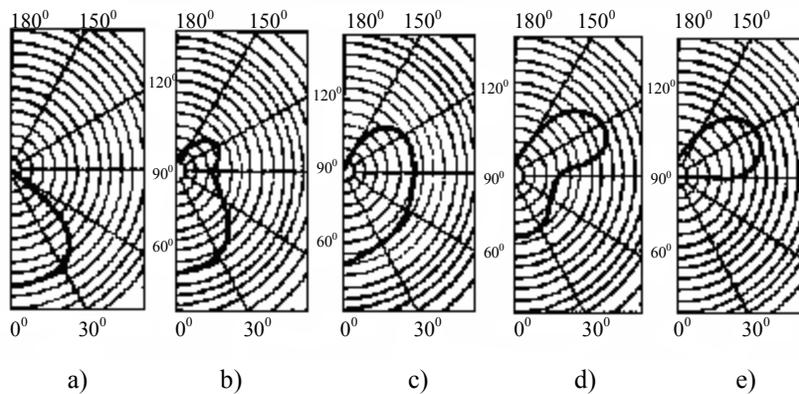


Fig. 2.26. Courbes photométriques de certains c.d.e. symétriques qui réalisent des distributions du flux lumineux dans les hémisphères supérieurs et inférieurs: a) direct, b) semi-direct, c) mixte, d) semi-indirect, e) indirect.

- à répartition diffuse, dont la courbe photométrique est presque un cercle (*fig. 2.27.a*);

- à répartition large (*fig. 2.27.b*), qui émet plus 50% du flux lumineux Φ_c à l'intérieur d'un cône de révolution de l'axe dont l'angle du sommet est de $2 \times 50^\circ$;

- à répartition moyenne (fig. 2.27.c), qui émet au moins 50% du flux lumineux Φ_c à l'intérieur d'un cône dont l'angle du sommet est de $2 \times 50^\circ$;
- à répartition concentrée (fig. 2.27.d) qui émet plus de 50% du flux lumineux Φ_c à l'intérieur d'un cône dont l'angle du sommet est de $2 \times 40^\circ$.

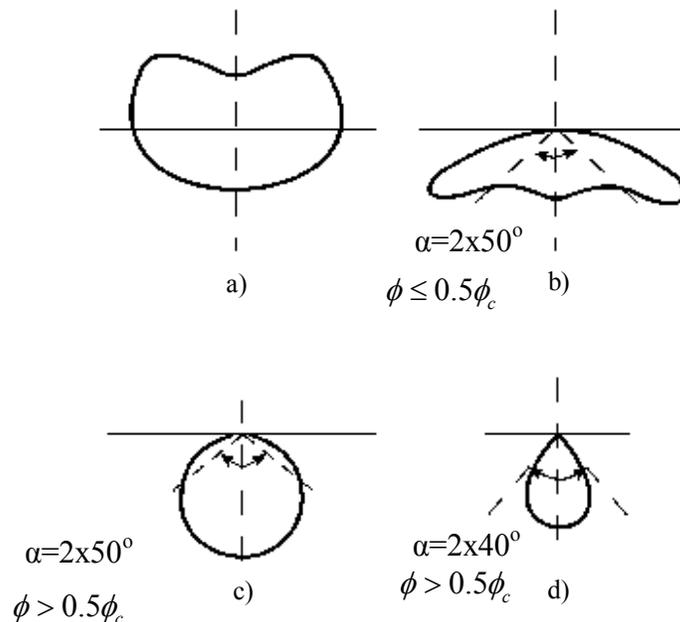


Fig. 2.27. Courbes photométriques pour des c.d.e. avec répartition: diffusé; large; moyenne; concentré.

- e)** D'après le type de l'installation d'éclairage les c.d.e. sont:
- pour l'éclairage intérieur;
 - pour l'éclairage extérieur;
 - pour l'éclairage étanche (mines, milieux explosifs, corrosifs, humides, etc.);
 - pour des utilisations spéciales (salles de spectacles, vitrines, éclairages sans ombres, etc.)
- f)** D'après les particularités d'exécution et de fixation, il y a:
- des appliques;
 - des plafonniers;
 - des pendules ou corps suspendus fixés à l'extrémité d'un cordon, d'une chaîne ou d'une tube;
 - des c.d.e. local (à articulation, à harmonique, etc.) montés sur des outillages, des planchettes, des tables, etc.; des c.d.e. portables

destinés à être portés ou transportés à la main, qui sont reliés au réseau $\phi > 0.5\phi_c$ d'alimentation par un cordon flexible.

2.6. La projection des installations d'éclairage intérieur

2.6.1. L'illumination des habitations

L'illumination des habitations représente une application très importante du technique d'éclairage électrique parce que elle est essentielle dans la réalisation d'une ambiance confortable et décoratif. Pour la réalisation d'une installation d'illumination intérieure est nécessaire de respecter les principes suivants:

- Le niveau d'illumination réalise, doit être correspondent pour tous les activités qui se déroulaient dans l'habitation respective. Les installations d'illumination intérieure doit assure les plus diverses exigences sans provoquer des efforts visuels et bien sure la fatigue.

- La répartition uniforme de la lumière dans les espaces de travail représente une exigence essentielle pour l'illumination des habitations. La protection contre l'effet de cécité, l'évitement des ombres prononcées, la couleur de lumière sont aussi des problèmes importantes dans la réalisation d'illumination des habitations.

- Les dimensions, les formes, les couleurs, le nombre des cors d'illumination ont une grande importance.

- L'illumination doit être économique par la choix correcte des sources et des corps d'illumination.

Normalement, l'illumination des habitations se réalise par les sources incandescences, parce qu'elles ont un spectre plus chaud et parce qu'il y a plusieurs corps d'illumination où les sources peut être montés.

Les sources fluorescentes ont une utilisation limité parce que leurs dimensions sont petites et elles sont utilises seulement pour les escaliers, salles de bains, vestibules.

La chambre de jour est la pièce la plus importante d'une habitation, parce que elle est utilisée pour diverses activités par tous les membres de famille. Dans cette chambre la réalisation du réseau d'illumination est la plus difficile parce que ici l'effort visuel est maxime, la durée d'utilisation de l'éclairage est grande.

Dans ces conditions, il y a deux possibilités:

- une illumination générale réalisée par un lustre central, complétée par une illumination locale, assurée des corps d'illumination adéquats raccordes aux prises de courant;

- une illumination générale indirecte avec les sources dans le centre du plafond, complétée par une illumination locale qui doit assure les

niveaux d'éclairage nécessaires pour l'illumination de la table, des fauteuils, de la bibliothèque, etc.

Ces possibilités ont l'avantage de assurer une illumination générale uniforme, complétée, dans les points où se déroulent diverses activités, par les corps d'illumination locale, peut être utilisées pour diverses besoins.

La hauteur de suspendue des corps d'éclairage se choisi en fonction de la hauteur libre de la chambre, en fonction du type du luminaire et en fonction du type d'activité réalisée.

En général on utilise des sources incandescentes mais on peut utilise aussi des lampes fluorescentes à couleur blanche chaude supérieur avec la température à couleur proche de la couleur des sources incandescentes et qui se peut installent dessus les fenêtres; en forme de poutres lumineuses, des piliers lumineux.

L'installation d'éclairage générale doit être réalisée de sorte que la lumière peut être dirigée identique que la lumière naturelle.

Pour réduire la monotonie d'éclairage on peut utilise des sources d'illumination montées dans luminaires qui peut changent leur direction, pour illuminer les œuvres d'art.

Dans **la chambre à coucher**, le niveau d'illumination doit être modère. Dans ce cas il y a deux solutions:

- une illumination générale indirecte réalisée par un lustre trouve dans le centre du plafond
- une illumination semi direct assurée par les ampoules fixées sur les murs.

En présent, dans les chambres à coucher on utilise l'éclairage incandescent, mais on peut utilise aussi l'éclairage fluorescent si il est associe avec aménagements ou luminaires spéciales.

La cuisine et la salle de bains sont deux pièces essentielles d'une habitation: en constante évolution et au-delà de leur aspect fonctionnel, elles deviennent des espaces conviviaux, de vraies pièces à vivre où la lumière est un élément indispensable de confort, de mise en valeur mais aussi de sécurité.

Dans la cuisine on fait la cuisine et on prendre le repas ce pour quoi le niveau d'illumination est moins grand. En général on utilise dans la cuisine sur le plafond, une applique ou un luminaire avec une tige. Outre d'illumination général on peut utilise des corps d'éclairage pour l'illumination de la table, du fourneau à gaz, etc. Dans le cas du mobilier avec placards on peut monte des appliques sous ces corps, bien sure avec des mesures de protection contre l'effet de cécité et le péril électrocution. En présent, dans les cuisines on utilise l'illumination incandescent, mais on peut utilise aussi, l'illumination fluorescent.

Généralement situé au plafond, il peut être réalisé soit en incandescence soit en fluorescence, dans les deux cas l'idéal est d'utiliser un diffuseur répartissant la lumière non seulement vers les plans de travail mais également vers les murs et le plafond. Si la pièce est longue et étroite, il est nécessaire d'avoir plusieurs points lumineux dans l'axe. On peut également disposer des diffuseurs d'angle au-dessus des fenêtres.

La cuisine est souvent éclairée pendant une durée assez longue, aussi l'utilisation de lampes fluorescentes (tubes ou lampes compactes) permet des économies d'énergie.

L'accès aux lampes et aux luminaires doit être facilité pour un entretien régulier (dépôts de graisse, vapeurs...).

Il faut éviter d'utiliser des luminaires portables qui surchargent les prises déjà occupées par les appareils électroménagers.

En matière de couleur tout est permis, mais l'art de la cuisine et le respect des règles d'hygiène nécessitent un bon rendu des teintes naturelles d'où le choix de lampes ayant un bon rendu des couleurs.

La solution la plus courante consiste à disposer des lampes linéaires (type tube fluorescent) derrière un bandeau mural, ou à les dissimuler sous un meuble haut.

Des spots peuvent être utilisés pour réaliser un éclairage localisé sur une surface réduite en prenant garde cependant à ne pas créer d'ombres portées.

Les étagères: Un tube fluorescent placé sous chaque étagère et masqué à la vue par un bandeau, éclaire l'étagère du dessous, ou le plan de travail. On peut faire de même verticalement de part et d'autre des étagères en dissimulant les tubes derrière un verre dépoli ou un cache en bois.

Les placards profonds: Le même système que ci-dessus peut être mis en place avec allumage commandé par l'ouverture des portes.

La table: La solution est de placer au dessus de la table un luminaire dont la hauteur est réglable, équipé d'une lampe fluorescente compacte ou d'une lampe halogène, éclairant à volonté un espace plus ou moins important (suspension réglable avec système d'arrêt de sécurité).

Le plan de travail: Un ensemble de spots orientables sur rail est une possibilité ; ils peuvent être équipés en très basse tension (lampes halogènes). Attention à l'implantation du rail, primordiale pour limiter l'éblouissement.

La hotte: Elle est en général pourvue d'un éclairage intégré et protégé. On peut le compléter par des luminaires intégrés à un faux plafond.

Dans **la salle de bains**, est nécessaire d'assurer un niveau d'illumination au miroir, en plan vertical. En général, on monte une

applique au-dessus de la miroir ou deux tubes fluorescents de 20W, verticales sur les deux bords du miroir.

Dans les salles de bains avec une surface moins grande que 6m² on monte aussi une applique sur le centre du plafond. Les luminaires doivent être du type étanche et protégés à l'humidité.

Eclairage d'ambiance

Il doit être suffisant sans créer d'éblouissement et prendre en compte de façon précise la dimension de la pièce: si la mini-salle d'eau doit se satisfaire du seul éclairage autour du miroir; un plus grand volume autorise plusieurs points lumineux: plafonnier muni de lampes à incandescence classiques ou halogènes, spots halogènes TBT encastrés ou bandeaux de tubes fluorescents.

Eclairage dirigé

Se maquiller, se raser, se coiffer... tout cela devant un miroir qui doit restituer la vérité sans brutalité mais sans complaisance, sans tricher sur les couleurs. Deux sources de lumière latérales sont préférables à un éclairage venant d'en haut ou d'en bas. Avec une règle: la lumière doit éclairer le sujet et non le miroir. Des appliques bien placées peuvent diriger les faisceaux de lumière dans la bonne direction. Pour une petite salle de bains, l'éclairage sera limité au miroir dont la mise en valeur apportera confort et ambiance.

