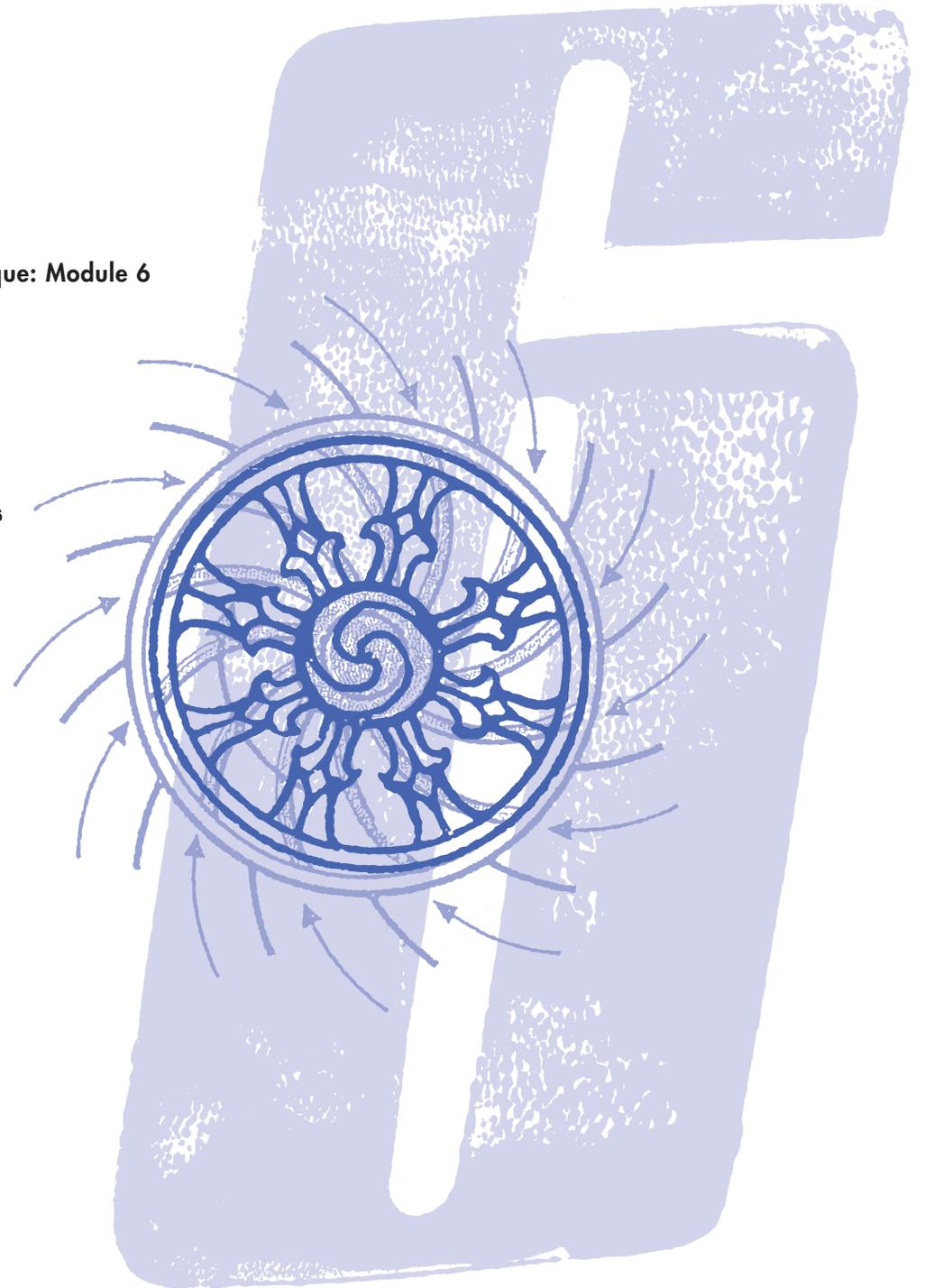


Eclairage

L'énergie dans l'enseignement professionnel

Modules pour les professions techniques, de l'électricité et de l'informatique: Module 6

- 1 Introduction: de quoi s'agit-il?**
- 2 Objectifs de la formation**
- 3 Eléments proposés pour le plan des leçons**
- 4 Connaissances de base**
 - Bases physiques
 - Notions de technique de l'éclairage
 - Etude des installations d'éclairage
 - Sources lumineuses
 - Utilisation de la lumière du jour
 - Commandes automatiques
- 5 Exercices et solutions proposées**
- 6 Bibliographie**
- 7 Sources**
- 8 Modèles**



1 Introduction: de quoi s'agit-il ?

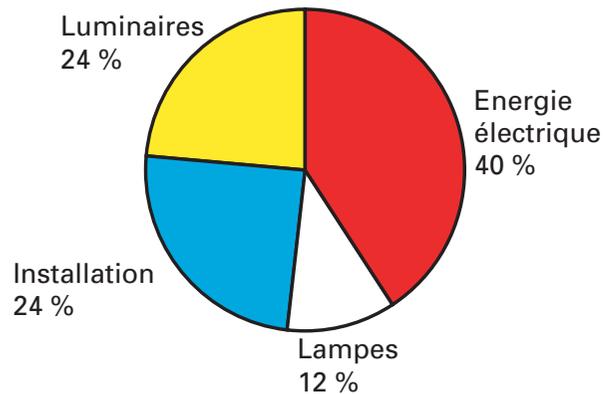


Fig. 1: Dépenses pour l'éclairage artificiel

Le coût annuel de l'éclairage artificiel en Suisse s'élève à 3 milliards de francs. 40% de cette somme correspond à l'énergie électrique d'exploitation nécessaire, 24% à l'achat de nouveaux luminaires et 24% à l'étude et à la pose. Le reste, soit 12%, représente l'achat des lampes et leur remplacement.

Il ressort de ce diagramme qu'il est possible de faire des économies importantes au chapitre de l'éclairage. Les économies d'énergie dans ce domaine deviennent vraiment intéressantes si l'on considère en plus les aspects suivants:

- L'énergie électrique est une énergie précieuse et chère.
- Les possibilités d'économiser l'énergie sont nombreuses et de loin pas encore toutes mises à profit.
- L'économie d'énergie est possible sans perte de confort et apporte même, dans l'exemple de la commande automatique de l'éclairage, une amélioration de ce point de vue là.

Eclairage naturel

L'énergie économisée le plus efficacement est naturellement celle qui n'est pas consommée. Donc, partout où c'est possible, il faut laisser affluer la lumière du jour dans la pièce en prenant des mesures architectoniques et techniques.

Eclairage artificiel

La population n'a pris conscience du fait qu'un choix judicieux des lampes permettait d'économiser de l'énergie que quand sont apparues sur le marché les premières lampes à faible consommation d'énergie. Si leur diffusion a été plutôt hésitante, cela peut provenir de leur prix d'achat plus élevé que celui des ampoules traditionnelles, de leur comportement différent à l'allumage et de leur forme inhabituelle. Les gens ont souvent simplement besoin de temps pour s'habituer à quelque chose de nouveau.

Entre-temps, les professionnels ont compris depuis longtemps que les tubes fluorescents (dont font aussi partie les lampes à faible consommation) consommaient moins d'énergie électrique. Toutefois, l'intégration de ces lampes exige des concepteurs un travail bien plus délicat sur le plan de l'esthétique dans les habitations.

Le choix des luminaires (abat-jour) et du genre d'éclairage (direct ou indirect) a une influence décisive aussi sur l'efficacité des installations.

Commande et régulation

En ce qui concerne les installations, d'autres possibilités d'économie sont apparues grâce à des moyens techniques comme les horloges de commande, les détecteurs de présence, les variateurs et les systèmes de bus intelligents.

2 Objectifs de la formation

L'apprentie, l'apprenti ...

- connaît toute l'importance de l'utilisation de la lumière du jour sur le plan énergétique.
- sait donner la répartition approximative de la consommation entre les différents groupes de consommateurs d'électricité.
- connaît les propriétés énergétiques des différents produits.

Exemples de réponses:

- utilisation directe de la lumière du jour par des fenêtres hautes et orientées au sud
- utilisation indirecte de la lumière du jour par réflexion sur des parois claires ou des miroirs de déviation
- pas d'entrave à la pénétration de la lumière (stores, rideaux, soupiraux, arbres, etc.)
- places de travail proches des fenêtres
- Dans un ménage, si l'on ne tient pas compte du chauffe-eau électrique, 15 à 20% de la consommation d'électricité est due à l'éclairage.
- Le reste se répartit en parts à peu près égales entre la cuisson, le réfrigérateur, la machine à laver, le lave-vaisselle, l'éclairage et les autres appareils.
- Les lampes à incandescence sont des gaspilleurs d'énergie. 95% de l'énergie est perdue en chaleur.
- Les lampes halogènes ne sont pas des lampes à faible consommation.
- Les lampes lumineuses à gaz utilisent 5 à 10 x mieux l'énergie que les lampes à incandescence. En outre, elles ont une durée de vie 10 x supérieure. Elles sont plus économiques malgré leur prix plus élevé.
- Les lampes à faible consommation et les lampes fluorescentes compensent le coût de leur énergie grise déjà après une courte période.

- connaît les possibilités de commande et de régulation sur le plan énergétique.
- Les détecteurs de présence n'allument les lampes que lorsque la lumière est nécessaire.
- Les sondes de luminosité modèrent l'éclairage électrique en fonction de la lumière du jour ou même l'éteignent complètement.
- Les stores automatiques assurent des conditions de lumière agréables et une utilisation optimale de la lumière du jour.
- Les systèmes de bus permettent une gestion centralisée des lampes au moyen d'un ordinateur personnel.

3 Éléments proposés pour le plan des leçons

Introduction

Le but principal de ce module est de démontrer qu'il est possible, dans un bâtiment, de réaliser un éclairage consommant moins d'énergie électrique à confort égal voire supérieur. On se servira, pour introduire le sujet, des boîtes lumineuses décrites dans l'expérience e) ci-après. On prendra une boîte avec une lampe à incandescence de 60 W et une autre avec une lampe à faible consommation de 18 W; on les placera de telle manière que les observateurs ne voient pas les lampes (à allumer d'avance). La lumière émise a pratiquement la même couleur pour les deux lampes et la luminosité est aussi la même.

On compare ensuite avec un wattmètre les puissances consommées. Si l'on calcule la consommation annuelle d'énergie des deux lampes, l'effet d'économie devient évident.

Avec un thermomètre digital, on peut montrer en outre l'important dégagement de chaleur de la lampe à incandescence.

Expériences

a) Décomposition de la lumière

Monter dans un projecteur de diapositives un diaphragme en fente d'environ 2 mm à la place d'une diapositive. On peut en fabriquer un soi-même à partir d'une feuille de papier d'aluminium et d'un cadre de diapositive. A la distance d'environ 10 cm, placer un prisme de verre de telle manière que le rayon lumineux tombe obliquement sur la surface du verre. Le spectre des couleurs apparaît sur l'écran sous un angle de 30 à 45°.

b) Addition de couleurs

Devant trois lampes spots à halogènes de 12 V, on monte trois disques filtrants rouge (magenta), bleu et jaune, respectivement. (Les disques filtrants peuvent être achetés en set.) A l'endroit où les trois cônes de lumière se croisent apparaît une lumière blanche. C'est le même procédé qui est appliqué à l'image en couleurs du téléviseur, composée de points verts, bleus et rouges. On le voit d'ailleurs très bien avec l'aide d'une loupe. L'œil ayant un certain flou au niveau de la rétine, les couleurs de base se fondent en un blanc ou en une couleur composée.

c) Perception des couleurs

Si l'on éclaire, avec une seule lampe spot de couleur (de l'expérience b) ci-dessus), une feuille de papier blanche sur laquelle se trouve un texte de la couleur de la lumière, la feuille semble vide, car le papier blanc tout comme l'écriture de couleur réfléchissent cette même lumière monochromatique.

d) Soustraction de couleur

Les trois mêmes filtres (magenta, bleu et jaune) sont posés en se chevauchant sur le rétroprojecteur. Une couleur composée se forme à l'endroit où deux disques filtrants se recouvrent. Là où tous les disques se recouvrent, plus aucune lumière ne passe.

Ce principe est utilisé pour l'impression quadrichrome. Les trois couleurs principales sont imprimées l'une après l'autre. Pour l'obtention d'un noir saturé, on applique en plus la quatrième « couleur » d'impression, le noir.

constante d'environ 1 mètre, l'éclairement en fonction de la puissance. Si l'on représente graphiquement ces deux grandeurs, on constate que l'efficacité lumineuse d'une lampe à incandescence varie presque quadratiquement avec la puissance.

e) Illuminer des objets colorés avec différentes sources lumineuses

Avec un panneau d'aggloméré laqué de blanc, fabriquer 4 caisses de format approximatif A3 et de 20 cm de profondeur. Fermer aussi le côté antérieur, mais à moitié seulement. Derrière ce couvercle, disposer les diverses sources lumineuses: une lampe à incandescence, une lampe à faible consommation d'énergie, une lampe à vapeur de mercure et une lampe à vapeur de sodium à haute pression, respectivement. L'apparence d'objets colorés est totalement différente d'une boîte à l'autre.

f) Efficacité lumineuse d'une lampe à incandescence utilisée avec un variateur

Une ampoule électrique (par ex. une ampoule à halogène de 150 W) est branchée sur le réseau 230 V par l'intermédiaire d'un wattmètre et d'un variateur de lumière. La lumière du jour étant masquée, on mesure avec un luxmètre, à la distance

4 Connaissances de base

4.1 Bases physiques

La lumière

La lumière a le caractère des ondes électromagnétiques. Elle est donc apparentée aux ondes radio, aux rayons X et au rayonnement radioactif.

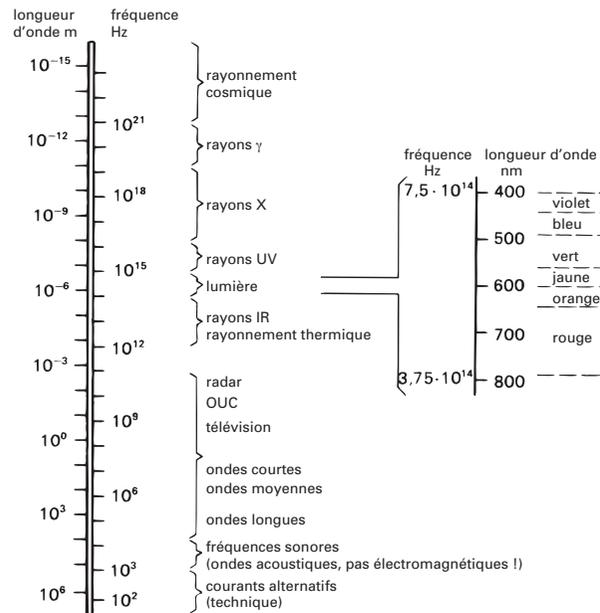


Fig. 2: Aperçu des fréquences

Les ondes lumineuses ont une fréquence particulièrement élevée. Notre œil perçoit des fréquences de 4 à $7,5 \times 10^{14}$ Hz (hertz), ce qui correspond à des longueurs d'onde de 400 à 700 nm (nanomètres).

Spectre (des couleurs)

Si l'on fait passer de la lumière blanche à travers un prisme de verre, les ondes lumineuses sont réfractées plus ou moins fortement selon leur longueur d'onde. Pour cette raison, les différentes couleurs sont visibles sur un écran de projection les unes à côté des autres.

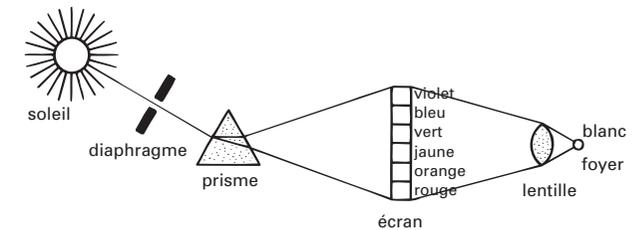


Fig. 3: Dispersion de la lumière par un prisme

Rendu des couleurs et température de couleur

Une surface blanche paraît blanche parce que la lumière qu'elle réfléchit contient toutes les couleurs. Si une surface ne réfléchit qu'une certaine couleur, p.ex. le vert, alors elle paraît verte à nos yeux. Si elle ne renvoie aucune couleur, la surface semble noire.

