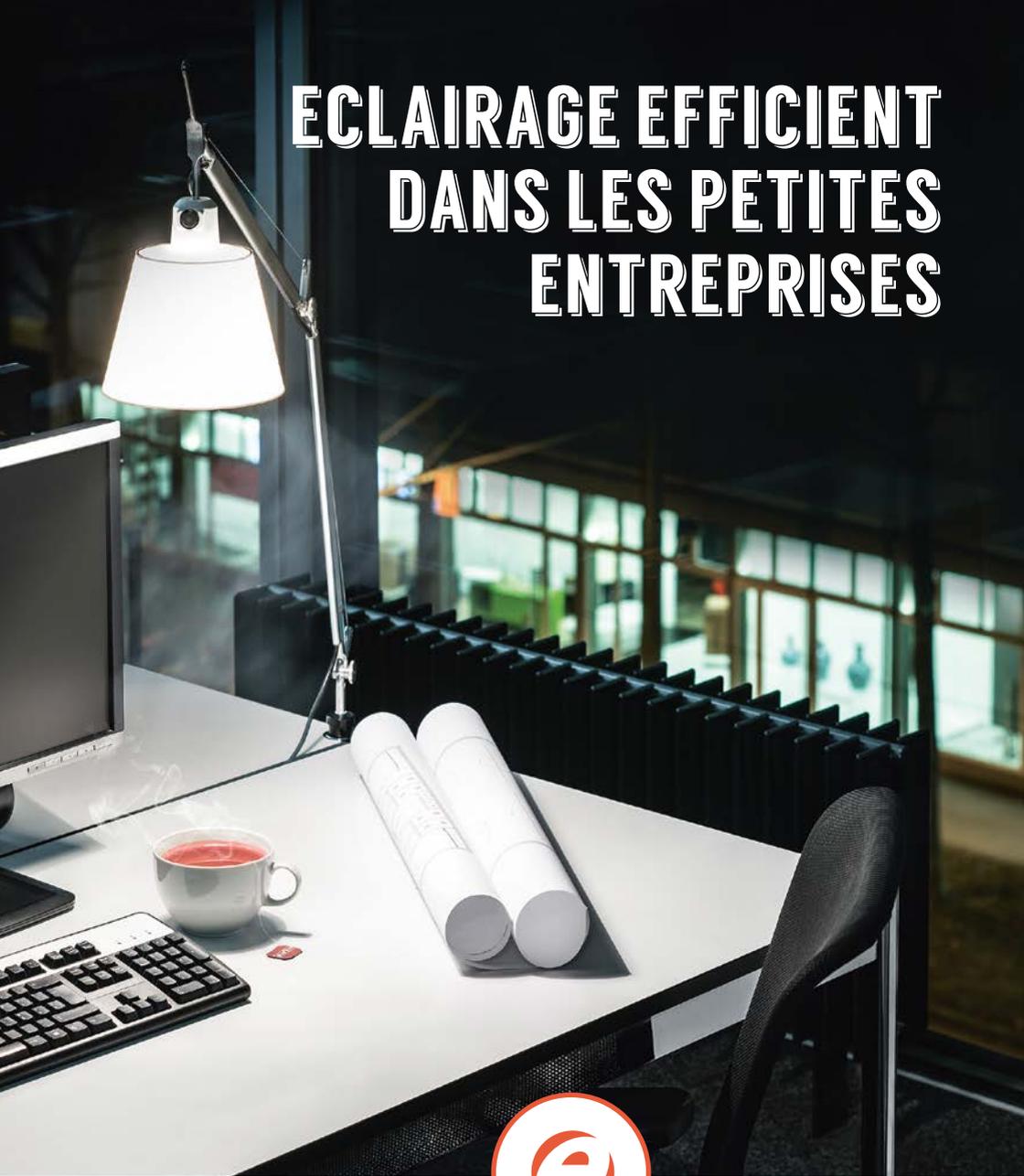


ECLAIRAGE EFFICIENT DANS LES PETITES ENTREPRISES



suisse énergie

Notre engagement : notre futur.