Pour l'espace de la douche et de la baignoire, la solution "fibres optiques" permet un bon niveau de lumière, évite l'éblouissement... et tous les problèmes de sécurité.

Les parties communes des habitations sont illuminées comme ça:

- l'entrée d'habitation est illuminée par un corps d'éclairage monté au-dessus de la porte.

- les escaliers sont illuminés par un luminaire monté au chaque palier accroché du plafond. La disposition des corps d'éclairage doit être ainsi que les personnes qui circulent sur les escaliers ne forment pas des ombres et elles ne doivent *aveugler* par les lampes.

- l'illumination des halls et des couloirs doit assurer une légère circulation; la distinction des nombres des appartements, etc., et pour ça on utilise des appliques montées sur les plafonds et les murs, on peut aussi, dans ces espaces, des sources fluorescentes.

En plus, les escaliers sans lumière naturelle, des immeubles avec 5 niveaux et les escaliers avec lumière naturelle des immeubles avec 6 niveaux, ont une installation d'illumination de sécurité pour évacuation.

Eclairer une cuisine c'est répondre à plusieurs demandes et besoins des utilisateurs:

- ambiance agréable pour une "pièce à vivre";
- bon niveau de lumière pour l'efficacité des tâches et la sécurité;
- économie d'énergie pour une pièce souvent longtemps allumée.

Aujourd'hui la salle de bain tend à devenir un lieu de détente et de mise en forme. Même modeste, elle doit permettre à chacun de concilier nécessité et plaisir. D'où le double rôle demandé à l'éclairage: répondre à une exigence de précision et de vérité, mais aussi créer une ambiance propice au délasserement, avec comme première et incontournable priorité le respect des règles de sécurité.

Pour encore plus de confort, installer des luminaires équipés de détecteurs de présence.

Pour encore plus de sécurité, placer l'interrupteur à l'extérieur de la salle de bains.

2.6.2. Données de projection

Les données initiales de projection se réfèrent à la chambre pour laquelle on fait la projection de l'éclairage et à des activités qui se déroulent à l'intérieur. Celles-ci sont:

- a) le nom de la chambre, d'où résulte sa destination;
- b) les dimensions de la chambre, la longueur L_1 , la largeur L_2 et la hauteur H_1 en mètres;
- c) les caractéristiques du milieu de la chambre pour établir le degré de protection des équipements, de la technologie d'exécution et du facteur de dépréciation Δ du corps d'éclairage;
- d) l'emplacement des équipements (outillages), des places de travail et les caractéristiques des travaux qui sont exécutés;
- e) les catégories de récepteurs et le nombre des personnes de la chambre pour établir les installations d'éclairage de sécurité;
- f) l'existence de quelques mécanismes et pièces en mouvement de rotation pour la limitation de l'effet stroboscopique;
- g) la structure et la peinture des murs et du plafond pour établir les facteurs de réflexion des parois ρ_p , respectivement du plafond ρ_t ;
- h) les positions et les dimensions des voies des quelques mécanismes de grandes dimensions: des ponts roulants, des installations électriques de force, d'échauffement, de ventilation, etc.

2.6.3. Systèmes et installations d'éclairage

Un problème très important dans la réalisation de l'éclairage artificiel d'un objectif, qui doit assurer le confort visuel désiré, est le choix et l'emplacement des corps d'éclairage (c.d.e.). L'ensemble «corps d'éclairage - objectif» constitue le système d'éclairage.

L'installation d'éclairage d'un objectif est formée par la totalité des c.d.e. et des éléments de circuit qui assurent l'alimentation des sources de lumière avec l'énergie électrique. Selon leur destination, il y a des installations pour l'éclairage intérieur et extérieur. Selon la nature des sources, il y a des installations d'éclairage incandescent, fluorescent ou

mixte. Du point de vue des fonctions accomplies, les systèmes d'éclairage peuvent être des systèmes normaux et des systèmes de sécurité.

A. Le système d'éclairage normal a le rôle d'assurer l'éclairage artificiel des intérieurs dans des conditions normales de déroulement des activités humaines à un niveau d'éclairage moyen établi par les normes nationales ou départementales. Ces systèmes peuvent être classifiés ainsi:

1. D'après la répartition des éclairages sur le plan utile /

éclairages horizontaux:

- a)** système d'éclairage général uniforme;
- b)** système d'éclairage général localisé;
- c)** système d'éclairage local ou localisé (qui assure l'éclairage en introduisant un inconfort visuel);
- d)** système d'éclairage mixte ou combiné (l'éclairage général doit éclairer au moins 10% de la surface normale du plan utile).

2. D'après la répartition de la lumière entre la source et le plan utile:

a) système d'éclairage direct ($\Phi_v \geq 0,9\Phi_c$) (économique, mais qui a le désavantage de l'apparition du contraste désagréable entre la lumière du plafond et les autres surfaces, et en plus celui de la réflexion des sources d'éclairage par le plan utile ce qui entraîne un effet d'aveuglement);

b) système d'éclairage indirect ($\Phi_v = (0,6...0,9)\Phi_c$) indiqué pour les bureaux, les magasins, les salles de classe, etc.;

c) système d'éclairage indirect ($\Phi_\Delta \geq 0,9\Phi_c$), qui assure une lumière uniforme et réconfortante, sans ombres marquées, qui n'est pas économique et implique des pièces propres, sans fumée, ni poussière, peintes en couleurs chaudes.

d) Système d'éclairage semi indirect ($\Phi_\Delta = (0,6...0,9)\Phi_c$), qui est recommandé pour des chambres destinées à des activités prolongées et puissantes du point de vue visuel comme: les salles de classe, de conférences ou de lecture, les petits restaurants, les hôpitaux, etc.;

e) Système d'éclairage mixte ($\Phi_v = (0,4, ..., 0,6)\Phi_c$).

3. d'après le mode d'orientation du flux lumineux:

- a)** système d'éclairage direct;
- b)** système d'éclairage diffus où la lumière arrive sur le plan utile de toutes directions.

4. D'après le mode d'emplacement des corps d'éclairage:

- a)** système d'éclairage symétrique;
- b)** système d'éclairage asymétrique;
- c)** système d'éclairage symétrique dirigé.

B. Le système d'éclairage de sécurité assure, en cas d'avarie de l'éclairage normal, un éclairage moyen acceptable.

La projection des installations électriques d'éclairage intérieur suppose les étapes suivantes:

1. l'adoption du système d'éclairage;
2. le choix des sources de lumière et des c.d.e;
3. la détermination de la géométrie de l'installation d'éclairage;
4. le calcul photométrique de l'installation d'éclairage.

2.6.4. Le choix du système d'éclairage et d'équipement électrique

Le choix correct du système d'éclairage a une importance tant du point de vue de l'efficacité de l'installation d'éclairage que du point de vue de l'économie.

Le premier critère du choix du système d'éclairage est lié à la destination et au but de l'installation. Dans les traités de spécialité et dans les normatifs en vigueur on trouve des indications et des recommandations de base, pour le choix des systèmes d'éclairage et d'équipement électrique. Le système d'éclairage général est ainsi recommandable dans les cas suivants:

- quand les activités n'ont pas un caractère localisé;
- quand la densité des places de travail est grande.

L'attention des personnes doit être distribuée sur les grandes surfaces. On adopte le système d'éclairage général uniforme pour:

- l'espace de travail dans lequel la totalité des travaux s'encadre dans la même catégorie de difficulté visuelle, si le niveau d'éclairage normal ne dépasse pas 500 lux;
- les espaces de travail dans lesquels les lieux de travail n'ont pas de positions fixes.

Les systèmes d'éclairage combiné ou localisé, est recommandé si on demande des niveaux d'éclairage supérieurs, pour des lieux de travail isolés, à caractère individuel. Ces systèmes portent une série d'avantages tant du point de vue de l'éclairage que du point de vue économique. En vue d'économiser l'énergie électrique, à la projection on suit a réduction de la quantité de l'éclairage général uniforme et l'arrêt de l'éclairage localisé et de l'éclairage local.

Le système d'éclairage général combiné avec l'éclairage local sera utilisé dans les espaces où les travaux sont encadrés dans de différentes catégories de difficulté visuelle, et les lieux de travail qui ne sont pas groupés dans des zones bien délimitées en fonction de la difficulté visuelle des travaux. A l'intérieur, les niveaux d'éclairage général vont correspondre aux catégories de difficulté visuelle dans lesquelles on va

encadrer le nombre le plus grand de travaux et pour les cas les plus prétentieux on doit prévoir un éclairage local supplémentaire.

Le système d'éclairage général combiné avec le système d'éclairage général localisé doivent être appliqués dans les espaces où les travaux sont encadrés en différentes catégories de difficulté visuelle, les lieux où l'on effectue des travaux prétentieux et sont groupés en zones bien délimitées pour lesquelles on choisit l'éclairage général localisé.

Le choix des sources de lumière peut être fait sur la base des recommandations des tableaux dans les documentations de spécialité [3].

2.6.5. L'établissement des niveaux d'éclairage

Les facteurs les plus importants qui déterminent la qualité du microclimat lumineux artificiel sont les facteurs constitutifs: le niveau d'éclairage, l'uniformité de la lumière, les directions et les ombres de la lumière et les facteurs qualitatifs: la luminance et les contrastes d'éclairage, aussi que la composition spectrale de la lumière. Entre ces facteurs il y a une étroite corrélation.

Le niveau d'éclairage constitue le facteur de base dans la projection de l'éclairage à cause des possibilités de mesure et aussi à cause des méthodes de calcul. Les niveaux d'éclairage sont normalisés et se réfèrent au plan de travail ou au plan utile (surface au niveau de laquelle on déroule une activité visuelle) situé généralement à une distance de 0,8...1m par rapport au plancher.

Les valeurs d'éclairage pour l'éclairage de sécurité représentent environ 15% du niveau prescrit pour l'éclairage incandescent.

2.6.6. Le calcul photométrique des installations d'éclairage intérieur

Le calcul photométrique des installations d'éclairage est, en fait, un calcul des éclairages et de leur répartition sur diverses surfaces éclairées. La luminance de la source ou des surfaces éclairées a en vue seulement si celles-ci conduisent à un inconfort visuel.

L'éclairage (E) réalisé à l'intérieur du plan utile d'une installation d'éclairage est donné par la somme de la composante directe (E_d) et de la composante reflétée (E_r) de la lumière:

$$E = E_d + E_r \quad (2.37.)$$

La composante directe est due de la composante du flux du corps d'éclairage (c.d.e.) qui arrive directement sur le plan utile, sans souffrir des réflexions sur les surfaces adjacentes. La composante qui se reflète est due au flux lumineux du corps d'éclairage (c.d.e.) qui subit une série de réflexions sur les surfaces adjacentes et qui arrive finalement

sur le plan utile. Dans le cas des installations d'éclairage extérieur la composante reflétée est pratiquement inexistante.

Le calcul photométriques des installations d'éclairage on peut faire après diverses variantes, entre lesquelles se sont imposées les suivantes:

- les méthodes globales: la méthode des coefficients (des facteurs) d'utilisation et la méthode des réflexions multiples, qui prennent en considération tant la composante directe que la composante reflétée de la lumière dans des valeurs moyennes;

- les méthodes de calcul singulier où l'on détermine séparément la composante directe de la lumière et la composante reflétée de la lumière. Dans la majorité des cas, la composante directe d'éclairage dans un point du plan utile est déterminée par la méthode point par point, et la composante reflétée, comme valeur moyenne, est estimée par la méthode des réflexions multiples.

L'algorithme de calcul effectif doit être réalisé dans l'ordre suivant:

- la pré-dimensionnement de l'installation d'éclairage par la méthode des coefficients d'utilisation;

- la vérification quantitative (le niveau d'éclairage effectif et l'uniformité d'éclairage) de l'installation d'éclairage par la méthode point par point;

- la vérification qualitative de l'installation d'éclairage par la méthode de l'indice final d'aveuglement ou d'autres variantes d'appréciation de l'inconfort visuel.

Le calcul photométrique par la méthode des coefficients (des facteurs) d'utilisations

Cette méthode permet la détermination de l'éclairage moyen horizontal sur le plan utile d'une pièce, en tenant compte du flux lumineux qui est reflété par les murs et par le plafond.