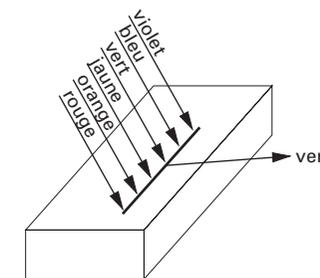


Fig. 4 : Réflexion par une surface de couleur

Un corps ne peut donc apparaître sous sa bonne couleur que si la source lumineuse qui l'éclaire contient toutes les composantes de couleur de la lumière du jour, et cela dans les mêmes proportions. La qualité spectrale d'une source lumineuse est évaluée par comparaison avec la lumière du jour au moyen de l'**indice de rendu des couleurs Ra**. De 90 à 100 points (on dit aussi alors que le rendu des couleurs est de degré 1a), c'est la qualité la meilleure, de 80 à 90 (degré 1b) une bonne qualité. Dans les locaux de travail, d'habitation ou de séjour, on ne devrait pas utiliser de source lumineuse de qualité moindre.

Par ailleurs, on caractérise la couleur d'une source lumineuse par la notion de **température de couleur**, par comparaison avec une barrette de carbone incandescente. Cette température de couleur est exprimée en Kelvin ($0\text{ K} = -273\text{ °C}$). Plus la barrette est brûlante, plus blanche est sa lumière.

Dans les entreprises des arts graphiques et les magasins de textiles, il faut donc installer des lampes ayant une température de couleur la plus semblable possible à celle de la lumière du jour et un rendu des couleurs du degré 1a. La lumière des lampes à incandescence a une forte proportion de rouge; c'est pourquoi les rouges semblent plus intenses. Dans la lumière des lampes à vapeur de mercure par contre, le bleu paraît beaucoup trop fort, car son spectre des couleurs est caractérisé par un haut pourcentage de bleu. On peut, bien sûr, aussi tirer profit de cette propriété, en installant p.ex. dans les boucheries des lampes émettant un haut pourcentage de rouge; la viande semble alors beaucoup plus rouge.

Lampe	Température de couleur
lampe à incandescence	2800 K
lampe à incandescence à halogène	3200 K
lampe fluorescente blanc chaud	3000 K
lampe fluorescente blanche	4500 K
lampe fluorescente «lumière du jour»	6000 K

4.2 Notions de technique de l'éclairage

Flux lumineux

La puissance éclairante d'une lampe est appelée flux lumineux. Elle est mesurée par le fabricant dans un espace de forme sphérique absolument blanc, baptisé sphère d'Ulrich. La lampe est suspendue au centre pour qu'elle puisse rayonner de tous les côtés. Une cellule photoélectrique étalonnée mesure le flux lumineux total émis par la source lumineuse. Le flux lumineux s'exprime en lumen (lm) et son symbole est Φ (phi majuscule).

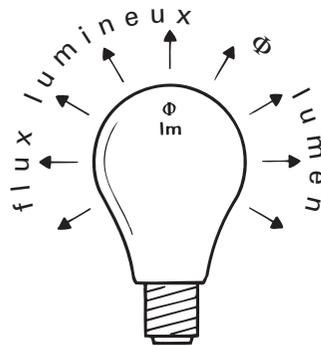


Fig. 5: Flux lumineux Φ

Le flux lumineux d'une lampe est appelé **flux lumineux de la lampe** Φ_L .

Le flux lumineux de toutes les lampes d'un local est appelé flux lumineux global Φ .

Le flux lumineux incident sur un plan de travail est appelé flux lumineux utile Φ_N .

Efficacité lumineuse

L'efficacité lumineuse permet de comparer entre elles différentes lampes au point de vue de la rentabilité. Le flux lumineux des lampes se réfère à une puissance électrique de 1 watt. Plus élevée est l'efficacité lumineuse, plus rentable est la lampe.

$$\eta = \frac{\text{flux lumineux de la lampe [lumen]}}{\text{puissance de la lampe [watt]}} = \frac{\Phi_L}{P} \text{ [lm/W]}$$

Le tableau suivant présente le flux lumineux et l'efficacité lumineuse de différents types de lampes.

Lampe	Puissance P	Flux lumineux Φ_L	Efficacité lumineuse η	mieux que la lampe à incandescence
Lampe à incandescence	40 W	430 lm	10,75 lm/W	–
Lampe à incandescence à halogène	20 W	350 lm	17,5 lm/W	1,5 x
Lampe fluorescente	36 W	3000 lm	83,3 lm/W	7,5 x
Lampe à basse consommation d'énergie	9 W	540 lm	60 lm/W	5,5 x
Lampe à vapeur métallique à haute pression	150 W	12 500 lm	83,3 lm/W	7,5 x
Lampe à vapeur de sodium à basse pression	150 W	21 000 lm	140 lm/W	13 x

Eclairement (lumineux)

Si une surface de 1 m² est éclairée par un flux lumineux de 1 lm, alors on dit que son éclairement lumineux est de 1 lux. L'unité lux signifie donc lumen par mètre carré. L'adjectif lumineux peut être omis en français quand il n'y a pas de confusion possible avec une autre grandeur, l'éclairement énergétique, qui se mesure en W/m².

$$E = \frac{\text{flux lumineux utile [lumen]}}{\text{surface utile [m}^2\text{]}} = \frac{\Phi_N}{A} \quad [\text{lx}]$$

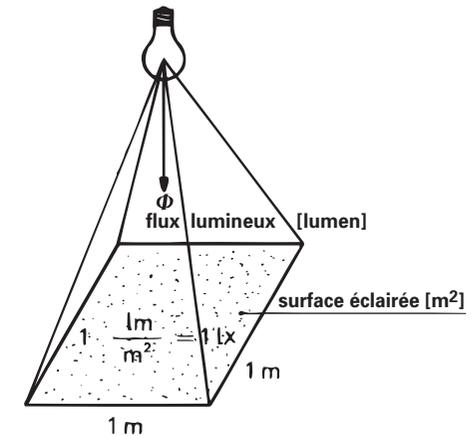


Fig. 6: L'éclairement E

Eclairages recommandés

Tâche confiée à l'œil	Exemples	Eclairement
orientation	corridor, chambre à coucher, grand dépôt	50 lux
facile	salon, restaurant, salle des machines	150 lux
normale	cuisine, halle de montage, local de vente	350 lux
	local avec travail à l'écran	400 lux
	salle de classe	500 lux
difficile	microtechnique, dessin technique	750 lux
très difficile	orfèvre	1'000 lux
cas spéciaux	table d'opération	5'000 lux

L'éclairement lumineux se mesure avec un **luxmètre**. La lumière incidente produit une tension électrique dans un élément photosensible de même sensibilité aux couleurs que l'œil humain. Cette tension est mesurée par un instrument étalonné en lux. Pendant la mesure, l'élément photosensible de l'appareil doit

se trouver à la hauteur du plan de travail et il faut veiller à ne pas l'obscurcir par un objet ou une personne mal placée. Il faut aussi éviter toute lumière parasite (fenêtre).

Pour déterminer l'éclairage moyen dans un local, on mesure avec le luxmètre l'éclairage en plusieurs points répartis uniformément et on calcule la moyenne de ces résultats de mesure.

$$E_m = \frac{E_1 + E_2 + E_3 + \dots + E_n}{n} \quad [lx]$$

n = nombre de points de mesure

Variation de l'éclairage avec la distance de la source

Source lumineuse ponctuelle

Si l'on s'éloigne d'une source lumineuse ponctuelle, comme p.ex. une lampe à incandescence, l'éclairage diminue; il est inversement proportionnel au carré de la distance de la source, car la surface éclairée augmente aussi bien en largeur qu'en profondeur. En doublant donc la distance, on ramène l'éclairage au quart de sa valeur initiale.

$$E_2 = E_1 \frac{r_1^2}{r_2^2} \quad [lx]$$

L'éclairage varie comme l'inverse du carré de la distance de la source.

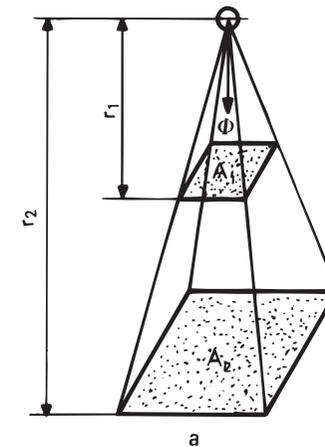


Fig. 7: Source lumineuse ponctuelle

Bandeaux lumineux

Dans le cas d'un bandeau lumineux, composé p.ex. de tubes fluorescents alignés contigus, l'éclairage diminue aussi avec l'éloignement de la source, mais cette fois de manière inversement proportionnelle à la distance elle-même, car la surface éclairée n'augmente qu'en largeur. Un doublement de la distance réduit donc ici l'éclairage de moitié.

$$E_2 = E_1 \frac{r_1}{r_2} \quad [\text{lx}]$$

L'éclairage est inversement proportionnel à la distance

Conclusion:

Une hauteur optimale de la suspension des luminaires permet, à éclairage égal, d'installer une lampe moins puissante et ainsi d'économiser de l'énergie.

Intensité lumineuse et luminance

Une source lumineuse rayonne avec une intensité différente dans chaque direction. Le flux lumineux rayonnant dans une certaine direction se nomme intensité lumineuse. Celle-ci se mesure en **candela [cd]**.

La luminance est une mesure de l'impression de luminosité que l'œil ressent d'une source lumineuse ou d'une surface éclairée. Elle s'exprime en **cd/m²** ou en **cd/cm²**.

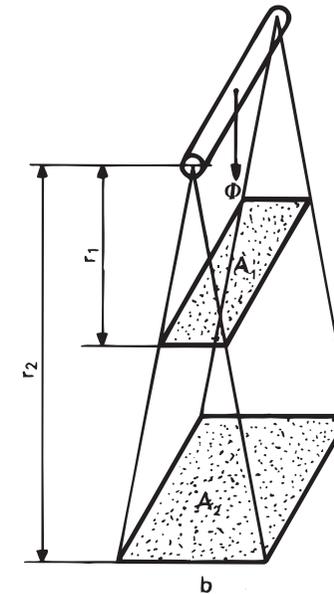


Fig. 8: Bandeau lumineux

Une luminance élevée, surtout en présence de grandes différences de luminance (contraste), provoque l'éblouissement.

L'éblouissement est à éviter. Il est souvent causé par le mauvais positionnement de sources lumineuses de luminance élevée. L'éblouissement direct abaisse le pouvoir visuel et provoque la fatigue. L'éblouissement se produit généralement quand des lampes ou des luminaires se trouvent dans le champ visuel. Il est particulièrement marqué dans le champ visuel jusqu'à 45°.

L'éblouissement peut aussi être provoqué indirectement par réflexion sur des surfaces brillantes ou claires. Lors du choix de la disposition des lampes, il faut penser à la loi de la réflexion: l'angle de la surface avec le rayon lumineux réfléchi est le même qu'avec le rayon lumineux incident.

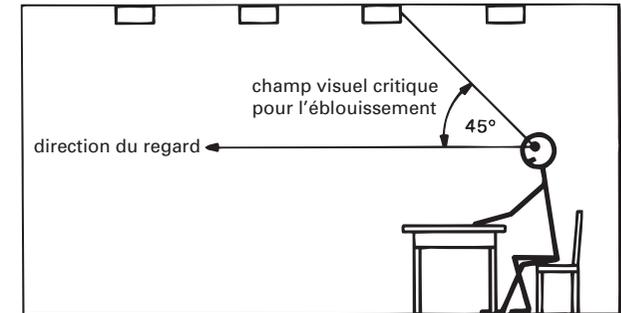


Fig. 9: Eblouissement direct

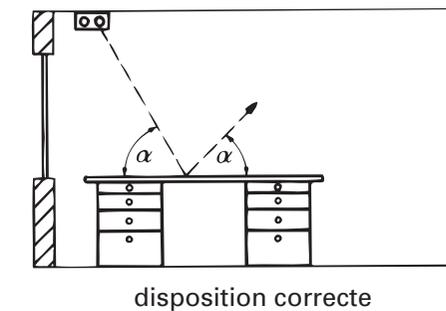
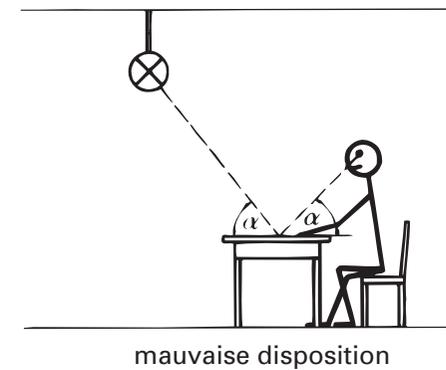


Fig. 10: Eblouissement indirect

4.3 Etude des installations d'éclairage

L'étude des installations d'éclairage se fait aujourd'hui généralement à l'aide de logiciels. Les données de base les plus importantes sont la géométrie du local, son affectation (on tient compte ici de la disponibilité de la lumière du jour via la géométrie des fenêtres), la couleur et le coefficient de réflexion des surfaces, l'ameublement, l'éclairage exigé et les propriétés des luminaires à installer. L'influence du local et des luminaires est décrite à l'aide du facteur d'utilisation de l'éclairage.

Facteur d'utilisation d'un éclairage

Une partie du flux lumineux émis par les lampes ne participe pas à l'éclairage de la pièce ni même de la place de travail, car elle est, par exemple, absorbée («avalée») par le grillage des lampes. De même, les parois et les plafonds absorbent une partie importante de la lumière émise. Ces pertes sont prises en considération par le biais du **facteur d'utilisation de l'éclairage** η_B . On fait encore une distinction entre le rendement d'exploitation des luminaires et l'efficacité du local. A part cela, le vieillissement

Facteur d'utilisation d'un éclairage (exemples)

Genre d'éclairage	Plafond et parois claires	Plafond clair, parois teintées
Direct	55 %	50 %
Essentiellement direct	50 %	45 %
Uniforme	45 %	35 %
Essentiellement indirect	35 %	25 %
Indirect	30 %	15 %

et l'encrassement des luminaires occasionnent, avec le temps, une réduction du flux lumineux. On en tient compte par un facteur correctif supplémentaire.

La valeur du facteur d'utilisation de l'éclairage est difficile à déterminer dans la pratique. En particulier, seule une estimation de l'efficacité des pièces est possible d'avance. En résumé, les paramètres suivants jouent un rôle en la matière:

- le genre d'éclairage (direct, uniforme ou indirect)
- la couleur des parois et des plafonds
- la construction des luminaires (grillage, couvercle, verre opalin)
- l'âge et le degré d'encrassement des luminaires
- leur hauteur de suspension
- la température ambiante

Ces paramètres influencent considérablement la consommation d'énergie d'une installation. C'est pourquoi il faut absolument tenir compte du facteur d'utilisation lors de l'étude d'un éclairage.

$$\eta_B = \frac{\text{flux lumineux utile [lumen]}}{\text{flux lumineux total [lumen]}} = \frac{\Phi_B}{\Phi} \quad [-]$$

Calcul de l'éclairage moyen

L'éclairage moyen E_m dans une pièce de surface A se calcule sur la base du nombre de lampes N , du flux lumineux de chaque lampe Φ_L et du facteur d'utilisation de l'éclairage η_B .

$$E_m = \frac{N \cdot \Phi_L \cdot \eta_B}{A} \quad \frac{[\text{lm}]}{[\text{m}^2]} = [\text{lx}]$$

Évaluation de l'efficacité d'une installation d'éclairage

On peut évaluer, généralement sans faire de mesures, l'efficacité de nombreuses installations d'éclairage au moyen de la puissance électrique installée par unité de surface (W/m^2). (Dans le cas des lampes fluorescentes, il ne faut pas oublier de tenir compte des ballasts !)

Une comparaison directe n'est valable naturellement que pour des éclairages qui rendent le même service, donc donnent le même éclairage. C'est pourquoi on ramène la puissance à celle – normalisée – qui correspond à la fourniture de 100 lux. Comme les utilisations les plus courantes en la matière (bureau, école, lecture, travail manuel) font appel à 400 lux, l'éclairage de 400 lux sert aussi souvent de référence pour la comparaison.