TABLE DES MATIÈRES

- 3 Mieux éclairer en consommant moins
- 4 La lumière et la vue
- 5 Les trois types d'éclairage
- 8 L'étiquette-énergie pour les ampoules
- 9 Informations sur l'emballage des lampes
- 10 Remplacement des ampoules
- 12 Lampes et luminaires
- 13 Evaluation d'un éclairage ambiant
- 14 Eclairage efficient des locaux

Éditeur

SuisseEnergie, Office fédéral de l'énergie OFEN

www.suisseenergie.ch

S.A.F.E., Agence suisse pour l'efficacité énergétique

www.efficace.ch

Équipe du projet

Concept et contenu: Stefan Gasser, Zurich

Mise en page: Martina Wyss, Bâle

Edition juillet 2015

Un éclairage moins énergivore

En Suisse, on dépense chaque année environ 10 milliards de francs pour l'électricité, dont 15% pour l'éclairage. La nouvelle technologie LED et une commande optimale de la lumière peuvent permettre d'économiser 50% de l'électricité consommée pour l'éclairage.

Depuis l'invention de la lampe économique, on sait que des ampoules plus efficaces peuvent diminuer une grande partie de la consommation électrique de l'éclairage. Désormais, avec l'apparition de la technologie LED, nous connaissons une véritable révolution en matière d'éclairage artificiel car elles offrent un potentiel d'économies encore supérieur et concernent toutes les applications d'éclairage, du ménage aux services en passant par l'industrie et l'éclairage extérieur. Si l'on y ajoute les économies permises par une commande intelligente de l'éclairage, on peut dire qu'il est possible d'économiser 50% de la consommation électrique de l'éclairage – sans diminution du confort. Cela représenterait 4500 gigawatt-heures par an en Suisse, soit la consommation électrique d'un million de ménages.

Ce guide pratique s'adresse à toutes les personnes qui souhaitent améliorer l'efficacité de l'éclairage dans leur petite entreprise. Il donne des informations essentielles sur la lumière, les différentes lampes et surtout sur l'éclairage LED. Il explique ce à quoi il faut faire attention lors du remplacement d'une lampe halogène peu efficace par une lampe LED. Le guide illustre l'éclairage de locaux classiques tels qu'un bureau, un restaurant ou un atelier et propose des instruments permettant une estimation facile sur le plan de l'énergie et de la technique d'éclairage.

Avec tous ces efforts pour économiser de l'énergie, il ne faut naturellement pas oublier que l'éclairage est responsable d'une grande partie de notre perception sensorielle et que sa qualité est donc extrêmement importante. Qualité et efficacité ne sont pas incompatibles en matière d'éclairage. En particulier pour les lampes et luminaires LED de haute qualité de nouvelle génération, on ne constate plus de diminution de la qualité de la lumière par rapport à la lumière halogène traditionnelle. Un bon conseil lors de l'achat d'une lampe ou d'un luminaire LED: placez votre main sous le faisceau lumineux de la LED et évaluez le rendu des couleurs de votre peau. La couleur de votre peau vous plaît-elle?

Le développement de la technologie LED est loin d'être terminé. Avec les OLED (LED organiques), il sera possible dans quelques années de générer de la lumière dans de grands matériaux fins et flexibles et ainsi d'en «tapisser» des murs et des plafonds éclairants.

La lumière et la vue

L'œil est à l'origine de plus de 90% de nos perceptions. Pour reconnaître notre environnement et nous orienter, nous avons besoin de lumière.

D'un point de vue physique, la lumière est une onde électromagnétique, comparable à une onde radio, mais possédant une fréquence bien plus élevée. La lumière blanche se compose d'une lumière de différentes couleurs visibles par exemple lors d'un arc-en-ciel ou à travers un prisme. Lorsque la lumière blanche rencontre des gouttes de pluie dans l'air, elle est déviée. Les différentes couleurs de la lumière n'étant pas déviées de la même façon, cela crée tout le spectre de la lumière blanche en commençant par rouge puis orange, jaune, vert, bleu, indigo et violet, toujours dans le même ordre.



Les facultés visuelles et sensorielles de l'œil humain sont énormes. Avec le globe oculaire qui est bien plus petit qu'un bon objectif photo et un centre de calcul de quelques centimètres carrés dans le cerveau, l'œil peut créer des images qui sont bien supérieures à celles des meilleures appareils photos. La largeur de bande de la luminosité, que l'œil peut traiter, va du très sombre au très clair – dans un rapport de 1 sur 1 million. Au moment de la pleine lune, on mesure sur terre un éclairage de seulement 0,2 lux alors qu'il est de 100'000 lux sous le soleil. Dans ces deux situations, l'homme parvient à bien s'orienter. La grande capacité d'adaptation de l'œil humain est également importante pour le potentiel d'économie d'énergie en matière d'éclairage: lorsqu'on utilise, p.ex. dans un bureau, des lampes trop nombreuses ou trop lumineuses, l'œil s'adapte mais la consommation d'électricité à 1000 lux est deux fois plus grande qu'à 500 lux. Par conséquent, un éclairage bien dimensionné permet d'économiser beaucoup d'énergie.