Cette méthode est recommandée pour le calcul de l'éclairage des surfaces horizontales pour lesquelles l'éclairage moyen caractérise bien l'installation d'éclairage. Par définition, le coefficient d'utilisation (u) est le rapport entre le flux utile (Φ_u - stabilisé sur une surface utile) et le flux de toutes les sources d'éclairage (Φ_t) qui sont montées dans la chambre.

$$u = \frac{\Phi_u}{\Phi_t} = \frac{\Phi_u}{\Phi_{t_c}} \cdot \frac{\Phi_{t_c}}{\Phi_t} = \eta_u \eta_c \quad (2.38.)$$

où $\Phi_{t_c} = \eta_c \Phi_{t_l} = \eta_c \cdot N_1 \cdot n \cdot \Phi_l$ - le flux total qui est émis par N_1 c.d.e. qui ont le rendement η_c et sont équipés avec n sources de flux standardisé

Φ_e , mais $\eta_u = \frac{\Phi_u}{\Phi_{t_c}}$ est le rendement de la pièce, nommé utilitance.

Comme le flux utile initial Φ_{ui} peut être déterminé si on connaît la surface A du plan utile, l'éclairage moyen minimal E_{adm} et le facteur de dépréciation Δ , par la relation:

$$\Phi_{ui} = \Delta \cdot E_{adm} \cdot A \quad (2.39.)$$

Le flux total Φ_{it} des lampes peut être calculé avec la relation (2.38.) si on connaît le facteur d'utilisation u .

De la relation (2.38.) on peut voir que le facteur d'utilisation dépend des paramètres suivants:

- le rendement des corps d'éclairage η_c ;
- la distribution du flux lumineux des corps dans les deux hémisphères (direct, semi direct, mixte, etc.);
- les facteurs de réflexion des murs ρ_p et du plafond ρ_t ;
- la forme de la pièce.

La forme de la chambre est caractérisée par l'indice de la chambre i , qui est défini par la relation:

$$i = \frac{L_1 L_2}{h(L_1 + L_2)} \quad (2.40.)$$

où L_1 et L_2 sont la longueur et la largeur pour une pièce rectangulaire et h , la hauteur de la pièce.

Les facteurs d'utilisation sont présentés dans le tableau [7, 16] en fonction des paramètres mentionnés. Parce qu'il existe d'autres relations de calcul de l'indice de la pièce [4], les facteurs d'utilisation doivent être déterminés par des tableaux correspondant aux relations utilisées.

Dans le cas de l'utilisation de la relation (2.40.), on utilisera le nomogramme de la *fig.2.28.* pour l'indice de la pièce, pour la détermination du facteur d'utilisation, pour l'éclairage avec des lampes à incandescence, et aussi pour les lampes fluorescentes. Pour les indices du lieu $i > 5$, on adopte le facteur d'utilisation correspondant à $i = 5$.

Si le rendement η_c' des corps d'éclairage, qui ont été choisis au paragraphe 2.6.4., est différent du rendement η_c qui a été suivi à l'établissement des grandeurs du facteur d'utilisation (η_c est indiqué sur le nomogramme dans la *fig. 2.28.*), le facteur d'utilisation u obtenu doit être corrigé avec la relation:

$$u' = u \frac{\eta_c'}{\eta_c} \quad (2.41.)$$

dans laquelle u' est le facteur réel d'utilisation.

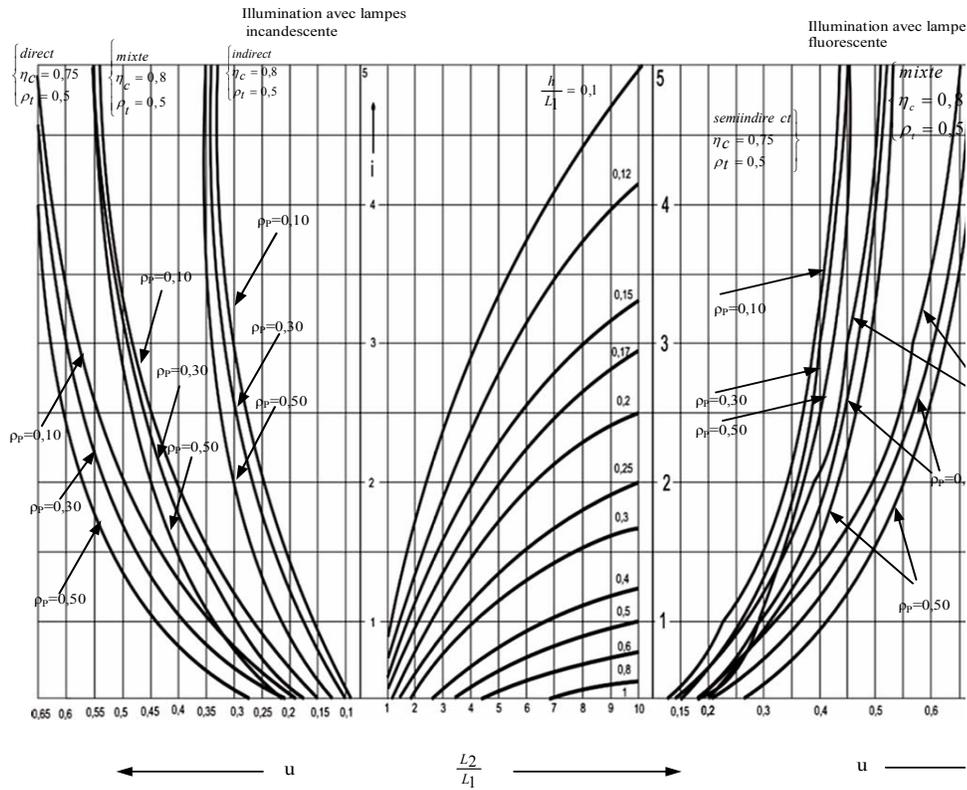


Fig. 2.28. Le nomogramme pour la détermination de l'indice du lieu i et du facteur d'utilisation u

Dans les relations (2.38.) et (2.39.) on déduit l'expression de calcul du flux total des lampes dans la chambre.

$$\Phi_{t1} = \frac{E_{adm} A \Delta}{u} \quad (2.42.)$$

Le flux des lampes dans les corps Φ_{tc} est donné par la relation:

$$\Phi_{tc} = \frac{\phi_{t1}}{N_c} \quad (2.43.)$$

où si l'on introduit l'expression pour Φ_{t1} conformément à la relation (2.42.), on obtient:

$$\Phi_{tc} = \frac{E_{adm} A \Delta}{u N_c} \quad (2.44.)$$

relation qui est à la base de la réalisation du nomogramme dans la *figure 2.29*.

À l'aide du la nomogramme on peut déterminer le flux des lampes dans un corp, si on attribue l'éclairage moyen E_{med} (dans le premier cadran) la valeur moyenne minimale admissible E_{adm} .

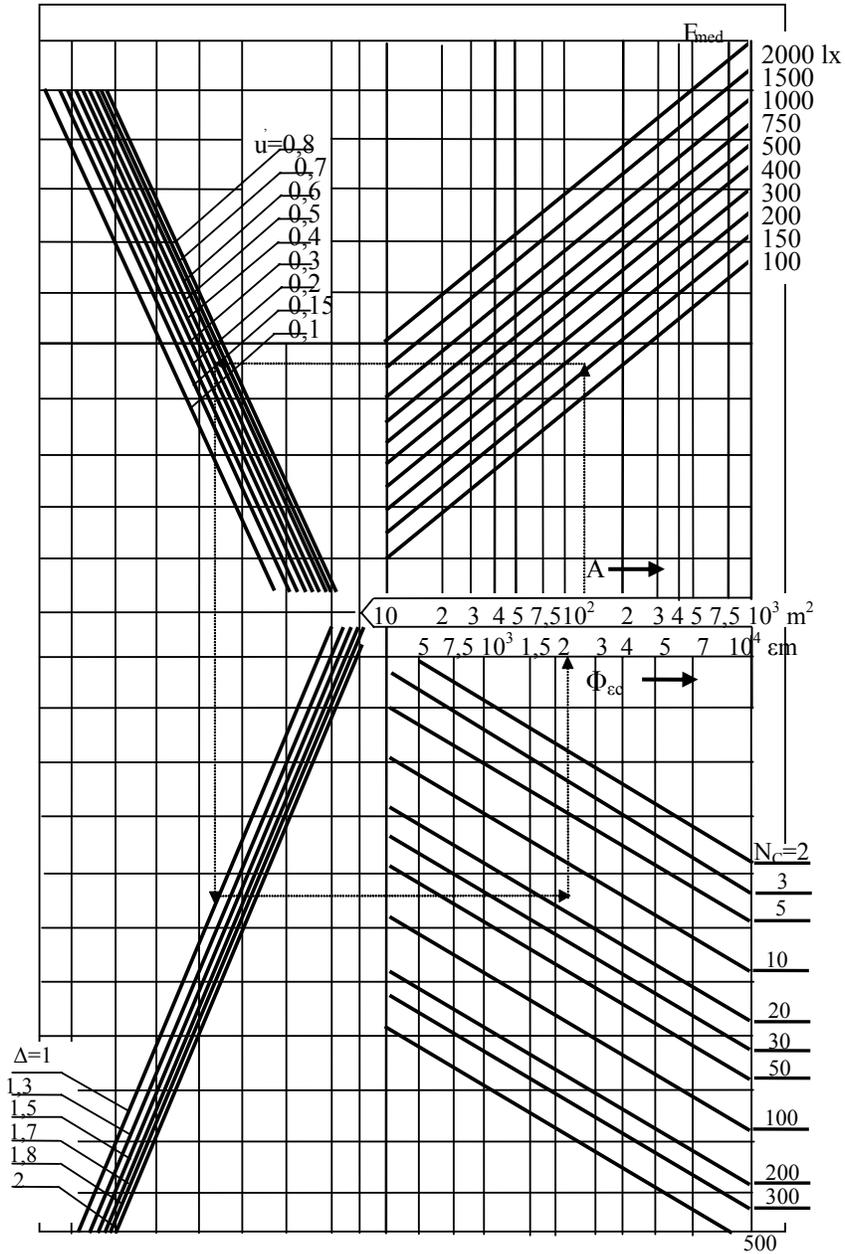


Fig. 2.29. Nomogramme pour calculer le flux lumineux des lampes dans un corps à base de la méthode du facteur d'utilisation

2.6.7. Définition du type de source de lumière et des corps d'éclairage

Dans le paragraphe 2.6.4. on a discuté le choix du principe de la source d'éclairage et des corps d'éclairage.

Connaissant les flux nominaux Φ'_l des lampes et le nombre des lampes N_{lc} , on peut maintenant monter un corps d'éclairage. Parmi les combinaisons possibles, on choisit le produit:

$$\Phi'_{lc} = \Phi'_l N_{lc} \quad (2.45.)$$

qui donne une dimension plus élevée, mais très proche de Φ_{lc}

$$\Phi'_{lc} \geq \Phi_{lc} \quad (2.46.)$$

Dans le cas des tubes fluorescents, on prendra en considération seulement ces les types dont la température de la couleur s'encadre entre les limites d'admission du diagramme de confort visuel de Kruithof (fig. 2.30).

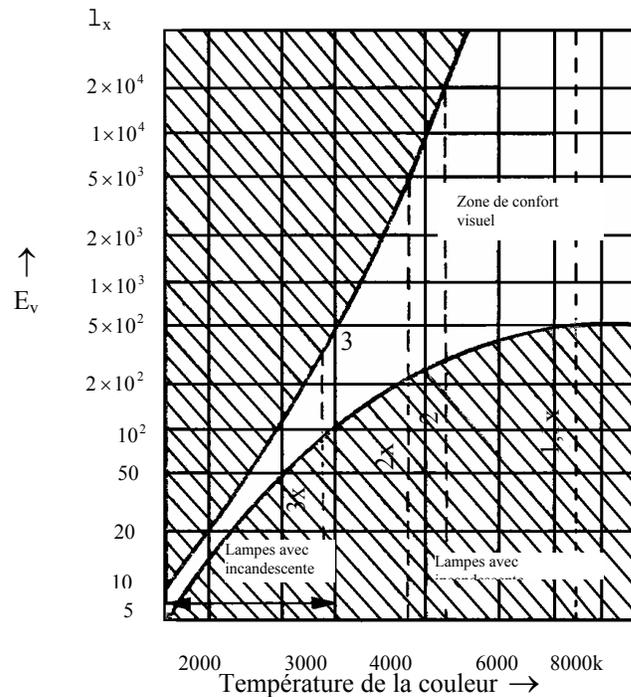


Fig. 2.30. Le diagramme de confort visuel de Kruithof

Si le rapport est:

$$\frac{\Phi'_{lc}}{\Phi_{lc}} > 1,2 \dots 1,5, \quad (2.47.)$$

on recommande l'augmentation des nombres de corps N_c , gardant la symétrie d'emplacement (on introduit une suite de plus ou un corps de plus sur chaque suite) et on refait les calculs dans ce point, jusqu'à la différence $(\Phi'_{lc} - \Phi_{lc})$ qui se réduit suffisamment.