Exemple:

Eclairage [lx]	Installation ancienne inefficace [W/m ²]	Installation efficace [W/m ²]
100	> 5	2 ... 3
400	> 20	8...12

4.4 Sources lumineuses

Lampes à incandescence

Les lampes à incandescence sont basées sur l'effet Joule du courant électrique dans une résistance. Dans une ampoule de verre sous vide ou remplie de gaz noble se trouve un mince filament de tungstène qui est chauffé à une température d'environ 2500 °C et devient incandescent. Les lampes à incandescence sont donc des émetteurs de rayonnement thermique, ce qui fait que seul 5% environ de l'énergie est rayonnée sous forme de lumière utile, le reste étant de la chaleur perdue.

Les lampes à incandescence ont pour les consommateurs divers avantages et inconvénients.

Avantages:

- prix d'achat avantageux
- émission immédiate de lumière
- réglage aisé de l'intensité
- couleur agréable de la lumière (2700 K)
- énergie grise insignifiante (env. 0,7 kWh)
- élimination facile.

Inconvénients:

- mauvaise efficacité lumineuse
- fort dégagement de chaleur
- durée de vie limitée (env. 1000 h)
- sensibles aux vibrations
- les surtensions raccourcissent considérablement la durée de vie
- le tungstène évaporé affaiblit progressivement l'émission de lumière.

Lampes à incandescence à halogènes

On ajoute au gaz de remplissage une petite quantité d'halogènes (iode et brome), qui ont pour mission de capturer les atomes de tungstène évaporés et de les déposer à nouveau sur le filament en bouclier. Vu la haute température de fonctionnement (env. 2800 °C) et la construction compacte, l'ampoule est fabriquée avec du quartz.

Lampes 230 V à halogènes

De la forme d'un bâtonnet, elles sont utilisées dans les projecteurs et ont une puissance de 100 à 1000 W.

Lampes basse tension à halogènes

Elles ont généralement une tension de fonctionnement de 12 V et nécessitent un transformateur classique ou un «transformateur électronique» qui, grâce à la fréquence «surélevée» à laquelle il travaille (35 kHz), a des pertes et un encombrement réduits. Les lampes basse tension à halogènes consomment une puissance pouvant aller jusqu'à 100 W. Des modèles munis d'un miroir «à lumière froide» émettent la lumière visible principalement vers l'avant, tandis que le rayonnement thermique se dirige en grande partie vers l'arrière.

Les lampes à incandescence à halogènes dégagent sous forme de chaleur plus de 90% de l'énergie reçue. C'est pourquoi elles ne sont pas indiquées si l'on veut économiser de l'énergie. Il en existe toutefois de nouveaux types baptisés IRC», qui sont

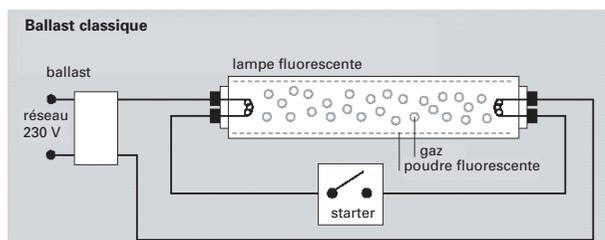


Fig. 11: Ballast classique

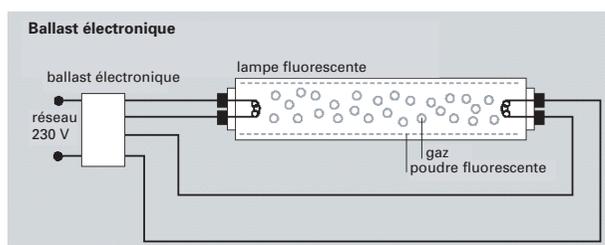


Fig. 12: Ballast électronique

meilleurs de ce point de vue là. Si l'on dépose sur l'ampoule une couche réfléchissant l'infrarouge, on obtient une diminution de la consommation d'énergie de l'ordre de 30%.

Comparaison des propriétés avec celles d'une lampe à incandescence normale:

- meilleure efficacité lumineuse
- lumière plus brillante (couleur de la lumière env. 3200 K)
- durée de vie plus longue (2000 h)
- forme plus compacte
- diminution plus lente de l'émission de lumière avec l'âge
- ampoule de température élevée (observer les instructions de montage!)

Lampes fluorescentes

Les lampes fluorescentes sont des lampes à décharge gazeuse. A l'intérieur d'un tube de verre se trouve de l'argon avec un peu de mercure. Le courant électrique passe à travers le gaz et produit un rayonnement ultraviolet. Dans la poudre blanche fluorescente déposée sur la face intérieure du tube de verre, le rayonnement ultraviolet (invisible) est transformé en lumière visible. On obtient une température de couleur qui varie avec la composition de la couche. Les lampes fluorescentes ne peuvent pas être branchées directement sur le secteur, car le gaz ionisé, très bon conducteur, occasionnerait un court-circuit. On a besoin d'un ballast pour le fonctionnement; placé dans le luminaire, il limite

le courant. Dans les ballasts classiques munis d'une bobine d'induction, il faut encore un starter. Les ballasts électroniques convertissent le courant alternatif de 50 Hz en une fréquence d'env. 35 kHz. La lampe s'allume tout de suite et l'intensité du courant est limitée électroniquement. Le starter est superflu.

Avantages du ballast électronique sur le ballast classique:

- plus économique, car pertes réduites dans le ballast et meilleure efficacité lumineuse des tubes
- allumage immédiat
- sans scintillement (pas d'effet stroboscopique)
- intensité lumineuse réglable par variateur manuel ou commande de luminosité
- plus longue durée de vie des tubes
- pas de ronflement du ballast ni des tubes
- pas de courant réactif (facteur de puissance $\cos \varphi = 1$)

Les lampes fluorescentes ont un rendement de 25 à 35%. Ainsi, leur efficacité lumineuse est à peu près 5 fois meilleure que celle des lampes à incandescence. Leur durée de vie, de plus de 10 000 heures, dépasse même de 10 fois celle des lampes à incandescence. Les lampes fluorescentes contiennent toutefois du mercure et d'autres substances toxiques; en conséquence, elles doivent être éliminées comme déchets spéciaux.

Couleur de la lumière	Température de couleur	Application
ton chaud	2900 K	locaux d'habitation, écoles, corridors
blanc	4000 K	locaux de travail, locaux de vente, bureaux
lumière du jour	6500 K	textiles, arts graphiques, cosmétiques

Lampes à basse consommation d'énergie (lampes fluorescentes compactes)

Les lampes à basse consommation d'énergie sont des lampes fluorescentes compactes. Elles sont construites comme les lampes fluorescentes normales et fonctionnent selon le même principe, le plus souvent avec un ballast électronique, autrefois aussi avec une bobine et un starter. Les ballasts sont logés dans un socle enfichable ou directement dans un socle E27 ou E14 ou dans le luminaire.

Les lampes à basse consommation d'énergie peuvent remplacer sans autre les lampes à incandescence; elles économisent à peu près 80% de l'énergie

fournie et durent environ 10 fois plus longtemps. Comme, de fait, on n'utilise plus que des lampes à basse consommation d'énergie avec ballast électronique, la fréquence des enclenchements n'a plus d'influence sur la durée de vie. Comme les lampes fluorescentes, les lampes à basse consommation d'énergie doivent être éliminées comme déchets spéciaux. Grâce à une électronique compacte, les lampes à basse consommation d'énergie sont en vente aujourd'hui sous la forme habituelle d'une ampoule ou d'une bougie munie d'un culot E27 ou E14.

Pos.	Forme de lampe	Puissance	Pas de vis
1	tubes coudés trois fois	15 à 23 W	E27
2	tubes coudés deux fois	5 à 12 W	E27
3	tubes coudés deux fois	5 à 12 W	E14
4	tube coudé une fois	3 W	E14
5	semblable à une lampe à incandescence	8 à 16 W	E27
6	lampe à incandescence	5 à 15 W	E27
7	bougie	5 W	E14
8	globe (ballon)	15 à 21 W	E27
9	spot	15 à 20 W	E27

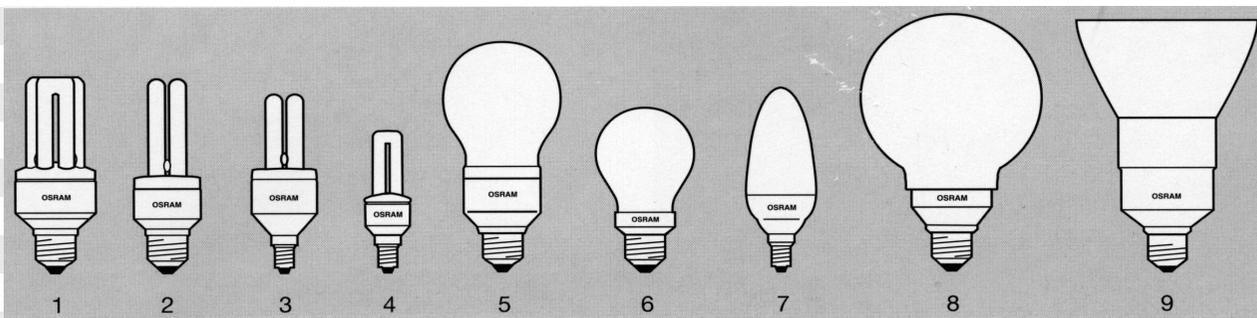


Fig. 13: Formes de lampes compactes et à basse consommation d'énergie

Lampes à vapeur métallique

Les lampes à vapeur métallique à halogènes sont un perfectionnement des lampes à vapeur de mercure à haute pression (HQL), qu'elles ont largement remplacées. Elles ont une ampoule de verre elliptique et un culot E27 ou E40. Dans l'ampoule se trouve un tube à décharge en quartz avec deux électrodes principales, qui contient aussi bien de la vapeur de mercure que des iodures et bromures métalliques. Le rendu des couleurs n'est pas particulièrement bon. C'est pourquoi ces lampes sont surtout utilisées pour l'éclairage des rues, des terrains de sport, des sites industriels ainsi que pour l'illumination des bâtiments. Contrairement aux lampes à vapeur de mercure, elles peuvent aussi être utilisées dans des locaux intérieurs comme les halles de fabrication ou de foires et les centres commerciaux.

Puissance:

50 à 2000 W

Couleur de la lumière:

rouge-blanc (divers types)

Efficacité lumineuse:

60 bis 90 lm/W

Durée de vie:

6000 h

Temps nécessaire à l'allumage à pleine puissance:

3 à 5 min.

Comparaison des caractéristiques des lampes à basse consommation d'énergie et des lampes à incandescence:

	Lampe à basse consommation d'énergie	Lampe à incandescence
Efficacité lumineuse:	60 lm/W	10 à 15 lm/W
Durée de vie:	8'000 à 15'000 h	1'000 h
Couleur de la lumière:	2'700 K (*)	2'700 K (*)
Prix:	env. Fr. 15.00	env. Fr. 1.50
Réglage:	à l'aide d'un ballast-variateur séparé (lampe à socle à 4 pointes)	à l'aide d'un variateur
Elimination:	déchets spéciaux	ordures ménagères
Restriction:	utilisation limitée à cause de la place	aucune (dimensions compactes)
Chaleur:	dégagement minime	fort dégagement
Vibrations:	insensible aux vibrations	sensible aux vibrations
A l'extérieur:	partiellement contre-indiquée pour l'éclairage extérieur	insensible au froid
Entretien:	coût d'entretien minime	remplacement fréquent

(*) voir page 8

Les lampes à vapeur de sodium à basse pression

sont formées d'un tube à décharge en forme de U, qui contient du néon et du sodium métallique. Afin de réduire autant que possible les pertes de chaleur, ce tube est placé lui-même dans une ampoule de verre à double paroi. Comme ballast, on utilise un transformateur à champ de fuite qui produit une tension d'allumage de 500 V environ. Pendant le fonctionnement, la tension tombe à 200 V. Ces lampes sont celles qui ont l'efficacité lumineuse la plus élevée. Leur grand inconvénient est la lumière jaune monochromatique intense qu'elles émettent, qui ne permet pas le rendu des couleurs. Utilisation: éclairage des rues, serres.

Puissance:

18 à 180 W

Couleur de la lumière:

jaune

Efficacité lumineuse:

180 lm/W

Durée de vie:

8000 h

Temps nécessaire à l'allumage à pleine puissance:

5 à 10 min.

Les lampes à vapeur de sodium à haute pression

ont une ampoule elliptique et un culot E 27. Dans l'ampoule se trouve un tube à décharge en aluminium fritté qui contient du gaz noble, du sodium et du mercure. Un transformateur à champ de fuite sert de ballast. Ces lampes ont une qualité de lumière bien supérieure à celle des lampes à vapeur de sodium à basse pression. Elles sont donc aussi indiquées pour les halles de fabrication. L'application la plus importante est l'éclairage des rues.

Puissance:

50 à 2000 W

Couleur de la lumière:

blanc rougeâtre

Efficacité lumineuse:

60 à 90 lm/W

Durée de vie:

6000 h

Temps nécessaire à l'allumage à pleine puissance:

3 à 5 min.

Lampes à induction

Les lampes à induction se distinguent fondamentalement, de par leur fonction, des autres lampes à décharge gazeuse. Dans l'ampoule de verre, qui est munie d'une couche de substance luminescente, se trouve un gaz de remplissage contenant du mercure, qui produit de la lumière par oscillation électromagnétique à haute fréquence. Le générateur haute fréquence produit une fréquence de 2,6 MHz. Il se trouve dans le socle de la lampe; sur ce socle se dresse une bobine en forme de bâtonnet dans laquelle l'ampoule en verre est enfichée. Le grand avantage de cette lampe est sa durée de vie très élevée. Elle est toutefois relativement chère et ne convient pas aux températures inférieures à $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$. Utilisation: éclairage des rues.

Puissance:

55, 85, 165 W

Couleur de la lumière:

blanche

Efficacité lumineuse:

65 lm/W

Durée de vie:

60 000 h

Allumage:

immédiat

Etiquette énergétique

La Suisse applique à partir du 1^{er} janvier 2002 un certain nombre de directives européennes. Dorénavant, les lampes, notamment celles destinées aux ménages, doivent être munies d'une étiquette énergétique indiquant la consommation électrique sur une échelle de couleurs, du vert (catégorie A) au rouge (G). Souvent, les lampes de type A ne sont pas plus chères que celles qui «dévorent» l'électricité, pourvu que l'on compare prix d'achat et durée de vie. En outre, elles réduisent substantiellement les frais d'énergie.

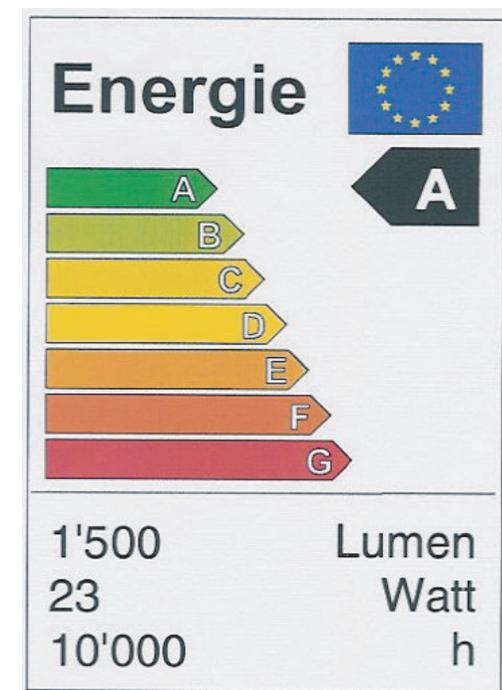


Fig. 14: Etiquette énergétique d'une lampe

4.5 Utilisation de la lumière du jour

L'architecture d'un bâtiment – donc sa forme et sa conception – a une influence déterminante sur la consommation d'énergie de l'éclairage. L'économie peut être particulièrement importante dans les bâtiments utilisés surtout pendant la journée. La lumière du jour ne réduit pas seulement la facture d'électricité; elle améliore aussi le confort et donne un sentiment de bien-être. De plus, elle influence positivement la qualité de la lumière. L'utilisation de la lumière du jour se prépare, bien sûr, lors de l'étude d'un bâtiment nouveau. Mais on peut augmenter la contribution de la lumière naturelle également dans des bâtiments déjà construits, au moyen de mesures adéquates. Vu que la lumière du jour est soumise, de par sa nature à de très grandes variations de luminosité, des dispositions doivent être prises afin que l'éclairage dans les locaux et sur les plans de travail soit régulier et ne provoque pas d'éblouissement désagréable ni de contraste violent. Selon les circonstances, il faut aussi éviter que la pièce ne soit surchauffée par le soleil.