La lumière ne se limite pas à l'éclairage. Elle a également un effet biologique sur l'être humain qui peut susciter l'action, la motivation, la détente ou le calme. Elle peut par exemple atténuer les dépressions hivernales, réguler le rythme veille-sommeil ou accroître les performances.

Les trois types d'éclairage

Il existe trois principes de production de lumière électrique différents et chacune des ampoules disponibles sur le marché peut être associée à l'un de ces trois éclairages :



Radiateurs thermiques
Toutes les lampes à incandescence et lampes halogènes



Lampes à décharge
Tubes fluorescents, lampes économiques, projecteurs de stade et réverbères



Diodes électroluminescentes
Lampes LED

La lumière des lampes à incandescence et halogènes est produite par l'échauffement d'un filament métallique. Seuls 3 à 7% du courant sont transformés en lumière, le reste représente des rejets thermiques. Une lampe à incandescence fonctionne comme le soleil ou le feu, sa lumière est donc très agréable. Suite à son interdiction, la lampe à incandescence classique a été remplacée par la lampe halogène qui est une lampe à incandescence optimisée.

La lampe la plus répandue de la catégorie «lampes à décharge» est le tube fluorescent, appelé à tort «tube néon» bien qu'il ne contienne pas de néon. La lampe fluorescente éclaire selon le principe de la foudre. Cependant, les éclairs sont déclenchés si rapidement que l'œil ne peut pas percevoir chaque

décharge. Dans le cas des lampes à décharge, 25% environ de l'électricité fournie sont transformés en lumière. La lampe économique est un tube fluorescent miniature.

La LED ou «diode électroluminescente» est un composant électronique. Son principe de fonctionnement est similaire à celui d'une cellule solaire mais dans le sens inverse. Tandis que cette dernière transforme la lumière du soleil reçue par un semi-conducteur en silicium en électricité, les LED génèrent de la lumière par l'arrivée de courant sur le semi-conducteur. L'éclairage LED va devenir sous peu la principale source lumineuse.

Avantages et inconvénients des trois types de lampes

Le tableau présente les principaux critères, les caractéristiques techniques et leur évaluation pour les trois types de lampes.

	LAMPE HALOGÈNE	LAMPE ÉCONOMIQUE	LAMPE LED
Efficacité énergétique	faible 15 – 20 lumens par watt	élevée 40 – 60 lumens par watt	très élevée 60 à plus de 100 lm/W
Durée de vie	faible 2'000 heures	élevée 6'000 – 15'000 heures	très élevée 10'000 – 50'000
Commutations on/off	très bon > 500'000	mauvais à très bon 3'000 – 500'000	suffisant à très bon 10'000 – 500'000
Temps d'allumage jusqu'à plein rendement lumineux	très bon Allumage immédiat	insatisfaisant 20 – 180 sec.	très bon Allumage immédiat
Rendu des couleurs	très bon 100	bon 80	bon à très bon 80 – 95
Gradabilité	oui, toutes les lampes	quelques-unes	nombreuses
Part d'énergie grise*	très faible env. 2%	faible max. 10%	faible max. 10%
Élimination	Déchets ménagers	Déchets spéciaux Retour au magasin	Déchets électriques et électroniques Retour au magasin
Prix d'achat	2 CHF	env. 10 CHF	10 à 50 CHF
Coûts de fonctionnement pendant 6'000 heures	60 CHF	15 CHF	10 CHF

* *Énergie grise* = énergie pour la fabrication et l'élimination

La naissance de la lampe LED

Le développement des LED remonte aux années 1960. A l'époque, les petites lampes rouges n'étaient pas très efficaces et étaient utilisées notamment dans les montres pour les premiers affichages digitaux. Il faudra attendre des années de développement technique pour parvenir à fabriquer d'autres couleurs de LED, à savoir, le jaune, le vert et enfin le bleu. La création des LED bleues dans les années 1990 permet enfin de produire de la lumière blanche grâce au mélange des couleurs de base rouge, vert et bleu. Au début, la qualité de cette lumière blanche n'était cependant pas très bonne car il manquait de nombreuses nuances intermédiaires dans le spectre visible du mélange de LED. Au lieu de mélanger les couleurs, on entreprit de convertir la lumière

bleue de la LED en lumière blanche grâce à un revêtement en phosphore. On obtint alors un spectre visible continu. Au fil des années, on continua d'optimiser la technique du revêtement tout comme la quantité de lumière produite par les LED.