Par cette procédure, le type du corps et de la lampe sont définis simultanément.

2.6.8. Les caractéristiques des installations d'éclairage normal

L'éclairage moyen en service qui est calculé avec la relation:

$$E_{moy} = \frac{\Phi'_{lc} N_{lc} N_c u'}{A \Delta} \quad (2.48.)$$

qui doit être supérieur à l'éclairage moyen minimal admissible

$$E_{moy} \geq E_{adm} \quad (2.49.)$$

mais inférieur à l'échelon suivant E_{moyM} dans l'échelle d'éclairage

$$E_{moy} < E_{moyM} \quad (2.50.)$$

L'échelle des niveaux d'éclairage, prévus par le STAS 6646-66 et [66] est la suivante: 0,3; 0,5; 1; 2; 3; 5; 10; 20; 30; 50; 75; 100; 150; 200; 250; 300; 350; 400; 500; 750; 1000; 1500; 2000; 3000; 4000; 5000 lx.

Si le choix définitif de la source d'éclairage et du corps d'éclairage on fait en respectant la relation (2.46.), la relation (2.49.) on vérifie avec certitude. Mais si la condition (2.50.) n'est pas réalisée on passe à agrandir le nombre des corps, conformément à l'indication du paragraphe 2.6.7.

L'uniformité de la lumière peut être considérée, en général accomplie, si on a respecté les conditions d'emplacement dans le plan des corps. Dans le cas des installations plus exigeantes, on fera la vérification de l'uniformité de l'éclairage par la méthode de vérification point par point.

La composition spectrale de la lumière est assurée en respectant les corrélations entre le niveau d'éclairage et la température de la couleur, conformément au diagramme Kruithof.

On peut faire le calcul photométrique des installations d'éclairage de protection de la même manière que pour les installations d'éclairage normal.

2.6.9. La méthode de calcul point par point pour d'éclairage direct

La composante directe d'éclairage est produite par la partie du flux lumineux des corps d'éclairage, qui arrive directement sur la surface d'éclairage, sans subir aucune réflexion.

La connaissance de la distribution des composantes directes d'éclairage sur le plan de travail a une importance étroitement liée au type d'installation d'éclairage:

- pour les installations d'éclairage intérieur général, elle permet la vérification de l'uniformité d'éclairage;
- pour les installations d'éclairage local, elle constitue une méthode de projection;
- pour les installations d'éclairage extérieur elle représente une base de projection; dans ce cas, les grandeurs qui déterminent un éclairage représentent quand même des éclairages complets, la composante totale étant nulle ou négligeable.

L'éclairage direct total dans un point est déterminé comme la somme des éclairages partiels, créés par chaque corps d'éclairage, dans les éléments composants de l'installation.

La méthode de calcul de l'éclairage direct point par point suppose la connaissance du corps photométrique ou des courbes photométriques des corps d'éclairage.

A. Le calcul de l'éclairage direct donné par une source ponctuelle

On considère une source d'éclairage S et un point P, dont la position relative est déterminée dans le cadre d'un système d'axes rectangulaire Oxyz, comme l'indique la *fig. 2.31*.

Sur la base de la relation (2.11.), l'éclairage produit par la source S dans le point P, sur un plan horizontal, est:

$$E_{Ph} = \frac{d\Phi}{dA_h} \quad (2.51.)$$

tandis que sur un plan vertical, elle est:

$$E_{P_v} = \frac{d\Phi}{dA_v} \quad (2.52.)$$

dA_h et dA_v étant les éléments de surface sur le plan horizontal, respectivement vertical.

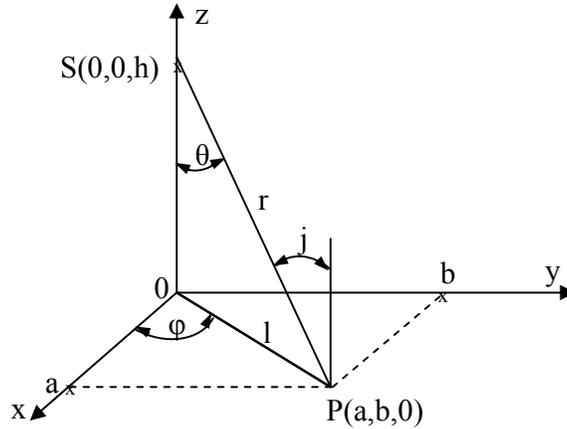


Fig. 2.31. Explication pour le calcul des illuminations directes données par une source ponctuelle sur un plan horizontal et vertical

Dans la relation (2.13.), l'élément de surface dA peut être considéré comme la projection de l'élément dA_h , d'où il résulte la relation:

$$dA = dA_h \cos \theta = dA_v \sin \theta \quad (2.53.)$$

Comme l'intensité lumineuse $I(\theta, \phi)$ de la source S , dans la direction du point P , dépend des angles de hauteur θ et azimut ϕ , pour les éclairages sur le plan horizontal, on obtient les relations suivantes:

$$E_{P_h} = \frac{I(\theta, \phi) \cos \theta}{r^2} \quad (2.54.)$$

et sur le plan vertical:

$$E_{P_v} = \frac{I(\theta, \phi) \sin \theta}{r^2} \quad (2.55.)$$

Pour réduire le nombre des éléments variables des expressions ci-dessus on substitue:

$$r = \frac{h}{\cos \theta} \quad (2.56.)$$

tel que les relations (2.54.) et (2.55.) deviennent:

$$E_{Ph} = \frac{I(\theta, \varphi) \cos^3 \theta}{h^2} \quad (2.57.)$$

$$E_{Pv} = \frac{I(\theta, \varphi) \cos^2 \theta \sin \theta}{h^2} \quad (2.58.)$$

Les angles de hauteur et d'azimut, peuvent être déterminés à l'aide des coordonnées cartésiennes (fig. 2.31.):

$$\theta = \operatorname{arctg} \frac{l}{h} \quad (2.59.)$$

$$\varphi = \operatorname{arctg} \frac{b}{a} \quad (2.60.)$$

avec $l = \sqrt{a^2 + b^2}$, tel que du corps photométrique on peut obtenir $I(\theta, \varphi)$.

Les fonctions trigonométriques des expressions (2.57.) et (2.58.) des éclairages sont déterminées tien compte des coordonnées, à l'aide des relations suivantes:

$$\cos \theta = \frac{h}{\sqrt{h^2 + l^2}} \quad (2.61.)$$

$$\sin \theta = \frac{l}{\sqrt{h^2 + l^2}}$$

et après leurs substitutions, il résulte:

$$E_{Ph} = \frac{I(\theta, \varphi) h}{(h^2 + l^2)^{\frac{3}{2}}} \quad (2.62.)$$

$$E_{Pv} = \frac{I(\theta, \varphi) l}{(h^2 + l^2)^{\frac{3}{2}}} \quad (2.63.)$$

Par conséquent, les éclairages sur le plan horizontal et vertical sont directement proportionnels avec les distances du corps d'éclairage sur les plans correspondants:

$$\frac{E_{Ph}}{E_{Pv}} = \frac{h}{l} \quad (2.64.)$$

Si l'on adopte comme variable le rapport l/h , les relations (2.62.) et (2.63.) se transforment en:

$$E_{Ph} = \frac{I(\theta, \varphi)}{h^2} \frac{1}{[1 + (l/h)^2]^{\frac{3}{2}}} \quad (2.65.)$$

$$E_{Pv} = \frac{I(\theta, \varphi)}{h^2} \frac{l/h}{[1 + (l/h)^2]^{\frac{3}{2}}} \quad (2.66.)$$

Les éclairages calculés avec ces relations sont les éclairages initiaux. Pour obtenir des éclairages en service, on divise les valeurs des éclairages obtenus par le facteur de dépréciation:

$$E'_{Ph,v} = \frac{E_{Ph,v}}{\Delta} \quad (2.67.)$$

De l'examen des relations (2.62.), (2.63.) ou (2.65.), (2.66.) et ayant en vue les expressions (2.59.), (2.60.), on peut conclure que pour une telle hauteur de suspension h au-dessus du plan utile, les éclairages initiaux sont en fonction seulement de la distance horizontale l - pour les corps d'éclairage symétriques et de l et φ - pour les corps d'éclairage non symétriques:

$E_{Ph,v}(l)$ - pour les corps d'éclairage symétrique;

$E_{Ph,v}(l, \varphi)$ - pour les corps d'éclairage non symétrique.

Dans le cas des corps d'éclairage symétrique, *les illuminations* on peut représenter sur un diagramme en fonction de la distance l - $E_{Ph,v}(l)$ et utilisant en cas de nécessité la hauteur h comme paramètre. Les courbes obtenues ont la forme d'une demi courbe de cloche. Dans la *figure 2.32.* sont données trois courbes pour un corps d'éclairage symétrique, monté à différentes hauteurs h .

On peut faire la représentation des éclairages produits par les corps non symétriques, en fonction de la distance l et de l'angle d'azimut φ , $E_{Ph,v}(l, \varphi)$ sous la forme d'une surface courbe. Pour chacune des hauteurs h il correspond une telle surface ayant les axes de coordonnées (l, φ, E).

Dans le cas d'un corps d'éclairage symétrique, la surface $E_p(l, \varphi)$ a la forme d'une cloche; celle-ci peut être obtenue par la rotation d'une des courbes représentées dans la *figure 2.32.*, autour de l'axe des ordonnées.

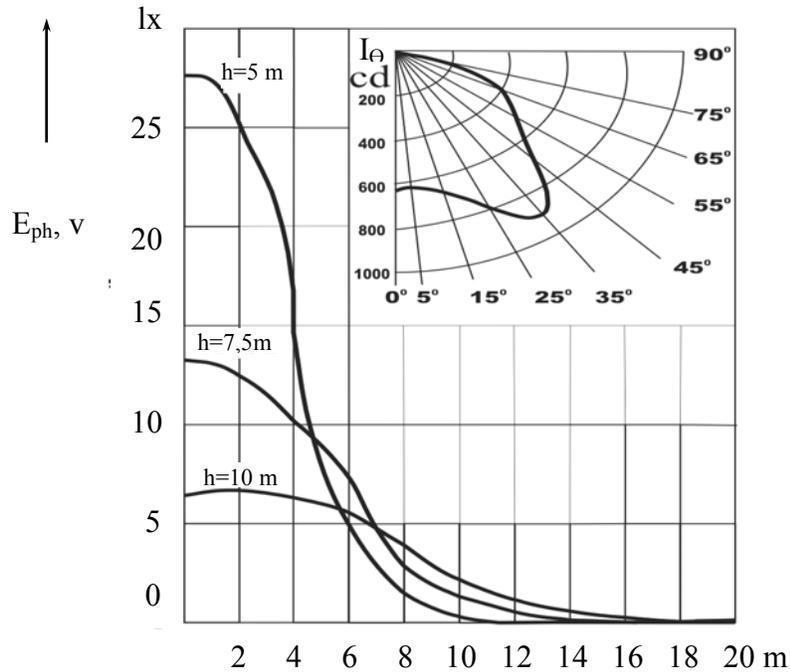


Fig. 2.32. Diagramme des illuminations en fonction de la distance pour un corps d'illumination symétrique

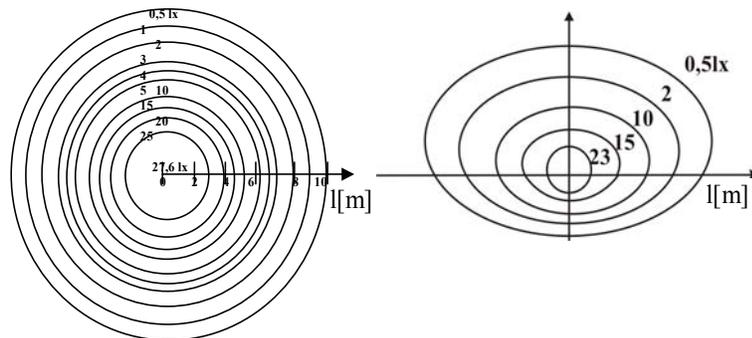


Fig. 2.33. Courbes isolux pour sources en forme de point uniformes
a) – corps d'éclairage symétrique; b) – corps d'éclairage non-symétrique

Si l'on fait intersectée la surface des éclairages $E(l, \varphi)$ avec des plans horizontaux $E = \text{const.}$ correspondant aux différentes valeurs des

éclairages, on obtient les courbes d'éclairage égales, nommées les courbes isolux. Les courbes isolux, représentées dans la *figure 2.33*, sont des cercles concentriques pour les corps d'éclairage symétriques (*fig. 2.33.a*) et des courbes fermées quelconques, dans le cas des corps d'éclairage non symétriques (*fig. 2.33.b*).