Fenêtres

Du point de vue de la technique de la lumière, on prévoit généralement des surfaces de fenêtre aussi grandes que possible; mais d'un autre côté, en hiver, beaucoup de chaleur se perd si ces surfaces sont importantes. Les aspects suivants doivent être pris en considération lors de l'étude:

- Des fenêtres et des linteaux de fenêtre haut placés augmentent la pénétration de la lumière du jour.

- Des allèges (= parties de mur situées en dessous des fenêtres) surbaissées n'améliorent la pénétration de la lumière que sur le sol; elles sont donc plutôt à éviter.
- La gestion de la chaleur commande de limiter au strict nécessaire la surface des fenêtres sur le côté nord, juste de quoi permettre l'utilisation de la lumière du jour.
- Les fenêtres en toiture apportent beaucoup de lumière, mais sa pénétration peut être limitée par la saleté et par la neige.

Protection solaire

L'incidence directe du rayonnement solaire sur un plan de travail doit être évitée principalement pour trois raisons:

- La forte différence de clarté (contraste) provoque la fatigue des yeux ainsi que des reflets sur les écrans des ordinateurs.
- Sur des surfaces claires ou brillantes, la lumière du soleil crée l'éblouissement.
- Le rayonnement solaire entrant par la fenêtre conduit à un fort échauffement de la pièce (effet de serre), qui n'est pas souhaitable en été.

Les **stores à lamelles (extérieurs)** sont particulièrement indiqués en été. Pour les bâtiments climatisés, ils sont presque une condition sine qua non. Avec des lamelles de couleur claire placées en position oblique, la lumière du jour peut pénétrer dans la pièce par réflexion, sans causer de surchauffe.

Les **stores en tissu (à l'extérieur)** sont particulièrement indiqués en été pour protéger la façade sud du rayonnement solaire intense. L'étoffe doit être claire et translucide. Les stores de couleur rendent plus difficile l'identification des couleurs. Si les stores peuvent être poussés en l'avant vers l'extérieur, le contact avec le monde extérieur s'en trouve amélioré. L'air doit pouvoir circuler entre l'étoffe et la fenêtre, afin qu'en été la chaleur ne s'accumule pas dans cet espace.

En hiver, le soleil, qui est bas sur l'horizon à cette saison, doit pouvoir amener dans la pièce autant de chaleur et de lumière que possible sans pour autant causer d'éblouissement. Des **rideaux (intérieurs)** translucides et de couleur claire ou des bandes de tissu verticales orientables sont particulièrement indiqués.

Les **rouleaux et stores à lamelles (à l'intérieur)** sont composés en général d'une matière solide, de papier ou d'aluminium. Ils sont peu translucides, si bien que l'éclairage artificiel doit être enclenché. Comme ils n'arrivent pas à éviter l'échauffement de la pièce, ils sont inutilisables dans des bâtiments climatisés; pour cette raison, ils ne sont pas autorisés dans certains cantons.

Les **stores à rouleaux et volets (à l'extérieur)** sont inappropriés comme protection contre l'éblouissement. Ils obscurcissent fortement la pièce et rendent nécessaire l'utilisation de la lumière artificielle.

Plafonds, parois et sols

La couleur des parois et du plafond est très importante pour l'utilisation de la lumière du jour comme pour une meilleure efficacité de l'éclairage artificiel. Des parois et des plafonds clairs réfléchissent la lumière du jour et permettent aussi un éclairage régulier des espaces éloignés des fenêtres. Les sols aussi devraient être clairs, dans la mesure du possible. Toutefois, il faut faire attention à ce qu'ils ne soient pas brillants: la lumière d'incidence oblique ne doit pas être réfléchi, sinon elle est la cause de désagréables reflets.

4.6 Commandes automatiques

Parfois, le petit confort personnel ou l'oubli vont à l'encontre des meilleures dispositions à l'égard des économies d'énergie. Il faut donc que la commande d'une installation d'éclairage soit la plus simple et la plus conviviale possible. Ici, différents dispositifs électroniques peuvent être utiles.

Interrupteur crépusculaire

L'éclairage est enclenché ou déclenché automatiquement en fonction de la luminosité (intérieure ou extérieure). Inconvénient: la lumière brûle aussi quand on n'en a pas besoin.

Minuterie (éclairage de la cage d'escalier)

Par pression sur un interrupteur, les lampes sont allumées pour une courte durée (par ex. 3 min.). On obtient ainsi un bon effet d'économie. Les minuteries ne sont cependant indiquées que pour les locaux dans lesquels on ne fait que passer. Les minuteries qui, par une nouvelle pression sur l'interrupteur, peuvent éteindre les lampes, économisent encore plus d'énergie.

Horloges

Les horloges enclenchent et déclenchent l'éclairage selon un horaire fixé d'avance. Inconvénient: la lumière brûle aussi quand on n'en a pas besoin. Les horloges peuvent aussi être combinées avec des interrupteurs crépusculaires ou être munies d'un programme astronomique. Ces commandes sont indiquées pour l'éclairage des rues ou pour des cages d'escalier très utilisées et ouvertes à la lumière du jour.

Détecteurs de présence

Dès qu'une personne séjourne en un lieu surveillé par un détecteur de présence, l'éclairage est enclenché par une sonde à infrarouge. La plupart des détecteurs de présence sont combinés avec une minuterie ou un interrupteur crépusculaire. Les détecteurs de présence sont très conviviaux; c'est un excellent moyen d'économiser l'énergie électrique. L'emplacement du détecteur de présence doit être soigneusement choisi et la sensibilité à l'enclenchement, la zone sensible et le temps de commutation bien optimisés, afin de prévenir les enclenchements intempestifs. Les détecteurs de présence ont une consommation propre de 0,3 à 3 W, ce qui équivaut à une consommation d'énergie de 3 à 30 kWh par année environ.

Variateur

Aussi bien les lampes à incandescence que les lampes fluorescentes peuvent être réglées progressivement par voie électronique. Pour les lampes à incandescence, les variateurs ne sont pas indiqués comme mesure d'économie d'énergie, parce que l'efficacité lumineuse diminue massivement quand la température du filament incandescent de tungstène est abaissée.

Pour les lampes fluorescentes, de tels variateurs ne sont indiqués qu'avec un ballast électronique. L'efficacité lumineuse ne change que faiblement sous l'effet du variateur. Cela signifie que la consommation de courant est aussi réduite de moitié environ quand l'éclairage est divisé par deux.

Systèmes de régulation et de commande

On réalise des économies d'énergie substantielles et un confort excellent par un éclairage combinant détecteur de présence, sonde de luminosité, variateur et commande de stores.

L'exemple suivant d'un éclairage de salle de classe ou de bureau illustre le fonctionnement d'une telle installation.

But de l'installation d'éclairage: assurer un éclairage uniforme d'au moins 750 lux sur les plans de travail.

Pendant la nuit, les lampes sont réglées sur la luminosité la plus forte aussitôt que le détecteur de présence signale une personne ou que les lampes sont allumées à l'aide de l'interrupteur. Quand plus personne n'est présent dans la pièce, la lumière s'éteint toute seule avec un petit décalage dans le temps. Quand la lumière du jour pénètre dans la pièce et que les sondes de luminosité indiquent un éclairage dépassant le seuil fixé, les lampes réduisent individuellement leur émission de lumière. Inversement, quand la lumière du jour diminue, l'éclairage est automatiquement renforcé à nouveau. Une sonde extérieure mesure l'intensité du rayonnement solaire et la position du Soleil. Si le soleil pénétrant dans la pièce peut devenir la cause d'un éblouissement, le store descend et ses lamelles sont orientées de telle manière que la pénétration de la lumière du jour soit maximale sans toutefois que le soleil y brille directement. Quand la température

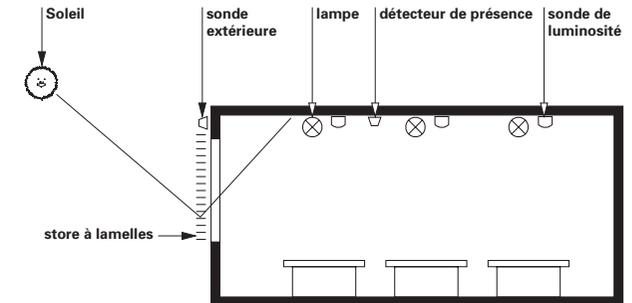


Fig. 15: Composants d'une régulation de la lumière et du rayonnement solaire incident

extérieure est basse, le store s'abaisse automatiquement afin que la fenêtre ne refroidisse pas la pièce. Au contraire, en cas de fort vent, il remonte pour se loger dans sa protection.

Les systèmes modernes de régulation de la lumière permettent, par un système centralisé de gestion du bâtiment (avec un bus pour les données), le déroulement dans chaque pièce d'un «scénario lumière» individuel préprogrammé et/ou commandé par des sondes. Les utilisateurs de la pièce peuvent naturellement, selon leurs besoins, intervenir par une télécommande dans le local.

5 Exercices et solutions proposées

Exercice 1: Calcul de l'installation d'éclairage d'une salle de classe

a) Déterminez tout d'abord les conditions prévalant dans votre salle de classe:

Longueur x largeur : m · m

Couleur des parois:

ton clair ton moyen ton foncé

Couleur du plafond:

ton clair ton moyen ton foncé

Genre d'éclairage: direct

essentiellement direct

uniforme

Facteur d'utilisation de l'éclairage, estimé d'après les indications ci-dessus:

.....

Eclairage lumineux souhaité:

..... lux

Flux lumineux des lampes prévues:

..... lm/lampe

b) Calculez le nombre des lampes nécessaires.

Choisissez ce nombre de telle manière qu'une répartition raisonnable soit possible, par exemple
3 rangées de 6 lampes = 18 lampes

Exercice 2: Mesure de l'éclairage lumineux moyen dans une salle de classe

a) Alors que l'éclairage est enclenché, mesurez l'éclairage avec un luxmètre en 20 points régulièrement répartis dans toute la salle. Faites attention qu'aucune lumière parasite ne gêne la mesure.

E 11 =	E 12 =	E 13 =	E 14 =
E 21 =	E 22 =	E 23 =	E 24 =
E 31 =	E 32 =	E 33 =	E 34 =
E 41 =	E 42 =	E 43 =	E 44 =
E 51 =	E 52 =	E 53 =	E 54 =

b) Additionnez toutes les valeurs mesurées et calculez la valeur moyenne.

Solution de l'exercice 1: Calcul de l'installation d'éclairage d'une salle de classe

a) Déterminez tout d'abord les conditions prévalant dans votre salle de classe:

Longueur x largeur: 8,0 m · 10,0 m

Couleur des parois:

ton clair ton moyen ton foncé

Couleur du plafond:

ton clair ton moyen ton foncé

Genre d'éclairage: direct

essentiellement direct

uniforme

Facteur d'utilisation de l'éclairage, estimé d'après les indications ci-dessus: $\eta_B = 0,5$

Eclairage lumineux souhaité:

$E = 500 \text{ lux}$

Flux lumineux des lampes prévues:

tubes fluorescents de 36 W, blancs

$\Phi_L = 3000 \text{ lm/lampe}$

b) Calculez le nombre des lampes nécessaires.

Choisissez ce nombre de telle manière qu'une répartition raisonnable soit possible, par exemple 3 rangées de 6 lampes = 18 lampes

$$A = L \cdot l = 8 \cdot 10 = 80 \text{ m}^2$$

$$\Phi = E \cdot A = 500 \cdot 80 = 40'000 \text{ lm}$$

$$\Phi_N = \frac{\Phi}{\eta_B} = \frac{40'000}{0,5} = 80'000 \text{ lm}$$

$$n = \frac{\Phi_N}{\Phi_L} = \frac{80'000}{3'000} = 26,7$$

→ 28 lampes

→ **2 rangées de 7 luminaires à 2 tubes de 36 W chacun**

Solution de l'exercice 2: Mesure de l'éclairage lumineux moyen dans une salle de classe

a) Alors que l'éclairage est enclenché, mesurez l'éclairage avec un luxmètre en 20 points régulièrement répartis dans toute la salle. Faites attention qu'aucune lumière parasite ne gêne la mesure.

E 11 = 430	E 12 = 630	E 13 = 640	E 14 = 450
E 21 = 450	E 22 = 650	E 23 = 660	E 24 = 470
E 31 = 480	E 32 = 680	E 33 = 690	E 34 = 500
E 41 = 460	E 42 = 660	E 43 = 670	E 44 = 480
E 51 = 440	E 52 = 640	E 53 = 650	E 54 = 460

b) Additionnez toutes les valeurs mesurées et calculez la valeur moyenne.

$$E_M [\text{lx}] = \frac{E_1 + E_2 + E_3 + \dots + E_n}{20} = \frac{11'190}{20} = \mathbf{560 \text{ Lux}}$$

Exercice 3:

Eclairement en fonction de la distance

Pour une source lumineuse ponctuelle, l'éclairement est inversement proportionnel au carré de la distance de la source.

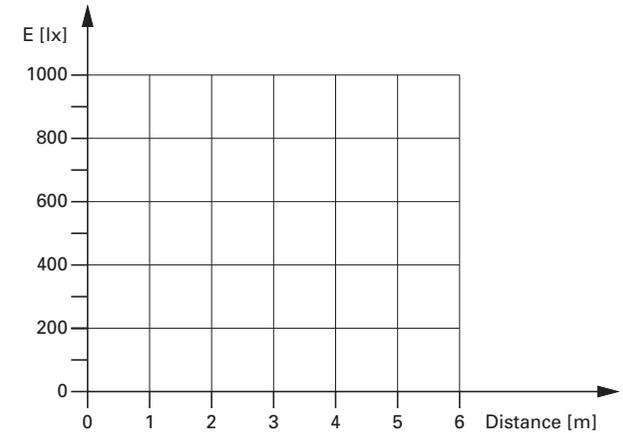
$$E_2 = E_1 \frac{r_1^2}{r_2^2} \quad [\text{lx}]$$

Vérifiez expérimentalement l'exactitude de cette loi.

Marche à suivre:

L'expérience doit avoir lieu dans une pièce obscurcie. Fixez sur un trépied à environ 1 mètre du sol une ampoule à incandescence de 1200 W avec un abat-jour opaque, de telle manière que la lumière ne rayonne qu'en direction horizontale. Mesurez à l'aide d'un luxmètre l'éclairement aux distances respectives de 1 m, 2 m, 3 m, etc. et reportez les résultats des mesures dans le tableau. Calculez l'éclairement en % (2 m → 100%).

Représentez le résultat graphiquement.



Distance	1m	2m	3m	4m	5m	6m
Eclairement mesuré [lx]						
Eclairement relatif mesuré [%]						

Solution de l'exercice 3:
Eclairement en fonction de la distance

Pour une source lumineuse ponctuelle, l'éclairement est inversement proportionnel au carré de la distance de la source.

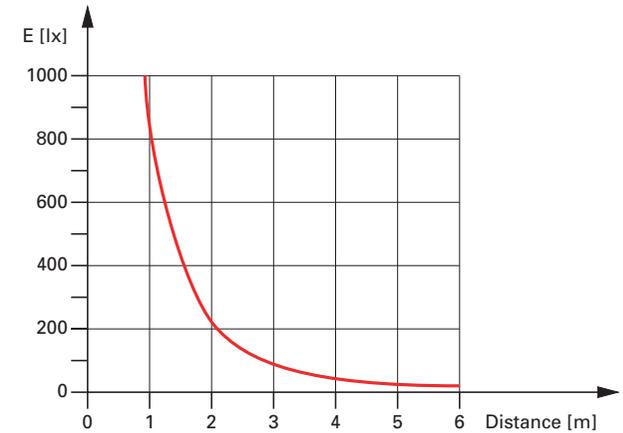
$$E_2 = E_1 \frac{r_1^2}{r_2^2} \quad [\text{lx}]$$

Vérifiez expérimentalement l'exactitude de cette loi.