Rare sont les autres domaines techniques dans lesquels un produit a duré aussi longtemps que la lampe à incandescence, commercialisée vers 1880 par Thomas Edison. La technologie LED révolutionne l'éclairage et le processus de remplacement est similaire au passage de la machine à écrire à l'ordinateur ou de la disquette au CD. La transition de la lampe à incandescence vers la lampe LED a également été accélérée par les dispositions légales interdisant les lampes à incandescence classiques.

Les nombreux avantages des LED

Outre l'efficacité énergétique, les LED possèdent d'autres caractéristiques non négligeables :

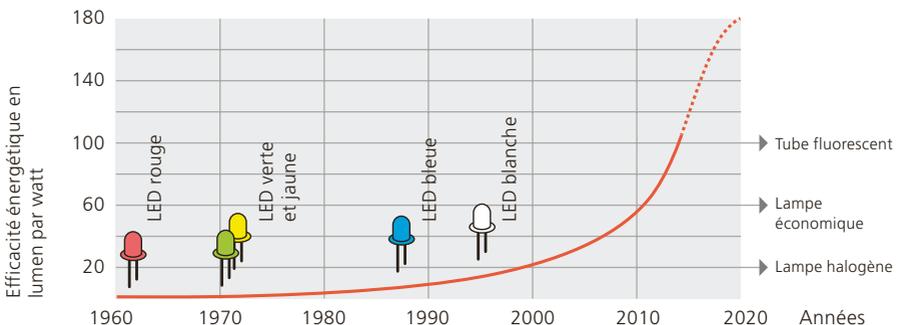
- Le faisceau lumineux des LED est pratiquement dépourvu de lumière ultraviolette et infrarouge, ce qui explique pourquoi elles sont utilisées depuis longtemps déjà dans les musées et les magasins d'alimentation – malgré leur prix élevé à l'époque. Sous la lumière des LED, le processus d'altération des couleurs des tableaux et des produits frais est nettement réduit. Dans les supermarchés aujourd'hui, le choix se porte automatiquement sur les LED au moment de remplacer l'éclairage.
- La technologie LED permet avec un seul luminaire de produire n'importe quelle couleur de lumière ainsi que différentes tonalités de blanc, du chaud au froid. Les filtres coûteux et inefficaces deviennent inutiles et l'on peut également obtenir des effets lumineux. Des projecteurs à lumière variable sont souvent utilisés dans les magasins pour mettre les produits en valeur.
- Les luminaires LED peuvent être miniaturisés et donc être montés presque partout. La lumière des LED peut être orientée de manière très précise, ce qui est très utile

pour l'éclairage public p.ex. afin d'éviter une lumière diffusée sur les façades des maisons. La rue est éclairée et les personnes qui veulent dormir ne sont pas éblouies.

- La LED s'adapte parfaitement et sans perte de luminosité: ainsi, les lampes de bureau à LED p.ex. produisent autant de lumière que nécessaire, cela évite le surdimensionnement.

La LED peut présenter au moins un gros inconvénient. Grâce aux nombreuses et surtout très petites possibilités de construction et au niveau d'efficacité très élevé, la LED nous incite à installer de la lumière dans des endroits qui en étaient auparavant dépourvus: dans les armoires, les niches, la rambarde de l'escalier ou sur toute la façade. Et si efficiente soit-elle, cette nouvelle lumière consomme plus d'électricité que l'absence de lumière. Une certaine part du gain d'efficacité obtenue par les LED est donc de nouveau annulée par de nouvelles applications – un effet rebond que l'on constate également avec d'autres appareils. Ainsi, les téléviseurs modernes p.ex. sont nettement plus efficaces que les anciens mais aussi bien plus grands et consomment de ce fait plus d'énergie.

ÉVOLUTION DE L'EFFICACITÉ ÉNERGÉTIQUE ET DES COULEURS DES LED



L'étiquette-énergie pour les ampoules

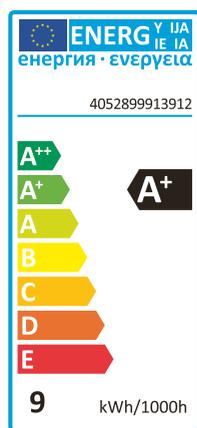
Au sein de l'Union européenne et de la Suisse, les ampoules doivent être pourvues d'une étiquette-énergie. Elle indique leur consommation d'énergie et leur efficacité énergétique.