Pour simplifier les calculs nécessaires à tracer les courbes isolux, on utilise les représentations des éclairages relatifs. L'éclairage relatif ε est l'éclairage initial pour une hauteur de suspension $h = 1$ m.

Ainsi:

$$\varepsilon_h = I(\theta, \varphi) \cos^3 \theta = \frac{I(\theta, \varphi)}{[1 + (l/h)^2]^{\frac{3}{2}}} \quad (2.68.)$$

$$\varepsilon_v = I(\theta, \varphi) \cos^2 \theta \sin \theta = I(\theta, \varphi) \frac{(l/h)}{[1 + (l/h)^2]^{\frac{3}{2}}} \quad (2.69.)$$

Le degré de généralité de ces courbes est augmenté par la construction de celles-ci pour des lampes conventionnelles à $\Phi_l = 1000$ lm et par l'utilisation des coordonnées relatives:

$$a_* = \frac{a}{h}; \quad b_* = \frac{b}{h}; \quad l_* = \frac{l}{h} = \sqrt{a_*^2 + b_*^2} \quad (2.70.)$$

La liaison entre les coordonnées relatives et les angles de hauteur, respectivement d'azimut est:

$$\operatorname{tg} \theta = l_*; \quad \operatorname{tg} \varphi = \frac{b_*}{a_*} \quad (2.71.)$$

Dans le cas général des corps d'éclairage non symétrique on utilise les courbes d'égal éclairage relatif. Une courbe d'égal éclairage relatif s'obtient par l'unification des points du plan qui ont le même éclairage relatif initial et c'est pourquoi elles s'appellent courbes d'iso lux relatives. La représentation des courbes iso lux relatives peut se faire par:

- des coordonnées rectangulaires $\varepsilon(a_*, b_*)$;
- des coordonnées polaires $\varepsilon(l_*, \varphi)$.

Dans la *figure 2.34*, sont représentées, en coordonnées polaires, les courbes isolux relatives pour un corps d'éclairage non symétrique, à large répartition, équipé d'une lampe conventionnelle de 1000 lm. Le corps d'éclairage à deux plans de symétrie, ainsi que, sa représentation

peuvent se réduire à un seul cadran, qui correspond aux valeurs d'angle d'azimut $\varphi = 0 \dots 90^\circ$.

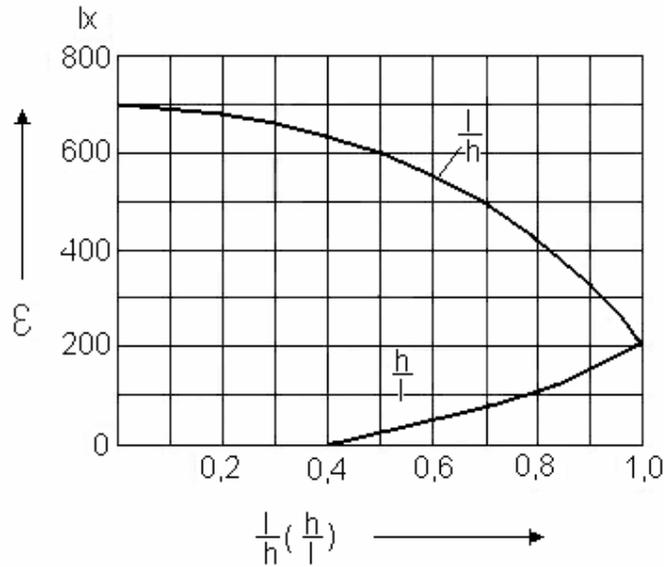


Fig. 2.34. Les courbes iso lux relatives pour un corps d'éclairage non symétrique équipé avec la lampe conventionnelle de 1000 lm

Le calcul de l'éclairage dans un point à l'aide de ces courbes se fait:

- d'après la position du point P dans lequel on calcule l'éclairage, on détermine les distances a et b et on calcule les coordonnées relatives

$$a_* = \frac{a}{h}; \quad b_* = \frac{b}{h}; \quad (2.72.)$$

- on détermine les coordonnées polaires relatives

$$l_* = \frac{l}{h} = \sqrt{a_*^2 + b_*^2}; \quad \varphi = \arctg \frac{b_*}{a_*}; \quad (2.73.)$$

- on détermine du diagramme des courbes iso-lux relatives, l'éclairage relatif $\varepsilon(l_*, \varphi)$ correspondant aux coordonnées l_* et φ ;

- les courbes étant construites pour la lampe conventionnelle avec $\Phi_1 = 1000 \text{ lm}$, l'éclairage initial cherché est

$$E'_P = \frac{\varepsilon_P \Phi'_l}{h^2 1000} \quad (2.74.)$$

Φ'_l étant le flux total des lampes montées dans un corps d'éclairage.

Pour les corps d'éclairage symétriques reste suffisante la courbe des éclairages relatifs $\varepsilon(l^*)$, représentée pour un certain corps d'éclairage dans la *figure 2.35*.

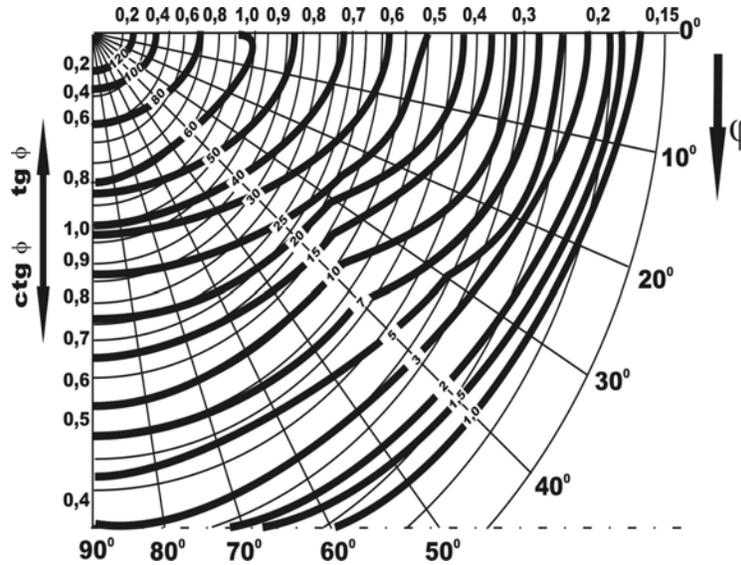


Fig. 2.35. La courbe des illuminations relatives pour un corps d'illumination symétrique

L'éclairage direct total dans un point, donné par l'ensemble des corps placés à l'intérieur, se détermine comme la somme des éclairages directs partiels, donnés par chaque corps pris à part:

$$E_p = \sum_{i=1}^{N_c} E_{p_i} \quad (2.75.)$$

L'éclairage moyen E_{med} sur un plan se détermine comme la moyenne arithmétique d'éclairage au centre des certains petits rectangles dans lesquels se divise la surface de ce plan.

À partir des valeurs calculées on peut déterminer les facteurs d'uniformité E_m^-/E_M et E_m/E_{med} , qui se comparent avec les valeurs minimales admissibles.

Comme la vérification de l'uniformité de l'éclairage exige des calculs laborieux, même si on dispose des courbes d'éclairage ou iso lux relatifs, on recommande le travail sur les ordinateurs électroniques.

- dans le point P_1 (fig.2.36.), qui est la projection du bout A de la source linéaire sur le plan horizontal π_h , nous avons les relations suivantes:

$$E_{P1h} = \frac{I_u}{2h} (\sin i_1 \cos i_1 + i_1) \quad (2.78.)$$

$$E_{P1v} = \frac{I_u}{2h} \sin^2 i_1 \quad (2.79.)$$

- dans le point P_2 , situé à droite ($\pi_h \cap \pi_v$), en dehors du plan π_s , à la distance l de celui-ci, on a:

$$E_{P2h} = E_{P2H} \cos \theta = \frac{I_u}{2H} (\sin i_2 \cos i_2 + i_2) \cos \theta \quad (2.80.)$$

$$E_{P2v} = \frac{I_u}{2H} \sin^2 i_2 \quad (2.81.)$$

où E_{P2H} est l'éclairage dans le point P_2 , sur un plan perpendiculaire sur la direction AP_2 , calculé avec la relation pour E_{P1h} , où h est remplacé par $H = \sqrt{h^2 + l^2}$;

- dans le point P_3 situé sur le plan vertical π_s , qui passe par la source linéaire de cette source, on a:

$$E_{P3} = E_{AC} + E_{CB},$$

où E_{AC} , E_{CB} sont calculés avec les relations pour E_{P1} ;

- dans le point P_4 situé sur le plan vertical π_s , en outre de la source linéaire $E_{P4} = E_{AD} - E_{BD}$, il y a une partie virtuelle de la source linéaire.

Les relations peuvent être exprimées seulement en fonction des distances, si on explique les fonctions trigonométriques de leur expression:

$$\sin i_1 = \frac{L}{\sqrt{h^2 + L^2}}; \quad \cos i_1 = \frac{h}{\sqrt{h^2 + L^2}}; \quad (2.82.)$$

$$\sin i_2 = \frac{L}{\sqrt{H^2 + L^2}}; \quad \cos i_2 = \frac{H}{\sqrt{H^2 + L^2}};$$

$$\cos \theta = \frac{h}{H}, \quad \text{où } H = \sqrt{h^2 + l^2}.$$

2.6.10. L'élaboration du schéma de distribution

L'organisation, sur des circuits monophasés ou triphasés de l'alimentation des corps d'éclairage avec de l'énergie électrique, se fait en envisageant, d'une part, la fonctionnalité de l'installation d'éclairage général, et d'autre part, les restrictions introduites par le normatif.

Ainsi, on va prévoir la mise en oeuvre de l'éclairage général, respectivement son allumage et son extinction, sur des portions de la pièce, dans le but de créer des possibilités d'éclairage seulement de certaines zones qui, à un moment donné, on travaillent effectivement.

La section des commandes de l'éclairage général est prévue d'un bouton d'allumage extinction qui se fait parallèlement avec le mur de la fenêtre.

Après la réalisation de la partition de l'éclairage général, conformément aux indications ci-dessous, on groupe les corps d'éclairage sur les circuits, en respectant les restrictions suivantes:

- dans le cas des circuits monophasés on ne dépasse pas une puissance installée maximale de 3 kW;
- dans le cas des circuits triphasés on ne dépasse pas une puissance installée maximale de 8 kW;
- dans le cas des installations d'éclairage industriel, le nombre maximal des corps d'éclairage raccordés à une phase est de 30;
- dans les bâtiments habités, un circuit de lumière ne dépassera pas la puissance installée de 1 kW et sera chargé avec 12 corps d'éclairage maximum, exception faisant les circuits d'électricité des espaces communs (halls, escaliers, etc.) aux quels on admet 15 corps d'éclairage par circuit.

La connexion des corps d'éclairage au circuit d'alimentation se fait par l'intermédiaire des broches de contact (au corps d'éclairage fixe). Un corps d'éclairage est raccordé seulement à une seule phase, mais quand il est prévu de plusieurs lampes, on recommande l'alimentation des corps d'éclairage avec des lampes fluorescentes remplacées dans le voisinage de la phase différente pour diminuer l'effet stroboscopique. Pour compenser le facteur de puissance, les corps d'éclairage à lampes à décharges, on doit prévus avec des condensateurs.