Marche à suivre:

L'expérience doit avoir lieu dans une pièce obscure. Fixez sur un trépied à environ 1 mètre du sol une ampoule à incandescence de 1200 W avec un abat-jour opaque, de telle manière que la lumière ne rayonne qu'en direction horizontale. Mesurez à l'aide d'un luxmètre l'éclairement aux distances respectives de 1 m, 2 m, 3 m, etc. et reportez les résultats des mesures dans le tableau. Calculez l'éclairement en % (2 m → 100%).

Représentez le résultat graphiquement.



Distance	1m	2m	3m	4m	5m	6m
Eclairement mesuré [lx]	800	200	88	50	32	22
Eclairement relatif mesuré [%]	400%	100%	44%	25%	16%	11%

Exercice 4: Economiser avec la lampe à basse consommation d'énergie

Combien peut-on vraiment économiser avec une lampe à basse consommation d'énergie? On va le voir avec le tableau ci-dessous dans lequel les frais d'énergie et le prix d'achat d'une lampe à incandescence et d'une lampe à basse consommation d'énergie sont comparés, pour une période de 10'000 heures. Les frais pour l'élimination et le remplacement des lampes ne sont pas pris en compte.

On commence par noter un certain nombre de données de base:

- Prix d'achat d'une lampe à incandescence:
..... Fr.
- Prix d'achat d'une lampe à basse consommation d'énergie:
..... Fr.
- Puissance d'une lampe à incandescence:
..... kW
- Puissance d'une lampe à basse consommation d'énergie:
..... kW
- Durée de vie d'une lampe à incandescence:
..... h
- Durée de vie d'une lampe à basse consommation d'énergie:
..... h
- Coût d'un kilowattheure d'électricité:
..... Fr./kWh

Lampe à incandescence

Prix d'achat:

..... lampes à incandescence à Fr = Fr.

Frais d'énergie:

$$K = P \cdot t \cdot k \text{ [Fr. = kW} \cdot \text{h} \cdot \text{Fr./kWh]}$$

$$K = \dots \cdot \dots \cdot \dots = \text{Fr.}$$

Total

Fr.

Lampe à basse consommation d'énergie

Prix d'achat:

..... lampes à basse consommation d'énergie à Fr = Fr.

Frais d'énergie:

$$K = P \cdot t \cdot k \text{ [Fr. = kW} \cdot \text{h} \cdot \text{Fr./kWh]}$$

$$K = \dots \cdot \dots \cdot \dots = \text{Fr.}$$

Total

Fr.

Economie

Fr.

Conclusion:

Si l'on compte une durée d'utilisation moyenne quotidienne de 5 heures, 10'000 heures de fonctionnement (c'est la durée de vie d'une lampe à basse consommation d'énergie) correspondent à environ 5 ans! Si l'on remplace dans un ménage p. ex. 8 lampes à incandescence, cela donne une économie de coût annuelle de Fr.

Solution de l'exercice 4: Economiser avec la lampe à basse consommation d'énergie

Combien peut-on vraiment économiser avec une lampe à basse consommation d'énergie? On va le voir avec le tableau ci-dessous dans lequel les frais d'énergie et le prix d'achat d'une lampe à incandescence et d'une lampe à basse consommation d'énergie sont comparés, pour une période de 10'000 heures. Les frais pour l'élimination et le remplacement des lampes ne sont pas pris en compte.

On commence par noter un certain nombre de données de base:

- Prix d'achat d'une lampe à incandescence:
.1.50Fr.
- Prix d'achat d'une lampe à basse consommation d'énergie:
.15.00Fr.
- Puissance d'une lampe à incandescence:
.0.100 . . . kW
- Puissance d'une lampe à basse consommation d'énergie:
.0.020 . . . kW
- Durée de vie d'une lampe à incandescence:
.1'000 . . . h
- Durée de vie d'une lampe à basse consommation d'énergie:
.10'000 . . h
- Coût d'un kilowattheure d'électricité:
.0.20Fr./kW

Lampe à incandescence

Prix d'achat:

10 lampes à incandescence à Fr. 1.50 = Fr. 15.-

Frais d'énergie:

$$K = P \cdot t \cdot k \text{ [Fr. = kW} \cdot \text{h} \cdot \text{Fr./kWh]}$$

$$K = 0.1 \cdot 10'000 \cdot 0.20 = \text{Fr. 200.-}$$

Total

Fr. 215.-

Lampe à basse consommation d'énergie

Prix d'achat:

1 lampe à basse consommation d'énergie à Fr 15.- = Fr. 15.-

Frais d'énergie:

$$K = P \cdot t \cdot k \text{ [Fr. = kW} \cdot \text{h} \cdot \text{Fr./kWh]}$$

$$K = 0,02 \cdot 10'000 \cdot 0,20 = \text{Fr. 40.-}$$

Total

Fr. 55.-

Economie

Fr. 160.-

Conclusion:

Si l'on compte une durée d'utilisation moyenne quotidienne de 5 heures, 10'000 heures de fonctionnement (c'est la durée de vie d'une lampe à basse consommation d'énergie) correspondent à environ 5 ans! Si l'on remplace dans un ménage p. ex. 8 lampes à incandescence, cela donne une économie de coût annuelle de **Fr. 256.-**

Exercice 5: Consommation d'électricité d'une famille de 4 personnes

La consommation hebdomadaire d'énergie électrique d'une famille de 4 personnes habitant un appartement de 4 pièces doit être calculée. La consommation est répartie selon le tableau ci-après dans les catégories suivantes:

- Cuisson
- Réfrigération
- Lave-vaisselle
- Hygiène
- Divertissement
- Eclairage

Comme base, on choisira une semaine en automne avec un temps variable.

Lors de votre enquête, procédez selon les quatre étapes suivantes :

a) Puissance des appareils consommateurs
La puissance des différents consommateurs sera calculée sur la base des indications des fabricants, des plaquettes signalétiques ou de manuels spécialisés. Dans beaucoup de cas, on sera obligé de se baser sur des estimations, car p. ex. les appareils à thermostat n'appellent pas constamment leur pleine puissance. Pour l'éclairage aussi, la durée de fonctionnement des différentes lampes est souvent variable de l'une à l'autre.

b) Durée de fonctionnement

Observez pendant une semaine la durée de fonctionnement des différents consommateurs ou la fréquence de leur utilisation; reportez vos résultats dans le tableau. Pour les appareils comme le réfrigérateur, la durée de fonctionnement dépend essentiellement de l'utilisation. On postulera une durée de fonctionnement approximative de la moitié de la durée du test.

c) Consommation d'énergie

Les valeurs ainsi déterminées permettent maintenant de calculer la consommation d'énergie journalière et hebdomadaire et la somme par catégorie (arrondie à 0,5 kWh)

$$W = P \cdot t \text{ [kWh = kW} \cdot \text{h]}$$

d) Répartition entre les différentes catégories

Le total global est fixé à 100% et la quote-part des différentes catégories est calculée en pourcent. Le résultat peut être représenté graphiquement dans un diagramme circulaire.

Exercice 5: Tableau à remplir

Consommation d'électricité d'une famille de 4 personnes habitant un appartement de 4 pièces

Consommateurs	Puissance moyenne [kW]	Durée de fonctionnement quotidienne [h]	Durée de fonctionnement hebdomadaire [h]	Energie consommée pour un lavage [kWh]	Consommation hebdomadaire d'énergie [kWh]	en % de la consommation totale d'énergie
Cuisinière, par plaque	*					
Four	*					
Machine à café						
Total cuisson						
Réfrigérateur		*				
Congélateur		*				
Total réfrigération						
Lave-vaisselle		X				
Machine à laver			X			
Fer à repasser						
Sèche-cheveux						
Aspirateur à poussière						
Total hygiène						
TV, magnétoscope						
PC avec écran cathodique						
Divertissement						
Lumière cuisine						
Lumière séjour						
Lumière ch. à coucher						
Lumière ch. d'enfants 1						
Lumière ch. d'enfants 2						
Lumière bain/WC						
Lumière corridor						
Total éclairage						
Total général						

* Pour les plaques et le four, on calculera avec la moitié de la puissance maximum. On supposera aussi que les appareils réfrigérants fonctionnent en tout pendant 50% de la durée du test.

Exercice 5: Tableau avec les données de puissance et de consommation

Consommation d'électricité d'une famille de 4 personnes habitant un appartement de 4 pièces

Consommateurs	Puissance moyenne [kW]	Durée de fonctionnement quotidienne [h]	Durée de fonctionnement hebdomadaire [h]	Energie consommée pour un lavage [kWh]	Consommation hebdomadaire d'énergie [kWh]	en % de la consommation totale d'énergie
Cuisinière, par plaque	1,2 *					
Four	2 *					
Machine à café	2					
Total cuisson						
Réfrigérateur	0,1	*				
Congélateur	0,1	*				
Total réfrigération						
Lave-vaisselle		x		1,5		
Machine à laver			x	3		
Fer à repasser	1					
Sèche-cheveux	1,2					
Aspirateur à poussière	0,8					
Total hygiène						
TV, magnétoscope	0,25					
PC avec écran cathodique	0,2					
Divertissement						
Lumière cuisine	0,05					
Lumière séjour	0,15					
Lumière ch. à coucher	0,1					
Lumière ch. d'enfants 1	0,1					
Lumière ch. d'enfants 2	0,1					
Lumière bain/WC	0,05					
Lumière corridor	0,06					
Total éclairage						
Total général						

* Pour les plaques et le four, on calculera avec la moitié de la puissance maximum. On supposera aussi que les appareils réfrigérants fonctionnent en tout pendant 50% de la durée du test.

Exercice 5: Tableau complet avec toutes les valeurs calculées

Consommation d'électricité d'une famille de 4 personnes habitant un appartement de 4 pièces

Consommateurs	Puissance moyenne [kW]	Durée de fonctionnement quotidienne [h]	Durée de fonctionnement hebdomadaire [h]	Energie consommée pour un lavage [kWh]	Consommation hebdomadaire d'énergie [kWh]	en % de la consommation totale d'énergie
Cuisinière, par plaque	1,2 *	1,5	10,5		12,5	
Four	2 *		1		2	
Machine à café	2	0,25	1,75		3,5	
Total cuisson					18	22 %
Réfrigérateur	0,1	12 *	84		8,5	
Congélateur	0,1	12 *	84		8,5	
Total réfrigération					17	21 %
Lave-vaisselle		1 x		1,5	10,5	13 %
Machine à laver			3 x	3	9	
Fer à repasser	1		2		2	
Sèche-cheveux	1,2	0,25	1,75		2	
Aspirateur à poussière	0,8		1		1	
Total hygiène					14	17,5 %
TV, magnétoscope	0,2	3	21		4	
PC avec écran cathodique	0,15	2	14		2	
Divertissement					6	7,5 %
Lumière cuisine	0,05	3	21		1	
Lumière séjour	0,15	5	35		5,5	
Lumière ch. à coucher	0,1	2	14		1,5	
Lumière ch. d'enfants 1	0,1	3	21		2	
Lumière ch. d'enfants 2	0,1	3	21		2	
Lumière bain/WC	0,05	2	14		1,5	
Lumière corridor	0,06	5	35		2	
Total éclairage					15.5	19 %
Total général					81	100 %

* Pour les plaques et le four, on calculera avec la moitié de la puissance maximum. On supposera aussi que les appareils réfrigérants fonctionnent en tout pendant 50% de la durée du test.

6 Bibliographie

Resultats de recherches

Programmes d'impulsion (RAVEL, PI-BAT, PACER), ancien Office fédéral des questions conjoncturelles OFQC, à commander auprès de l'EDMZ, 3003 Berne (aussi disponible sur CD-ROM)

- Habitat et économies d'énergie, des réponses pratiques
RAVEL 1995
724.386f
- Eclairage. Eléments d'éclairagisme
RAVEL 1993
724.329.1f
- Eclairage dans les bureaux
RAVEL 1994
724.329.2f

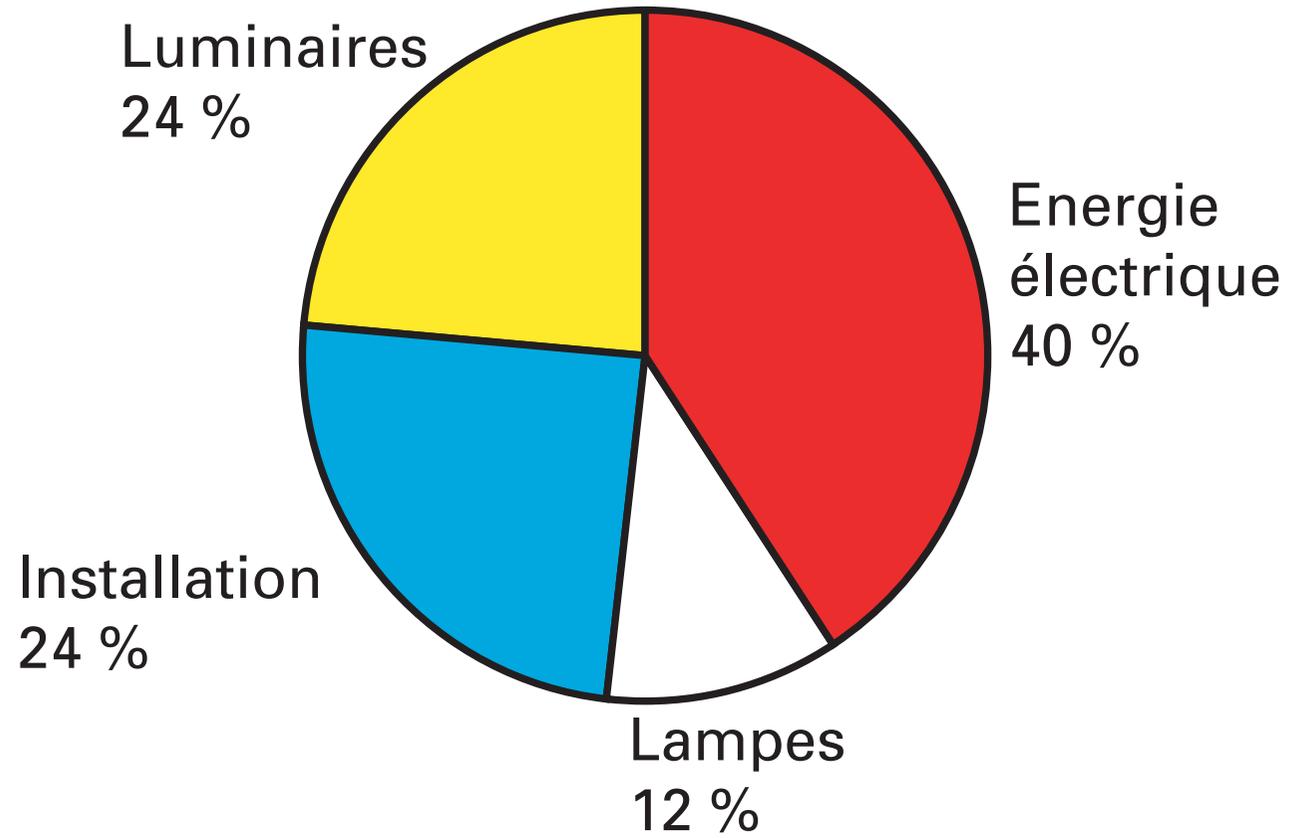
Sites Internet

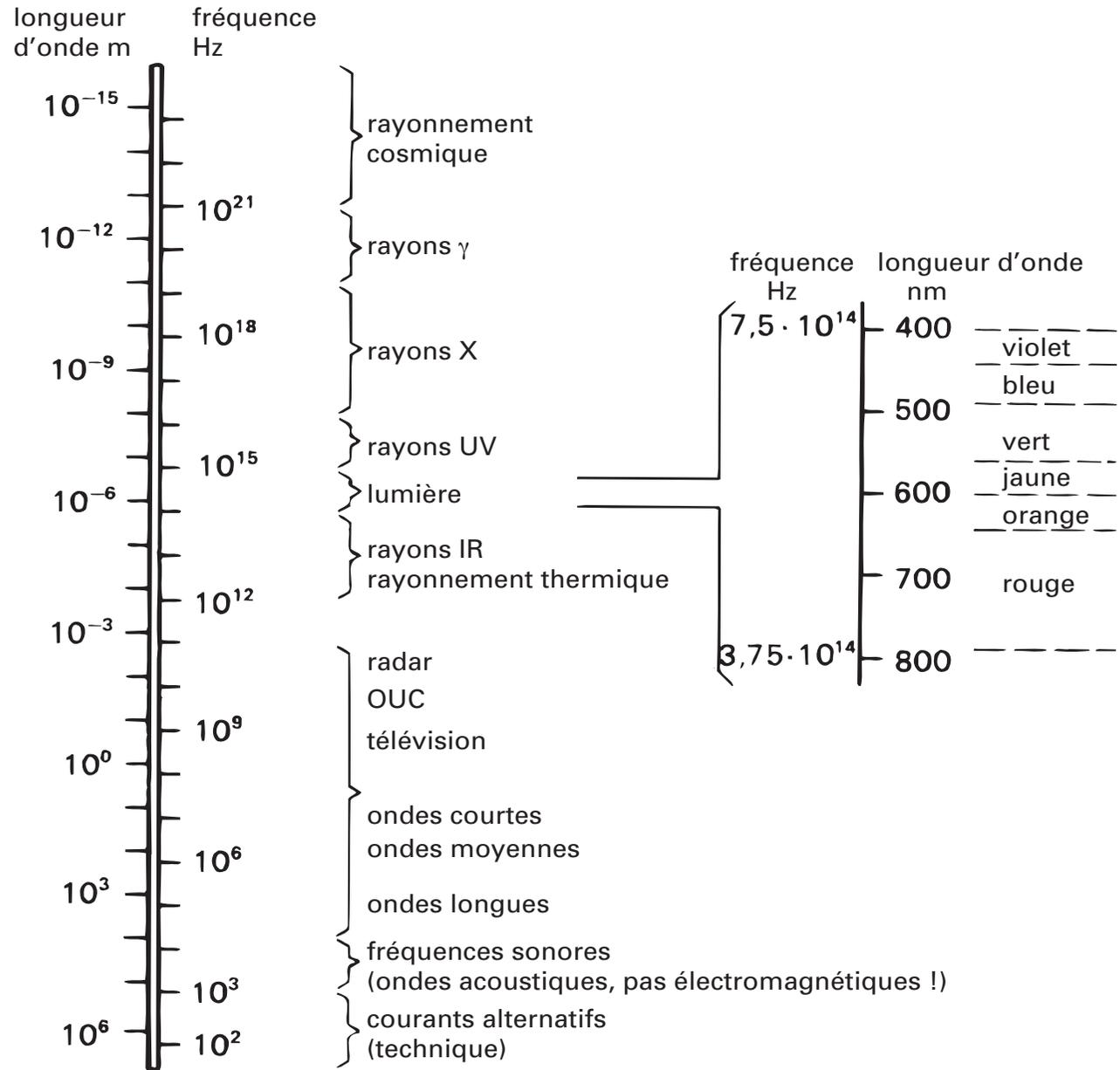
- Agence suisse pour l'efficacité énergétique (SAFE): www.energieagentur.ch
- Liste «topten», recherche en ligne sur des produits énergétiquement efficaces: www.topten.ch

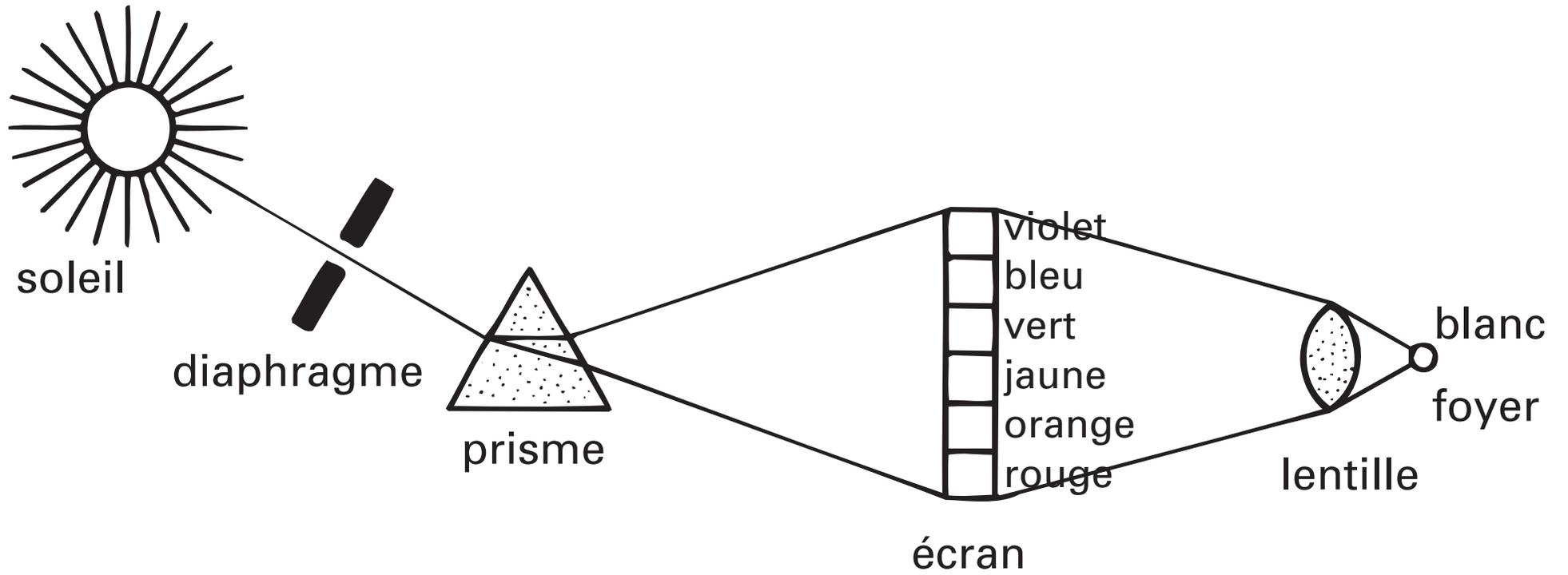
7 Sources

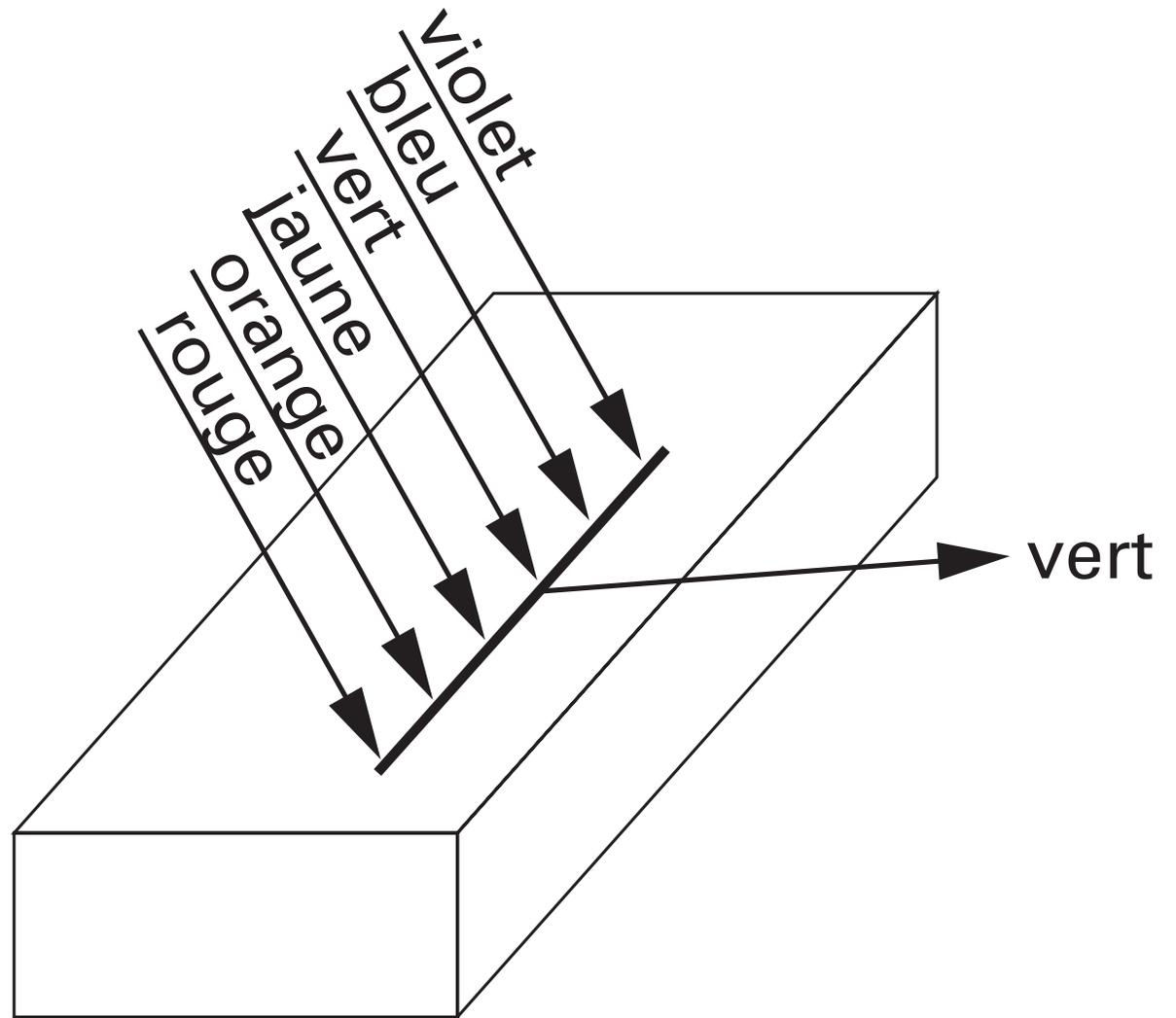
- Figure 1:
Dépenses pour l'éclairage artificiel
U. Marti
- Figure 2:
Aperçu des fréquences
Elektrische Installationen und Apparate
(H. R. Ris)
- Figure 3:
Dispersion de la lumière par un prisme
Elektrische Installationen und Apparate
(H. R. Ris)
- Figure 4:
Réflexion par une surface de couleur
Elektrische Installationen und Apparate
(H. R. Ris)
- Figure 5:
Flux lumineux Φ
Elektrische Installationen und Apparate
(H. R. Ris)
- Figure 6:
L'éclairement E
Elektrische Installationen und Apparate
(H. R. Ris)
- Figure 7:
Source lumineuse ponctuelle
Elektrische Installationen und Apparate
(H. R. Ris)
- Figure 8:
Bandeau lumineux
Elektrische Installationen und Apparate
(H. R. Ris)
- Figure 9:
Eblouissement direct
Elektrische Installationen und Apparate
(H. R. Ris)
- Figure 10:
Eblouissement indirect
Elektrische Installationen und Apparate
(H. R. Ris)
- Figure 11:
Ballast classique
Kompetent antworten auf Energiefragen
Programme d'impulsion RAVEL
- Figure 12:
Ballast électronique
Kompetent antworten auf Energiefragen
Programme d'impulsion RAVEL
- Figure 13:
Formes de lampes compactes et à basse consommation d'énergie
OSRAM SA
- Figure 14:
Etiquette énergétique d'une lampe
Office fédéral de l'énergie OFEN
- Figure 15:
Composants d'une régulation de la lumière et du rayonnement solaire incident
U. Marti