Les batteries d'alimentation de l'éclairage de sécurité seront dimensionnées pour pouvoir assurer le fonctionnement continu de toutes les lampes, selon les situations suivantes:

- au moins de 3 heures, pour les places où sont montées des armatures (vannes, robinets), les dispositifs de commande et de contrôle de certaines installations et les outillages qui doivent actionner en cas d'incendie, ainsi que dans les salles du bloc opératoire des cliniques et des hôpitaux;

- pour le temps nécessaire de mise en fonctionnement d'une autre source d'alimentation ou de remise en fonctionnement de l'alimentation normale, si l'activité ne peut être interrompue;
- pendant le temps nécessaire à effectuer des manœuvres, envisageant l'arrêt du travail en cas d'avarie, à évacuer le personnel, à prendre des mesures pour prévenir d'incendie, pour assurer l'éclairage de sécurité pour la suite du travail.

2.7. Les installations d'éclairage extérieur

2.7.1. Généralités

Dans le cas des activités déroulées à l'extérieur, que ce soit pendant le jour ou la nuit, il apparaît la nécessité d'éclairage des espaces respectifs. Parmi les activités industrielles qui s'encadrent dans cette situation on peut mentionner:

- les travaux industriels extérieurs;
- les travaux des installations électriques extérieures comme les stations et les postes de transformation;
- le travail sur les chantiers;
- les outillages industriels en air libre;
- la circulation dans les enceintes des entreprises industrielles.

Les installations d'éclairage extérieures doivent assurer le niveau minimal de visibilité (elles émettent des contrastes de luminance). Le niveau d'éclairage relatif réduit pour les activités à l'extérieur (voir *tableaux 2.1. et 2.2.*), fait que l'œil doive s'adapter à l'éclat réduit ainsi qu'il soit plus susceptible au phénomène de cécité, surtout s'il apparaît des objets à luminance plus grande dans le champ visuel. De même, les contrastes plus grands de luminance accélèrent la fatigue de l'œil.

Le tableau 2.1.

Les indications du choix des corps d'éclairage pour l'éclairage industriel extérieur

L'espace d'éclairage	Répartition du flux lumineux	
	moyen	large
voies de circulation et enceintes, passages, passerelles, pods d'échelles passages à niveau des voies ferrées	recommandé	permis
	permis	recommandé
entrées pour les véhicules (portes); éclairage des rond points; éclairage périphérique sur une portion de 10 m largeur	permis	recommandé

Le tableau 2.2.

Les hauteurs minimales de montage des corps d'éclairage extérieur

Flux lumineux de la source, [lm]	Répartition du flux lumineux du corps d'illumination		
	concentré	moyen	large
en dessous de 5.000	6	6	7,5
5.000 ... 10.000	7	7,5	8
10.000 ... 15.000	7,5	9	10,5
au-dessous de 15.000	9	10.5	12

Les conditions de qualité de l'illumination extérieure sont traitées dans le sous chapitre 5.6. Le coefficient d'uniformité E_m/E_{med} est de 1/3 pour les ouvrages industriels extérieurs (voir *tableau 2.1.*) et de 1/4 à l'éclairage du territoire et des voies de circulation.

2.7.2. La projection des installations d'éclairage extérieur

Le calcul des installations d'éclairage extérieur comporte les mêmes étapes que dans le cas des installations d'illumination intérieures, dans ce qui suit, nous en présentons les éléments caractéristiques.

Le système d'éclairage est local et direct dans la majorité des cas, fait qui est dû à l'absence des surfaces voisines qui contribuent par réflexion à l'illumination du plan utile.

Les sources de lumière recommandées pour l'éclairage extérieur sont les lampes à luminosité très efficace, comme les lampes fluorescentes à décharges, mais dans le cas de l'éclairage à projecteurs on utilise les lampes à incandescence. Quand le niveau de l'éclairage est réduit se recouvre l'utilisation des lampes à incandescence. Pour des espaces avec beaucoup fumée, avec brouillard dense et fréquent, on recommande l'utilisation des lampes à vapeurs de sodium, mais pour les grandes espaces ouverts on utilise des lampes à grande puissance - les lampes à base de xénon ou lampe à halogénures métalliques qui réalisent des économies par la concentration du flux dans un petit nombre de sources.

Dans le cas de certains espaces de travail où se dégagent des gaz ou des vapeurs corrosifs, on doit utiliser des corps d'éclairage correspondants.

L'emplacement du corps d'éclairage extérieur se fait sur les murs des constructions voisines ou à l'aide de certains poids de soutenance.

L'éclairage des enceintes industrielles, des dépôts, etc. se fait par l'emplacement des corps d'éclairage ou des projecteurs sur les

constructions voisines ou sur les poids distribués sur la surface d'éclairage surtout dans le cas où leur présence n'empêche ni l'activité respective, ni la circulation des véhicules.

L'emplacement concentré des projecteurs, dans quelques points, présente des avantages pour l'exploitation et permet un entretien plus facile.

Pour l'éclairage des stades et postes de transformation extérieures, on peut utiliser des projecteurs installés aux coins des terrains. Les voies d'accès et les routes en travaux sont illuminées longitudinalement, axialement, unilatéralement ou bilatéralement (en alternance ou en vis-à-vis), et pour cela on peut utiliser comme pied les murs des constructions voisines.

L'éclairage des triages et des installations portuaires s'exécute souvent à l'aide d'un ensemble de projecteurs montés sur les pions et orientés dans toutes les directions. Un éclairage supplémentaire se réalise à l'aide de certains corps d'éclairage extérieurs distribués sur toute la surface, surtout dans les zones où, localement, il faut qu'il y ait des niveaux supérieurs d'éclairage.

On doit corrélérer les cotes d'emplacement du corps d'éclairage avec les caractéristiques photométriques des sources, corrélation qui conduit à la solution optimale du point de vue technique et économique.

Les hauteurs minimales de montage des corps d'éclairage, en fonction du flux lumineux de la source et du type de répartition du flux lumineux, sont indiquées dans le *tableau. 2.2*. Ces valeurs assurent l'obtention des uniformités normées et la limitation du phénomène de cécité. C'est surtout dans le cas de l'éclairage de certains espaces avec des outillages ou corps de grandes dimensions que la hauteur du montage s'établit de cette façon pour diminuer, le plus que possible, les ombres produites par celui-ci.

Pour les voies d'accès et les routes en travaux, on adopte une hauteur de montage du corps d'éclairage égale avec la largeur des voies, dans le cas de l'éclairage unilatéral, et égale avec la moitié de la longueur de la voie - dans le cas axial ou bilatéral. On doit aussi tenir compte du gabarit maximal des moyens de transport. La distance d entre les points de suspension des corps d'éclairage, mesurée sur le plan horizontal est calculée à l'aide de la relation suivante (h - la hauteur de la suspension):

$$d = (3 \dots 5) h \quad (2.83.)$$

qui assure l'uniformité de l'éclairage dans les limites normées. Dans le cadre des limites introduites dans la relation (5.92.), le choix de la distance d se fait en fonction du type de répartition du flux du corps d'illumination:

- $d = 3h$ pour les corps à répartition concentrée;
- $d = 3,5h$ pour les corps à répartition moyenne;
- $d = 4h$ pour les corps à répartition large.

Pour l'éclairage des voies de circulation, la distance entre les points est choisie de telle sorte que l'angle vertical maximal de distribution de l'intensité lumineuse recouvre plus de la moitié de la distance entre les points.

Le niveau d'éclairage s'établit sur la base des *tableaux 2.1.* et *2.2.* Le facteur de dépréciation est considéré: $\Delta = 1.25$.

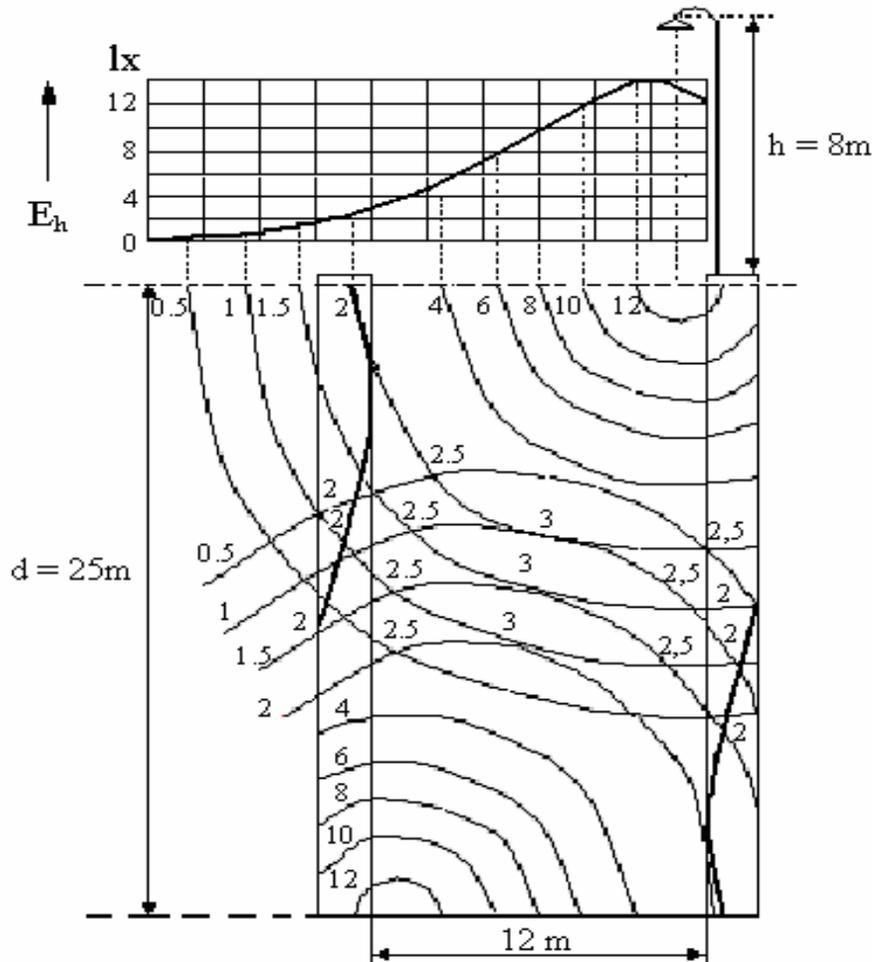


Fig. 2.37. Les courbes isolux cumulatives pour une voie de circulation avec des corps d'éclairage symétriques placés de façon bilatérale alternative

Le calcul de l'illumination extérieure se fait par la méthode point par point, compte tenant des courbes photométriques des corps d'éclairage industriel. Par l'union des points d'éclairage, égal sur le plan

utile, on obtient les courbes iso lux cumulatives des installations. Dans la *figure 2.37*, sont présentées les courbes isolux cumulatives pour une voie de circulation à corps d'éclairage placés symétriquement, de façon alternative bilatérale (en zigzag).

Finalement, on détermine la caractéristique de l'installation d'éclairage extérieur: l'éclairage moyen, l'éclairage minimal et les coefficients d'uniformité.

Si les valeurs ne correspondent pas aux valeurs normées ou ne s'encadrent pas dans les domaines admis on considère le choix de la puissance des sources de lumière ou l'emplacement du corps d'illumination.

Pour conclure on peut dire que les sources de lumière recommandées pour l'éclairage extérieur sont les lampes à luminosité très efficace, comme les lampes fluorescentes à décharges, mais dans le cas de l'éclairage à projecteurs on utilise les lampes à incandescence.

2.8. Exemple de calcul pour l'éclairage avec sources ponctiformes

On demande le dimensionnement d'une installation électrique d'éclairage pour une halle industrielle avec les données:

$$L = 30\text{m}; l = 30\text{m}; H = 9\text{m} \text{ et } U = 380/220 \text{ V}; 50 \text{ Hz.}$$

On utilise les lampes à décharges, à vapeurs de mercure, à haute pression et ballon fluorescent.

Le choix du système d'éclairage

Pour réaliser l'éclairage général d'une halle industrielle on choisit les corps d'éclairage avec une répartition directe du flux lumineux, type PVSCb-2 250, équipement avec deux lampes à vapeur de mercure à haute pression, type LVF 250 W. On monte les corps d'éclairage direct sur le plafond, la hauteur d'accrochement est $h_a = 0,5 \text{ m}$.

Pré dimensionnement par la méthode du facteur d'utilisation

Pour effectuer le calcul photométrique on choisit les données suivantes:

- le niveau d'illumination moyenne, $E_{\text{med}} = 200 \text{ lx}$ (on considère que l'éclairage général est combiné avec l'éclairage localisé);

- le niveau du plan utile, $h_u = 1 \text{ m}$;

- les facteurs de réflexion du plafond et des murs $\rho_p = 0,5$ et $\rho_m = 0,5$;

- le facteur de dépréciation $k_d = 1,3$ pour les chambres avec dégagement moyen de poussier et de fume.

- *Le calcul de l'indice local (i)*

$$i = \frac{0,2 \cdot L + 0,8 \cdot l}{h}$$

où L, l sont les dimensions de la chambre, et h est déterminé avec la relation:

$$h = H - (h_a + h_u) = 9 - (0,5 + 1) \Rightarrow \mathbf{h = 7,5 \text{ m}}$$

Si on remplace les valeurs, on obtient:

$$i = \frac{0,2 \cdot 36 + 0,8 \cdot 30}{7,5} \Rightarrow \mathbf{i = 4,16}$$

- *La détermination du facteur d'utilisation*

On détermine le facteur d'utilisation à l'aide du *tableau 2.3*. pour les corps d'éclairage avec répartition directe du flux lumineux: pour $i = 4,16$; $\rho_p = 0,5$ et $\rho_m = 0,5$ on choisit $\mathbf{u = 0,45}$; $\mathbf{k = 1,25}$ et $\mathbf{\eta = 0,75}$.

On corrige le facteur d'utilisation, en sachant que le rendement réel du corps d'éclairage est $\eta = 0,54$:

$$u_s = u \frac{k}{k_d} \cdot \frac{\eta_r}{\eta}$$

Si on remplace les valeurs, on obtient:

$$u_s = 0,45 \frac{1,25}{1,3} \cdot \frac{0,54}{0,75} \Rightarrow \mathbf{u_s = 0,312}$$

- *Le calcul du flux lumineux nécessaire*

$$\Phi_{nec} = \frac{E_{med} \cdot S}{u_s} \Rightarrow \Phi_{nec} = \frac{200 \cdot 36 \cdot 30}{0,312} \Rightarrow \mathbf{\Phi_{nec} = 692 \text{ 308 lm}}$$

- *Le nombre des corps d'éclairage*

$$n = \frac{\Phi_{nec}}{2\Phi_l}$$

ou $\mathbf{\Phi_l = 10 \text{ 600 lm}}$ pour la lampe choisie, type LVF 250 W.

Par conséquent:

$$n = \frac{692308}{2 \cdot 10600} \Rightarrow \mathbf{n = 32,65.}$$

Ainsi, dans la chambre est nécessaire de monter 36 corps d'éclairage type PVSCb-2 250.

La vérification quantitative de l'installation d'éclairage général par la méthode point à point (le calcul grafo-analitique)

Pour la détermination d'illumination moyenne directe, en plan utile, on calcule par la méthode point à point l'illumination directe dans les centres des surfaces carrées avec les dimensions 2x2 mètres dans lequel on divise la surface entier de la chambre. Il résulte ainsi 270 points de calcul; on note leurs colonnes avec caractères de *a* à *s* et leurs lignes de 1 à 15.

	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	o	p	r	s
1	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o
2	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o
3	o	xS1	o	o	xS2	o	o	xS3	o	o	xS4	o	o	xS5	o	o	xS6	o
4	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o
5	o	xS7	o	o	xS8	o	o	xS9	o	o	xS10	o	o	xS11	o	o	xS12	o
6	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o
7	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o
8	o	xS13	o	o	xS14	o	o	xS15	o	o	xS16	o	o	xS17	o	o	xS18	o
9	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o
10	o	xS19	o	o	xS20	o	o	xS21	o	o	xS22	o	o	xS23	o	o	xS24	o
11	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o
12	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o
13	o	xS25	o	o	xS26	o	o	xS27	o	o	xS28	o	o	xS29	o	o	xS30	o
14	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o
15	o	xS31	o	o	xS32	o	o	xS33	o	o	xS34	o	o	xS35	o	o	xS36	o

Si on calcule l'illumination en points situés à 0,1-15 mètres de point obtenu par l'intersection de l'axe verticale du corps d'éclairage à plan utile (*fig.2.38.*) on obtienne paires des points qui peuvent être utilisées pou construire le graphique de variation d'illumination directe.

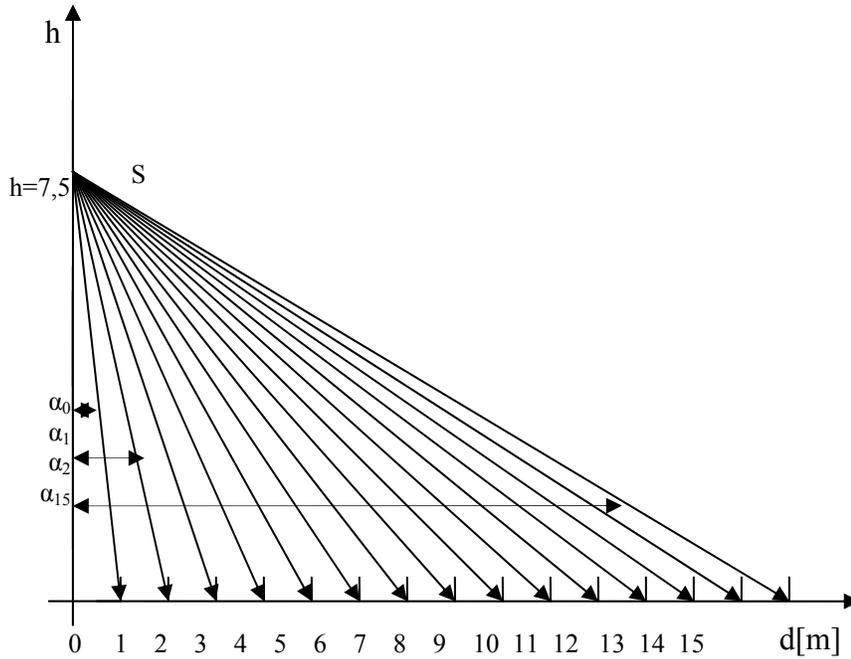


Fig. 2.38. Schéma pour le calcul des valeurs de l'illumination fonction de la distance

On fait le calcul de l'illumination directe dans le point 0 à l'aide des relations:

$$\Delta = 0,769 \text{ pour chambre moyenne chargée à poussier et fumée;}$$

$$a = 0;$$

$$h = H - (h_a - h_u) = 9 - (0,5 + 1) = 7,5 \text{ m;}$$

$$I'_{\alpha 0} = 324 \text{ cd pour } \alpha = \arctg \frac{a}{h} = 0^\circ;$$

$$I_{\alpha 0} = I'_{\alpha 0} \frac{\Phi_l}{10000} = 324 \frac{2 \cdot 10600}{1000} = 6868,8 \text{ cd;}$$

On considère les corps d'éclairage PVSCb qui ont une répartition non symétrique du flux lumineux comme corps d'éclairage avec répartition symétrique, parce que les erreurs incluses dans le calcul de l'illumination, par utilisation de la courbe photométrique vers direction α , sont assez petits pour être acceptées. La situation considérée est plus avantageuse pour les valeurs de l'illumination calculée.

Ainsi pour $\alpha = 0^\circ \rightarrow E_{0\alpha} = 93,9 \text{ lx}$ et pour $\beta = 0^\circ \rightarrow I_\beta = 308 \text{ cd}$ et $E_{0,\beta} = 89,26 \text{ lx}$.

L'illumination moyenne en point 0 est:

$$E_{0,m} = \frac{E_{0,\alpha} + E_{0,\beta}}{2} \Rightarrow \mathbf{E_{0,m} = 91,58 \text{ lx}}$$

On calcule l'erreur absolue en point 0:

$$\varepsilon_a = E_{0,\alpha} - E_{0,\beta} = 93,9 - 91,58 = 2,32 \text{ lx}$$

On observe que sa valeur est assez petite et que la valeur pour $\alpha = 0$ est supérieure que la valeur de l'illumination moyenne dans le point considéré.

$$E_{0,\alpha} = \Delta \frac{I_{\alpha\beta} \cdot \cos^3 \alpha}{1000} = 0,769 \frac{6868,8 \cdot 1}{7,5^2} = \mathbf{93,9 \text{ lx}}$$

Le calcul pour tous les autres points est similaire. Par suite de la symétrie sur les deux directions, il est suffisant la détermination de l'illumination directe seulement pour les points situés dans un quart de la salle.

- On détermine l'illumination moyenne directe par la relation:

$$E_{md} = \frac{\sum_{i=1}^n E_i}{n}$$

où E_i représente les illuminations directes dans les centres des carrés et n représente leur nombre ($n = 270$).

Pour le calcul de l'illumination moyenne on multiplie par quatre la somme des valeurs de l'illumination dans les points $a, \dots, 7i$ et on multiplie par deux la somme des valeurs de l'illumination dans les points $8a, \dots, 8i$.

Ainsi on obtienne:

$$E_{md} = \frac{4 \cdot 17677 + 2 \cdot 2727}{270} \Rightarrow \mathbf{E_{md} = 282,08 \text{ lx}}$$

On détermine la composante reflétée par les relations:

$$E_r = \Delta \frac{\rho_1 \cdot u_{12} \cdot \xi \cdot \Phi_c}{[1 - \rho_1(1 - u_{12})]S_2}$$

$$\Delta = 0,769$$

$$u_{12} = \frac{S_d}{S_t + S_p + S_d} = \frac{30 \cdot 36}{30 \cdot 36 + 2(30 + 36)7,5 + 30 \cdot 36}$$

↓

$$\Phi_c = 0,54 \cdot 36,2 \cdot 10600$$

$$\xi = 1 - \frac{E_{md} \cdot S_2}{\Phi_c} = 1 - \frac{282,08 \cdot 30 \cdot 36}{412128} = 0,27$$

$$E_r = 0,769 \frac{0,5 \cdot 0,34 \cdot 0,27 \cdot 412128}{[1 - 0,5(1 - 0,34)]30 \cdot 36} \Rightarrow \mathbf{E_r = 20 \text{ lx}}$$

- *On vérifie le niveau de l'illumination effective avec la relation:*

$$E_{mef} = E_{md} + E_r = 282,08 + 20 \Rightarrow \mathbf{E_{mef} = 302,08 \text{ lx}}$$

En suivant la vérification quantitative d'installation d'éclairage par méthode point à point on observe que l'illumination moyenne effective dépasse avec environ 1/3 le niveau d'illumination moyenne choisi initial pour être réalisé dans l'halle ($E_m = 200 \text{ lx}$).

Pour le dimensionnement correct de l'installation, du point de vue qualitative, s'impose la reconstruction des calculs, en considérant seulement 2/3 de flux lumineux effectif installé dans le calcul par méthode du facteur d'utilisation.