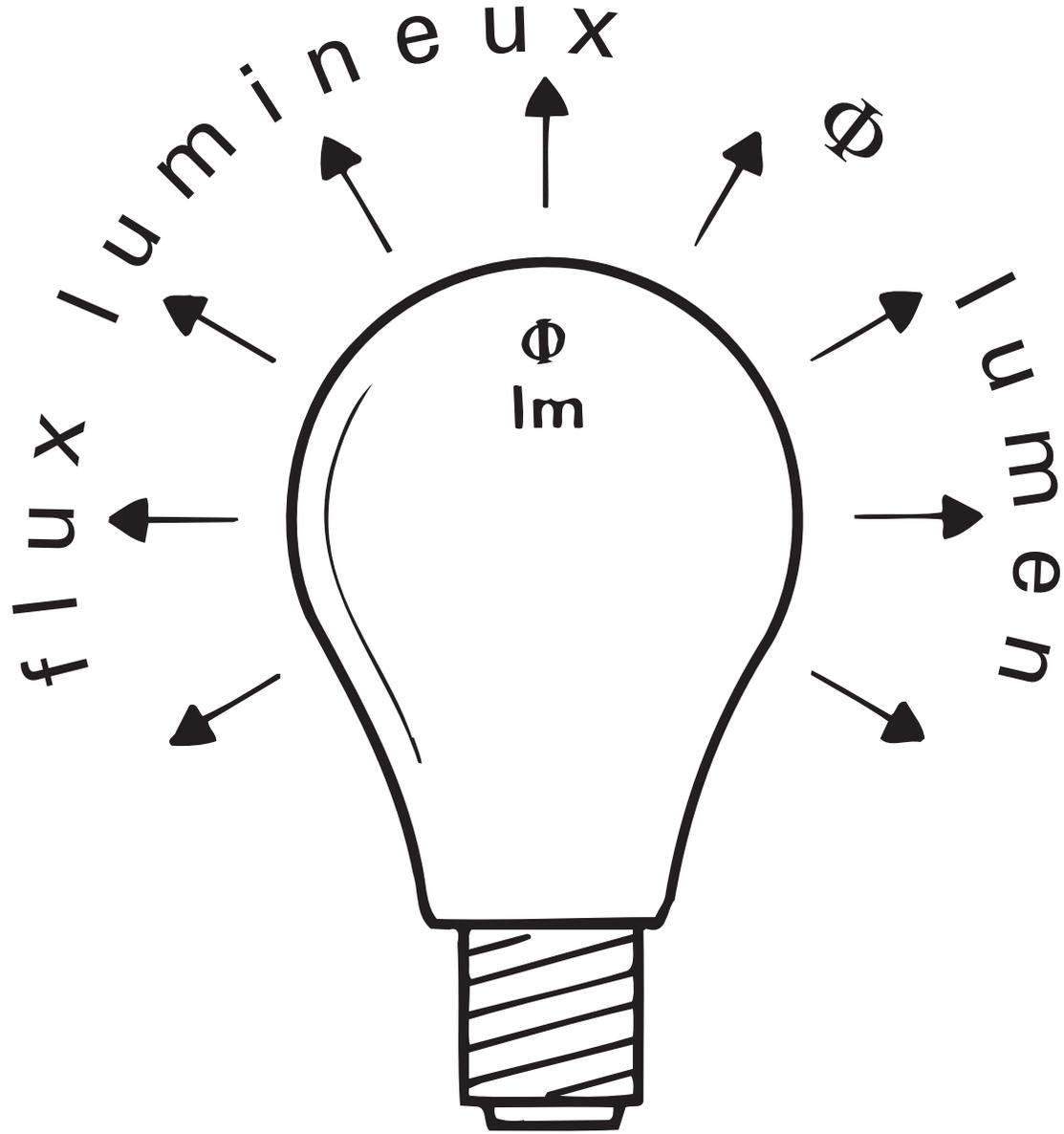
8 Modèles

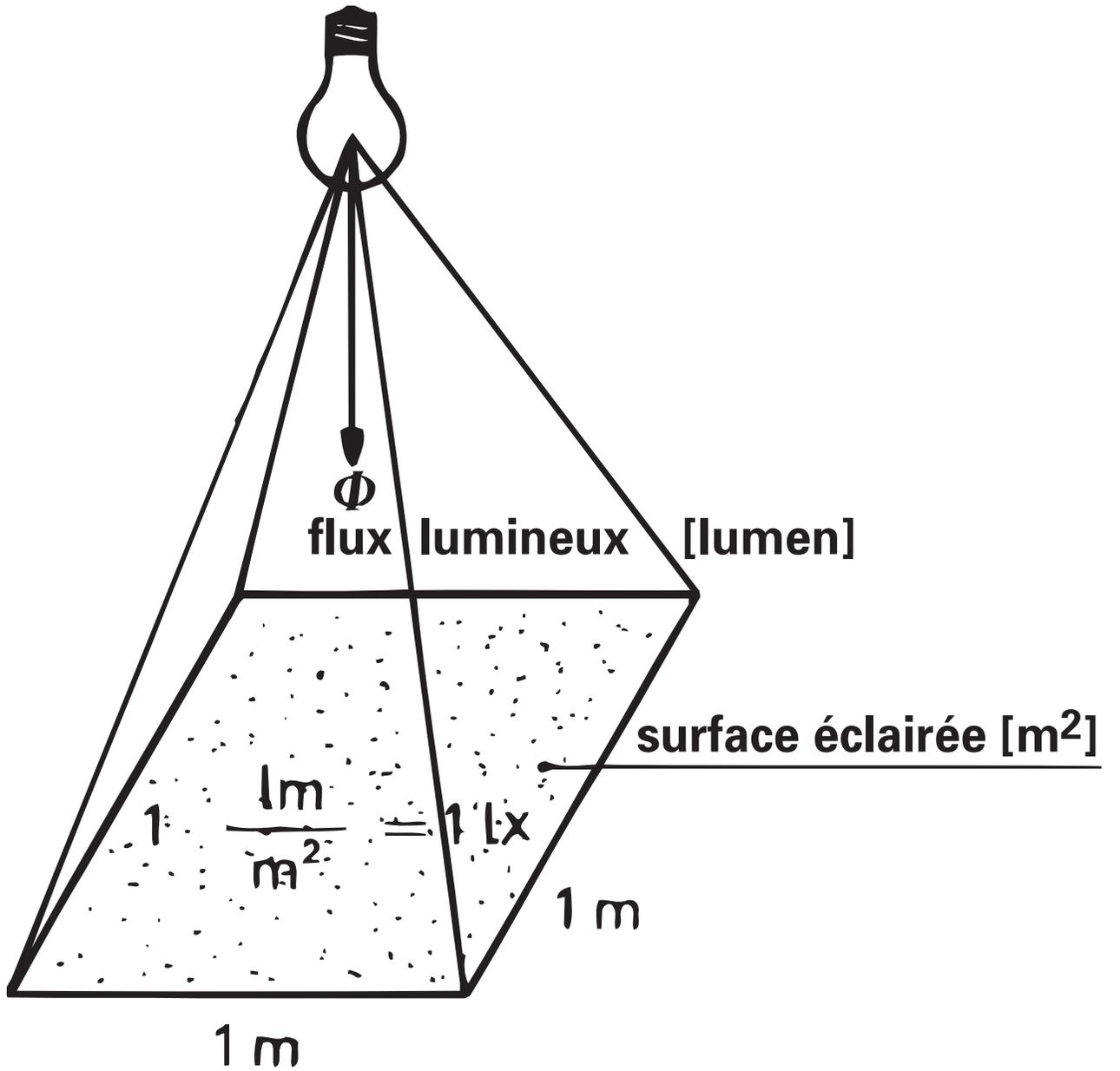


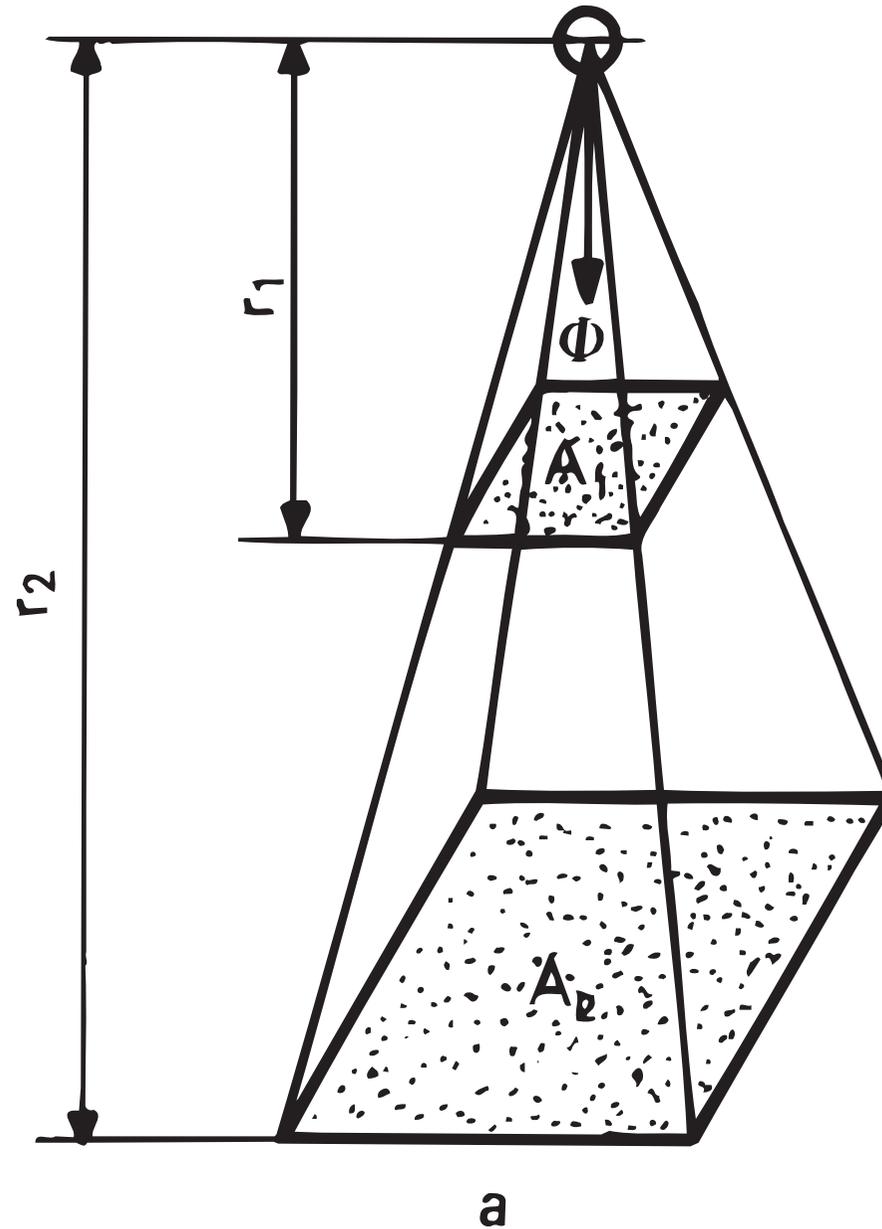


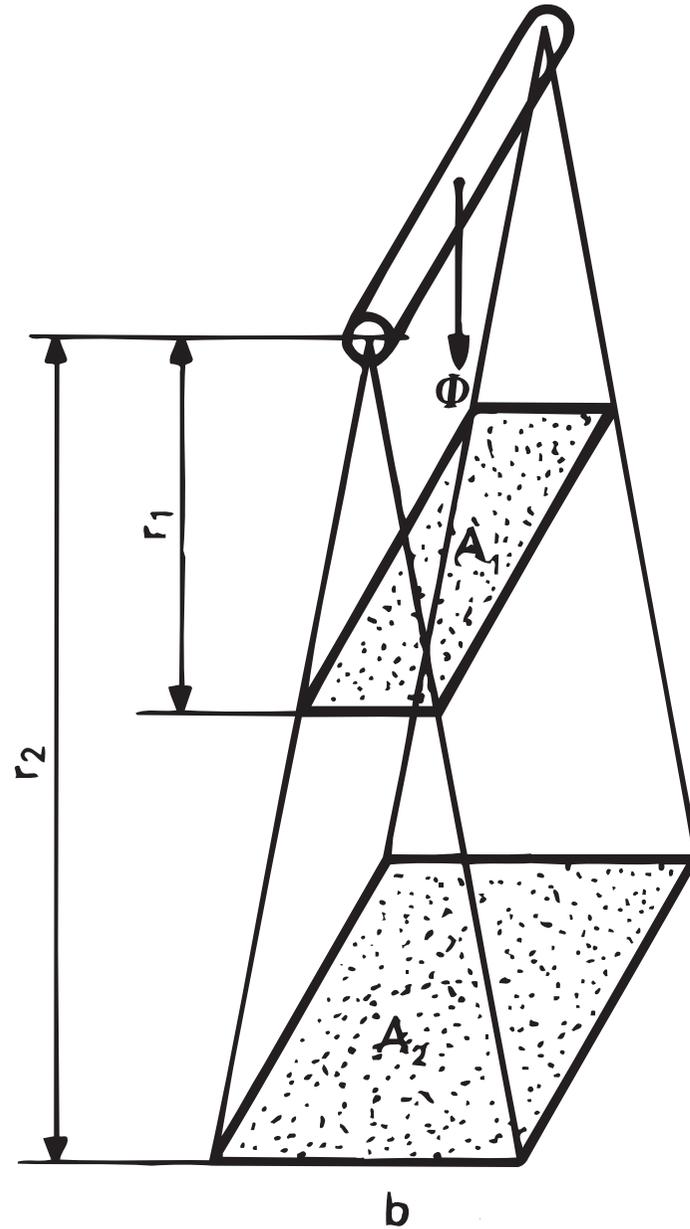


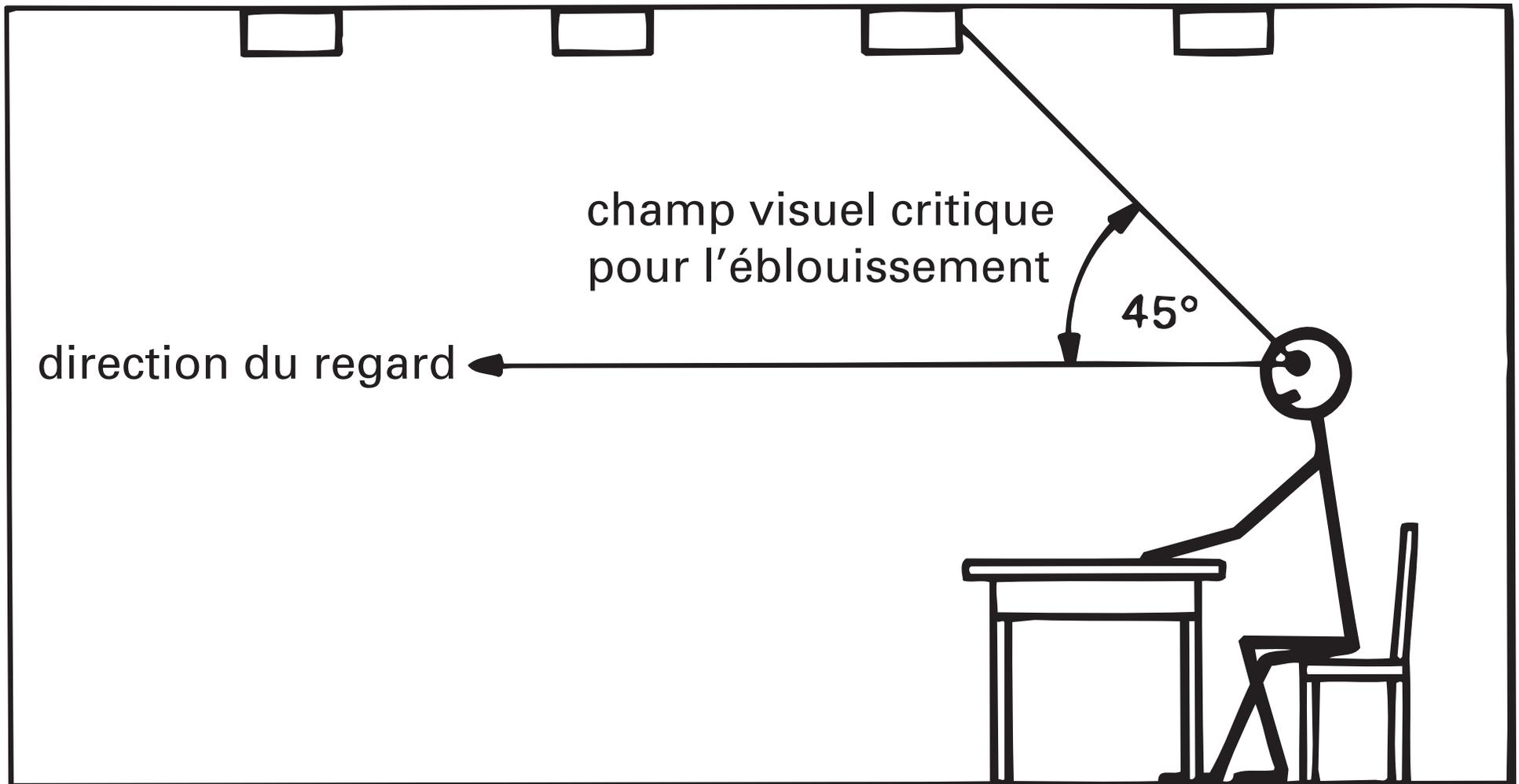


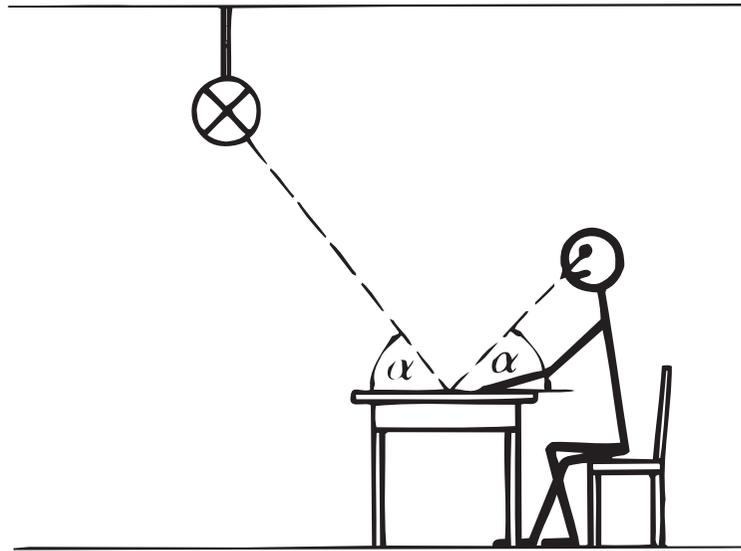




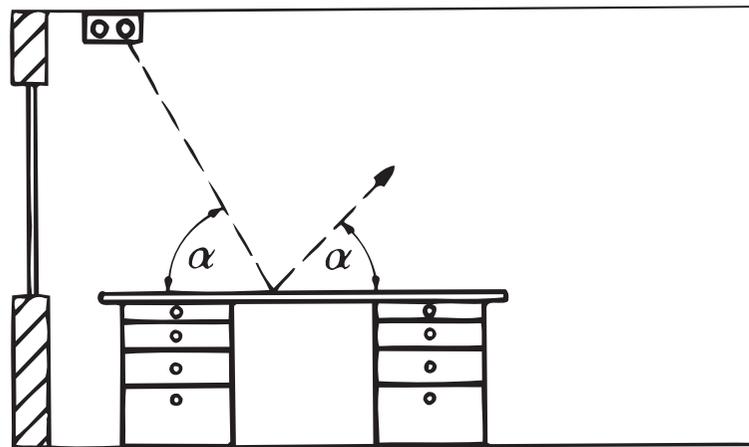






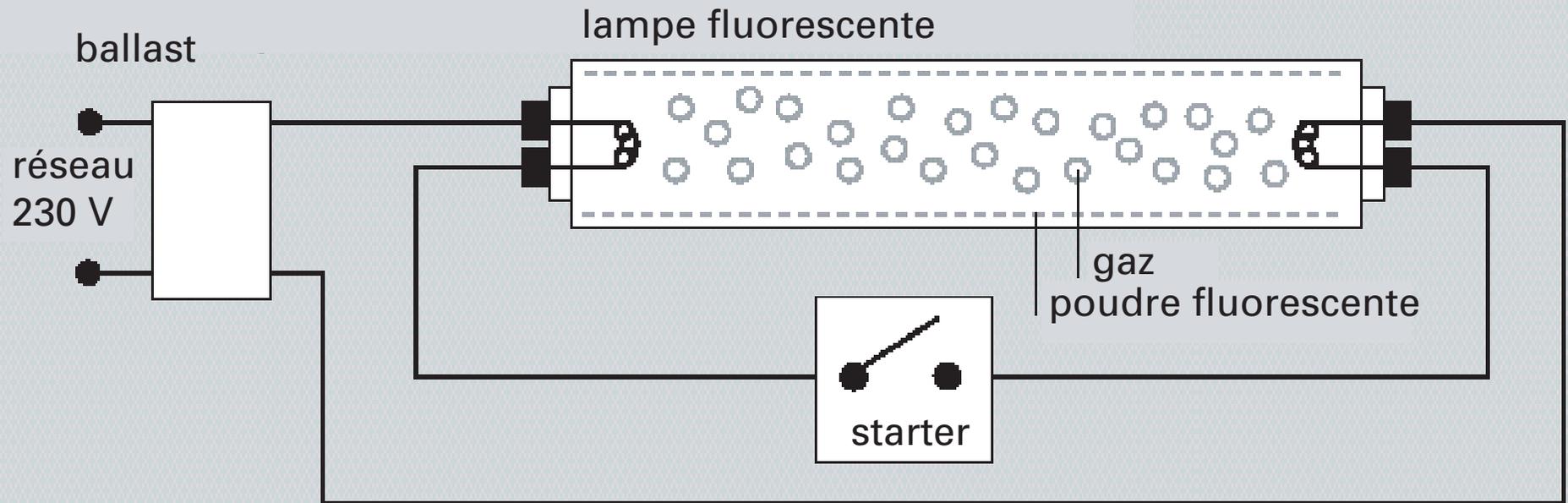


mauvaise disposition

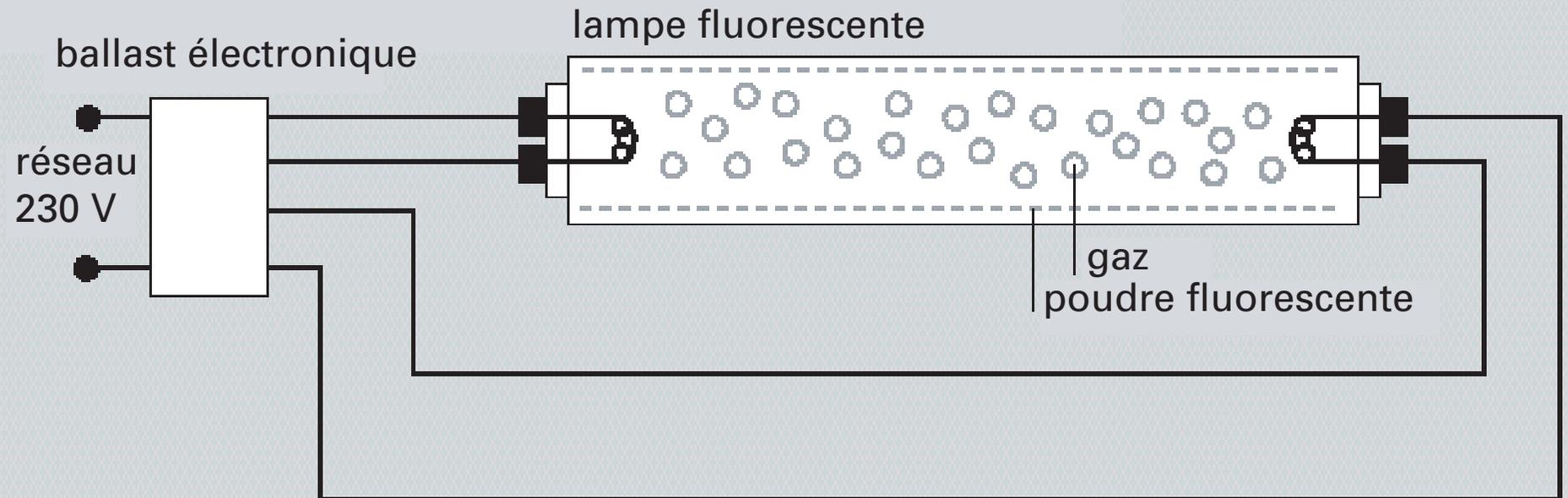


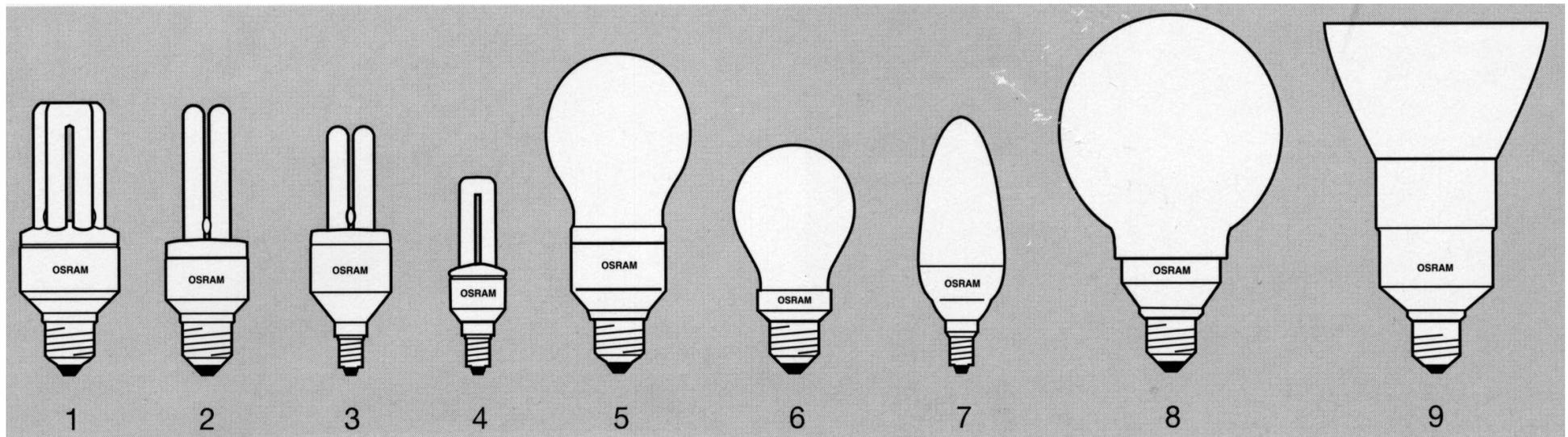
disposition correcte

Ballast classique

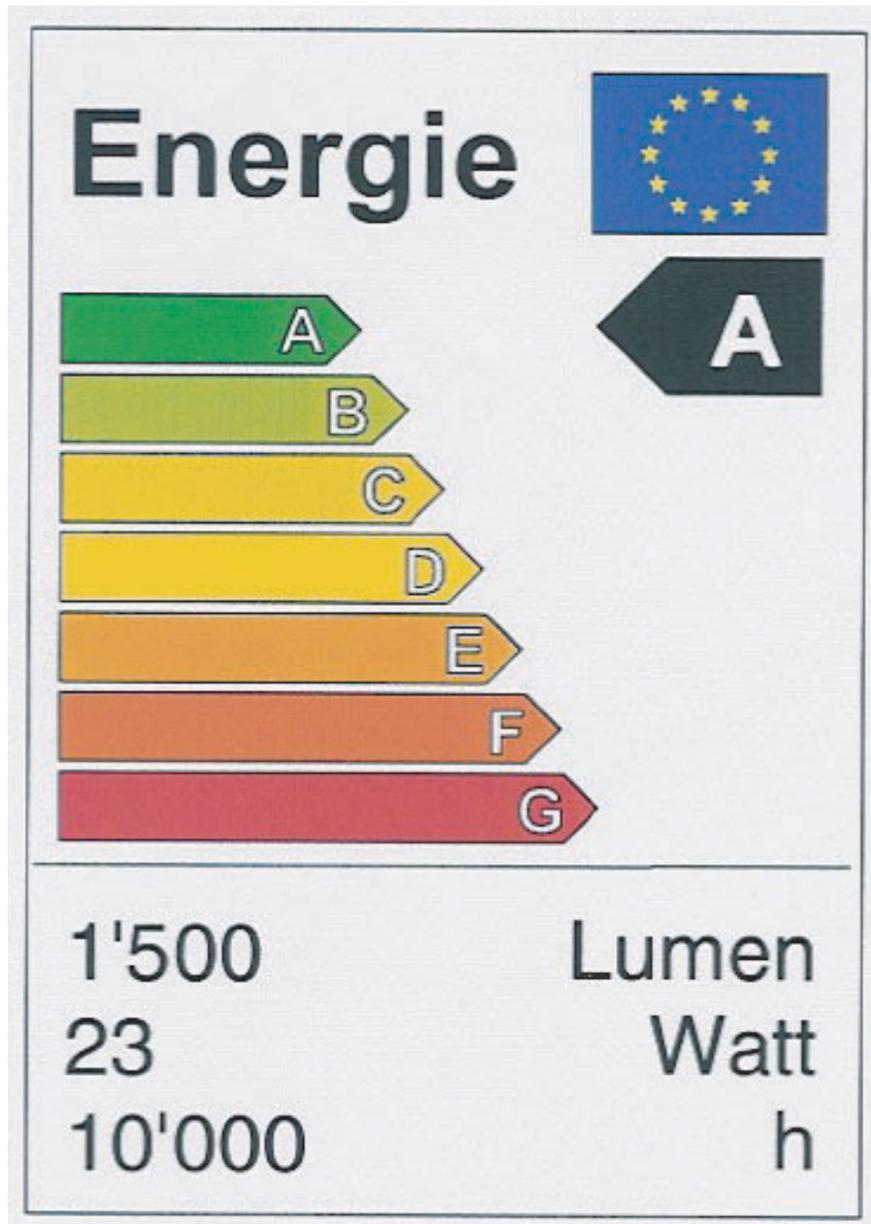


Ballast électronique





Pos.	Forme de lampe	Puissance	Pas de vis
1	tubes coudés trois fois	15 à 23 W	E27
2	tubes coudés deux fois	5 à 12 W	E27
3	tubes coudés deux fois	5 à 12 W	E14
4	tube coudé une fois	3 W	E14
5	semblable à une lampe à incandescence	8 à 16 W	E27
6	lampe à incandescence	5 à 15 W	E27
7	bougie	5 W	E14
8	globe (ballon)	15 à 21 W	E27
9	spot	15 à 20 W	E27



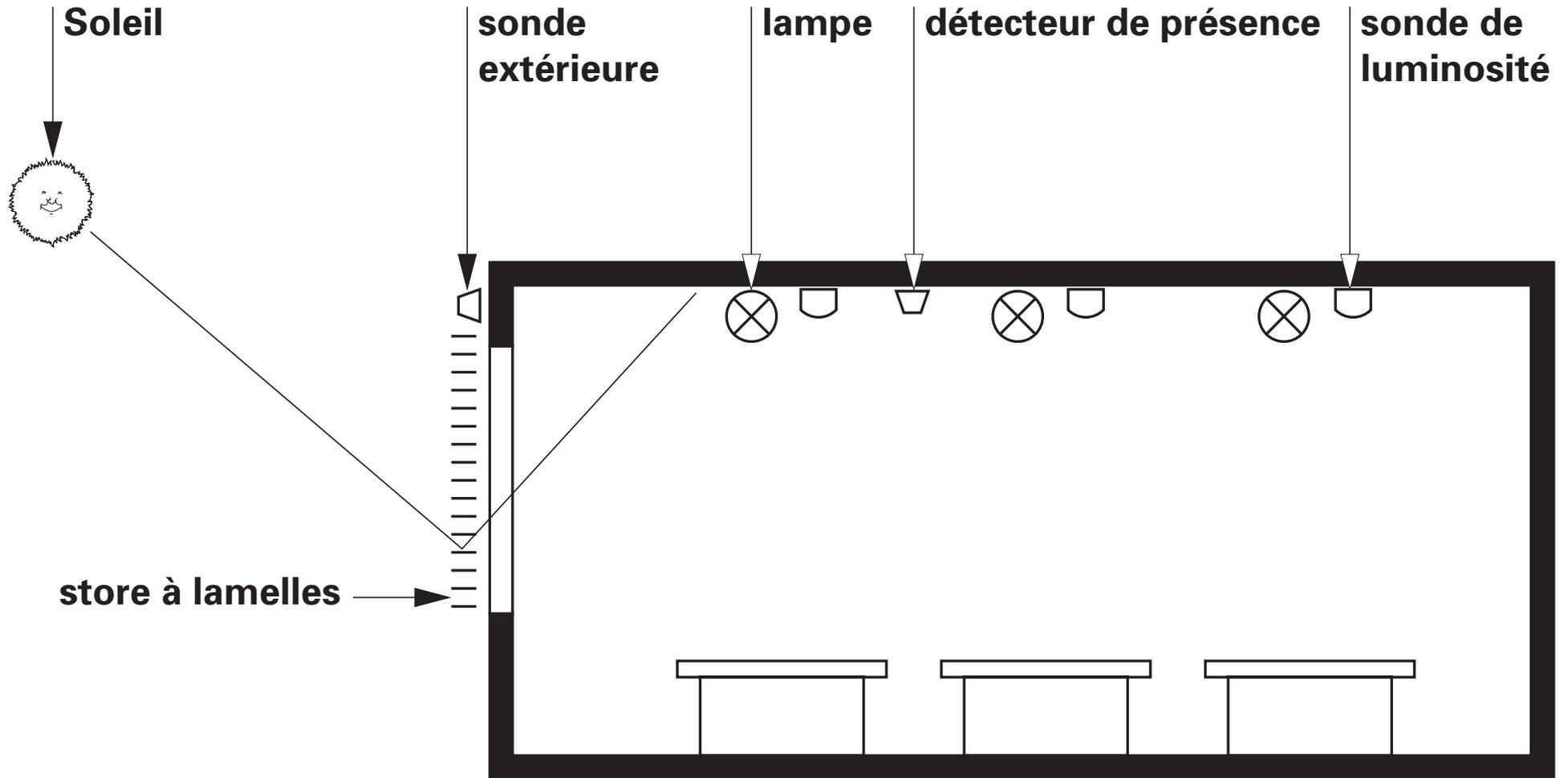


Tableau de la page 9

Flux lumineux et efficacité lumineuse de lampes diverses

Lampe	Puissance [W]	Flux lumineux [lm]	Efficacité lumineuse [lm/W]
Lampe à incandescence	40		
Lampe à incandescence à halogène	20		
Lampe fluorescente	36		
Lampe à basse consommation d'énergie	9		
Lampe à vapeur métallique à haute pression	150		
Lampe à vapeur de sodium à basse pression	150		