Ainsi:

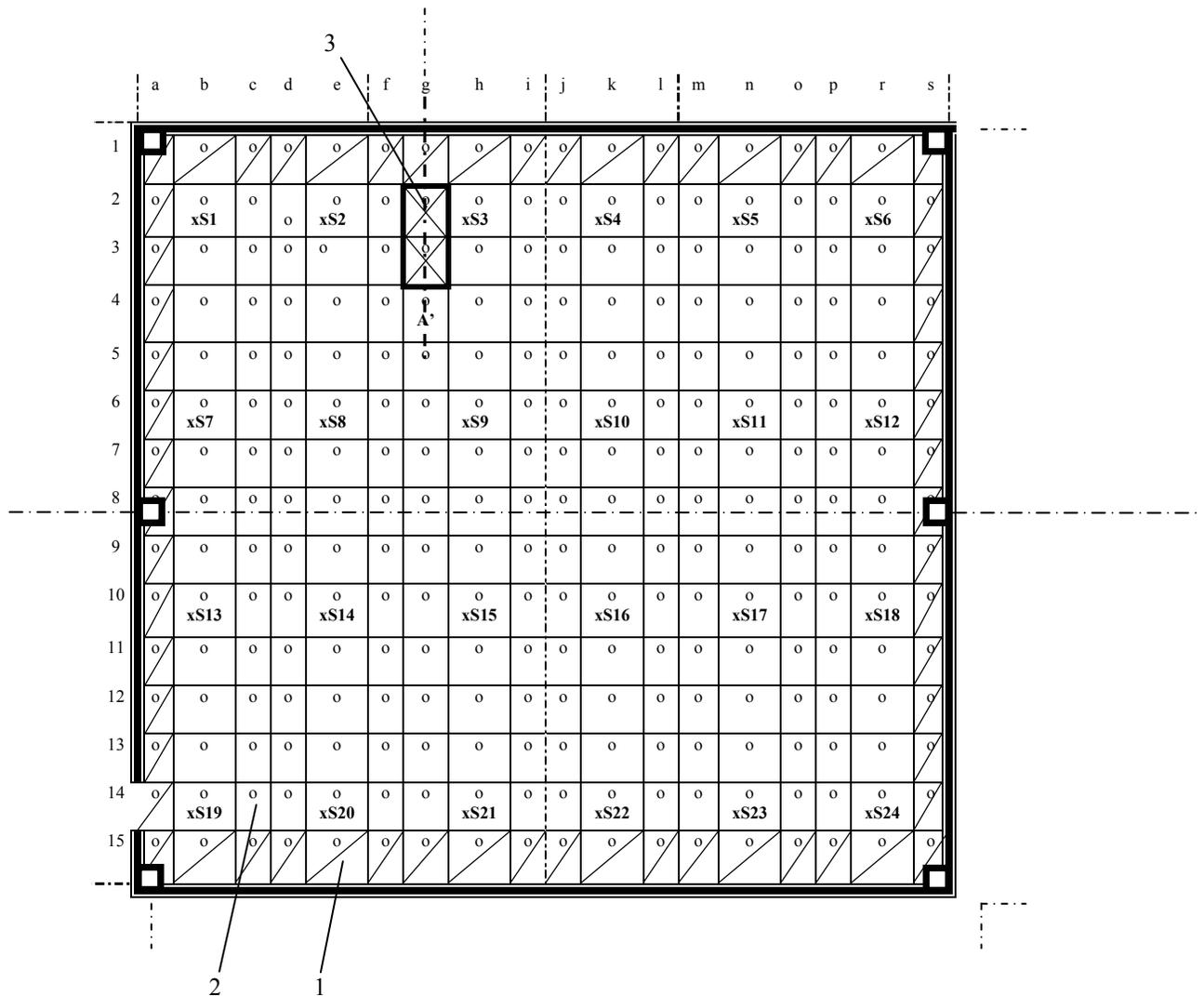
$$\Phi'_{nec} = \frac{2}{3} \Phi_{ef} = \frac{2}{3} 763200 \Rightarrow \mathbf{\Phi'_{nec} = 508\ 800 \text{ lm}}$$

$$n = \frac{\Phi'_{nec}}{2 \cdot \Phi} = \frac{508800}{2 \cdot 10600} \Rightarrow \mathbf{n = 24}$$

Donc, il est nécessaire 24 corps d'éclairage.

Le remplacement des corps d'éclairage dans la halle et les surfaces pour la détermination de l'illumination moyenne par la méthode point à point:

- 1 - la zone de circulation;
- 2 - la zone de travail;
- 3 - la surface de travail.



La vérification quantitative d'installation d'éclairage général par la méthode point à point (la solution correcte)

Pour la détermination de l'illumination moyenne directe en plan utile, on calcule, par la méthode point à point l'illumination directe dans les centres des surfaces carrées avec les dimensions 2x2 mètres dans lequel on divise la surface entier de la chambre. Il résulte ainsi 270 points de calcul. On calcule l'illumination moyenne directe, en plan utile, en utilisant la courbe $E = f(a)$ (fig. 2.39.).

- On détermine l'illumination moyenne directe par la relation:

$$E_{md} = \frac{\sum_{i=1}^n E_i}{n}$$

où E_i représente les illuminations directes dans les centres des surfaces carrées et n représente leur nombre ($n=270$).

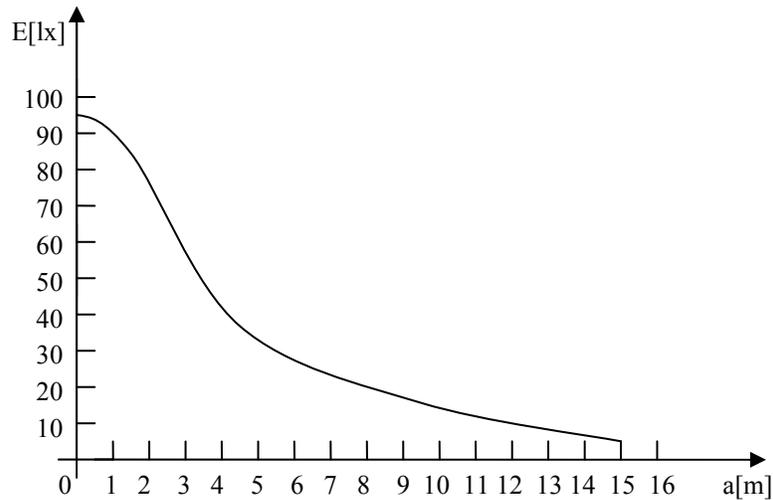


Fig. 2.39. La courbe de variation $E = f(a)$ pour les corps d'éclairage type PVSCb-2250 montés à $h = 7,5$ m au-dessus de plan utile

Pour le calcul de l'illumination moyenne on multiplie par quatre la somme des valeurs de l'illumination dans les points $a, \dots, 7i$ et on multiplie par deux la somme des valeurs de l'illumination dans les points $8a, \dots, 8i$.

Ainsi on obtienne:

$$E_{md} = \frac{4 \cdot 11987 + 2 \cdot 1718}{270} \Rightarrow E_{md} = 190,31 \text{ lx}$$

On détermine la composante reflétée par les relations:

$$\Phi_c = \eta_r \cdot n \cdot 2 \cdot \Phi_i \Rightarrow \Phi_c = 0,54 \cdot 24 \cdot 2 \cdot 10600 \Rightarrow \Phi_c = 274\,752 \text{ lm}$$

$$\left. \begin{array}{l} \xi = 1 - \frac{E_{mu} \cdot S_d}{\Phi_c} \\ S_d = 30 \cdot 36 \\ E_{md} \approx E_{mu} \end{array} \right\} \Rightarrow \xi = 1 - \frac{190,31 \cdot 30 \cdot 36}{274752} \Rightarrow \xi = 0,26$$

E_{mu} - est l'illumination moyenne en plan utile;

S_d - est la surface du plancher.

Dans une situation réelle $E_{md} < E_{mu}$ donc $\xi_d > \xi_u$.

$$E_r = \Delta \frac{\rho_1 \cdot u_{12} \cdot \xi \cdot \Phi_c}{[1 - \rho_1(1 - u_{12})]S_2} = 0,769 \frac{0,5 \cdot 0,34 \cdot 0,26 \cdot 274752}{[1 - 0,5(1 - 0,34)]30 \cdot 36} \Rightarrow E_r = 12,9$$

- On vérifie l'illumination effective par la relation:

$$E_{mef} = E_{med} + E_r = 190,31 + 12,3 \Rightarrow E_{mef} = 203,21 \text{ lx}$$

Ainsi il résulte $E_{mef} > E_{mad}$ et l'installation d'éclairage est bien dimensionnée du point de vue quantitative.

- Pour vérifier l'uniformité des illuminations sur une surface de travail, on pose la condition:

$$k_1 = \frac{E_{min.ef}}{E_{m.ef}} = \frac{E_{min.d} + E_r}{E_{md} + E_r} \geq k_{ad}; \quad \left. \begin{array}{l} \\ \\ \end{array} \right\} \Rightarrow k_1 = \frac{182}{232} = 0,78 > 0,65$$

$k_{ad} = 0,65$

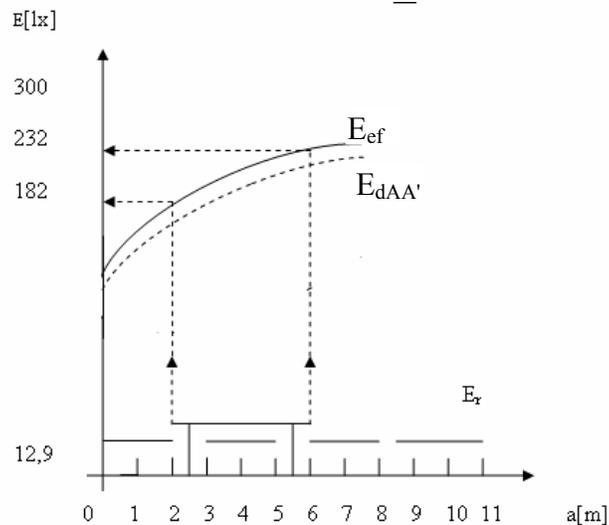


Fig. 2.40. La variation de l'illumination effective sur la direction AA'

On lit l'illumination minimale et maximale sur la surface de travail à l'aide du graphique de la variation de l'illumination effective sur la direction AA' (fig. 2.40.).

La vérification qualitative de l'installation d'éclairage général par la méthode d'indice de cécité

On considère que l'activité se déroule en restant sur la chaise. Les données: **H = 7,3 m.**

Les dimensions de la chambre en fonction de la ligne de vue: **A = 30 m; B = 36 m.**

On exprime les dimensions en fonction de H:

$$\frac{A}{H} = \frac{30}{7,3} = 4,1 ; \text{ mais } \mathbf{A = 4,1H};$$

$$\frac{B}{H} = \frac{36}{7,3} = 4,9 ; \text{ mais } \mathbf{B = 4,9H};$$

- On calcule l'indice local par relation:

$$i = \frac{A \cdot B}{H(A + B)} = \frac{30 \cdot 36}{7,3(30 + 36)} \Rightarrow \mathbf{i = 2,2}$$

- La détermination de l'indice de cécité de base

Parce que $\rho_t = 0,5$; $\rho_p = 0,5$ et $\rho_d = 1,4$ (à l'aide du tableau 2.4.) il résulte l'indice de cécité de base, **I_b = 22,6** et le terme de correction $T_c = 0$, parce que la source est punctiforme.

- La détermination d'indice de cécité initial (I_i):

$$\left. \begin{array}{l} I_i = I_b + T_c \\ T_c = \mathbf{5,8} \text{ (le terme de correction)} \end{array} \right\} I_i = 22,6 + 5,8 \Rightarrow \mathbf{I_i = 28,4}$$

- La détermination d'indice de cécité final (I_f):

$$I_f = I_i + T_\phi + T_s + T_H$$

Tableau 2Les valeurs du terme de correction T_c

$\Phi' / \%$		0			25			50							
$\Phi , / \%$		100			75			50							
$\Phi' / \Phi , / \%$		100			0,33			1							
$\rho_t / \%$	70	50	30	30	70	50	30	70	50	30					
$\rho_p / \%$	50	30	50	30	30	50	30	50	30	30					
T_c	5,2	7,1	5,8	7,6	8,1	2,7	4	3,6	5	6,1	0,1	1,1	1,2	2,4	4

Tableau 3

T_Φ		T_S		T_H	
Le flux lumineuse Φ_i du corps d'éclairage, dans l'hémisphère inférieure, Φ [lm]		La surface lumineuse S du corps d'éclairage [cm ²]		L'hauteur de montage H du corps d'éclairage au-dessus de niveau des yeux, [m]	
100	-6,0	65	+8,0	0,92	-1,3
150	-4,9	97	+6,6	1,24	-1,0
200	-4,2	129	+5,6	1,83	-0,6
300	-3,1	193	+4,2	2,44	0,3
500	-1,8	322	+2,4	3,05	0,0
500	-0,9	450	+1,2	3,65	+0,3
1000	0	645	0,0	4,50	+0,6
1500	+1,1	955	-1,4	6,10	+1,0
2000	+1,8	1290	-2,4	7,60	+1,3
3000	+2,9	1930	-3,8	9,15	+1,6
5000	+4,2	3200	5,6	12,40	+2,1
7000	+5,1	4500	6,8		
10000	+6,0	6450	-8,0		
15000	+7,1	9650	-9,4		
20000	+7,8	12900	-10,4		
30000	+8,9	19300	-11,8		
50000	+10,2	32200	-13,6		