Tableau de la page 9

Flux lumineux et efficacité lumineuse de lampes diverses

Lampe	Puissance [W]	Flux lumineux [lm]	Efficacité lumineuse [lm/W]
Lampe à incandescence	40	430	
Lampe à incandescence à halogène	20	350	
Lampe fluorescente	36	3'000	
Lampe à basse consommation d'énergie	9	540	
Lampe à vapeur métallique à haute pression	150	12'500	
Lampe à vapeur de sodium à basse pression	150	21'000	

Tableau de la page 10

Eclairagements recommandés

Un éclairage suffisant contribue au bien-être de l'homme. Il améliore les performances, contribue à éviter les accidents et les erreurs et prévient une fatigue trop rapide de l'œil.

Tâche confiée à l'œil	Exemples	Eclairage [lx]
orientation		
facile		
normale		
difficile		
très difficile		
cas spéciaux		

Tableau de la page 10

Eclairagements recommandés

Un éclairage suffisant contribue au bien-être de l'homme. Il améliore les performances, contribue à éviter les accidents et les erreurs et prévient une fatigue trop rapide de l'œil.

Tâche confiée à l'œil	Exemples	Eclairage [lx]
orientation	corridor, chambre à coucher, grand dépôt	
facile	salon, restaurant, salle des machines	
normale	cuisine, halle de montage, local de vente local avec travail à l'écran salle de classe	
difficile	microtechnique, dessin technique	
très difficile	orfèvre	
cas spéciaux	table d'opération	