Sept flèches de couleur représentent les classes d'efficacité: la flèche vert foncé correspond à la classe des ampoules consommant le moins d'énergie, la flèche rouge à celle des ampoules consommant le plus. La flèche noire à droite de l'étiquette identifie la classe de l'ampoule en question. Sur les nouvelles étiquettes apparues depuis début 2013, A++ correspond à la meilleure classe d'efficacité et E à la plus mauvaise.

L'efficacité énergétique d'une ampoule indique le rapport entre la quantité de lumière émise (flux lumineux en lumen) et la puissance électrique fournie en watt. Plus cette valeur est élevée, plus l'ampoule est efficace ou moins elle consomme d'énergie. Le tableau présente

des ampoules classiques qui émettent toutes la même quantité de lumière mais possèdent des puissances consommées et des valeurs d'efficacité énergétique différentes. La lampe LED la plus efficace est presque 10 fois meilleure que la lampe à incandescence inefficente, interdite à la vente depuis 2013.

Le législateur prévoit qu'à partir de 2018, seules les ampoules relevant au moins de la classe B pourront être vendues. Les ampoules pour lesquelles il n'existe aucune alternative économique seront exclues de cette interdiction. Il s'agit notamment des tubes halogènes utilisés dans de nombreux lampadaires à émission indirecte et qui ne pourront être remplacés par une solution à LED économique d'ici 2018.



Classe	Type d'ampoule	Puissance en watt	Efficacité énergétique en lumen par watt
A++	Lampes LED	7	114
A+	Lampes LED et fluorescentes	11	73
A	Lampes économiques et fluorescentes	15	53
B	Meilleures lampes halogènes	40	20
C	Bonnes lampes halogènes	50	16
D	Lampes halogènes standard	60	13
E	Lampes à incandescence (interdites)	supérieure à 60	inférieure à 13

Flux lumineux des ampoules mentionnées ici: 800 lumens

Informations sur l'emballage des lampes

Outre l'étiquette-énergie, l'emballage des lampes présente d'autres informations bien utiles au moment de l'achat d'une ampoule :

1 Puissance absorbée (watt)

La puissance électrique fournie par la prise de courant. Face à la multitude de nouvelles ampoules, d'efficiences différentes, on ne peut plus déduire une certaine quantité de lumière à partir de la puissance.

2 Flux lumineux (lumen)

La quantité de lumière diffusée par l'ampoule dans la pièce. Le flux lumineux est une grandeur de base permettant de comparer la luminosité des ampoules.

3 Durée de vie (heures)

La durée de vie moyenne jusqu'à ce que l'ampoule ne fonctionne plus.

4 Température de couleur (kelvin)

Pour les lampes LED et économiques, on distingue le blanc chaud (température de couleur de 2700 à 3000 kelvin), le blanc neutre (4000 kelvin) et le blanc lumière du jour (6500 kelvin).

5 Teneur en mercure (milligrammes)

Les lampes économiques contiennent de faibles quantités de mercure. Les lampes LED et halogènes n'en contiennent pas.

6 Rendu des couleurs Ra

La qualité de la lumière par rapport à l'authenticité des couleurs éclairées. Une valeur Ra de 80 indique une bonne lumière. Les très bon-

nes lampes LED atteignent 85 à 90. L'indice optimal pour les lampes halogènes est de 100.

7 Gradabilité

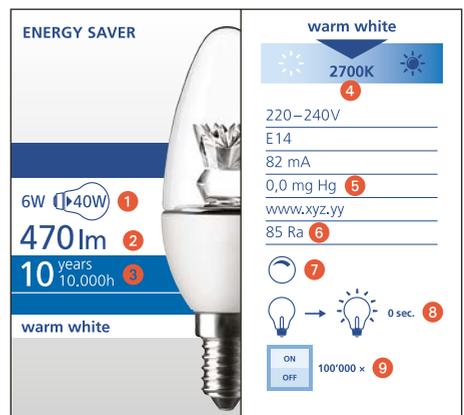
Les lampes halogènes conviennent toujours à la gradation. Les lampes LED adaptées à la gradation sont identifiées comme telles.

8 Temps d'allumage (secondes)

Temps nécessaire pour que l'ampoule atteigne sa pleine intensité lumineuse. Avec les lampes économiques, cela peut prendre plusieurs minutes. Les lampes LED et halogènes s'allument immédiatement.

9 Enclenchements

Nombre de commutations on/off jusqu'à ce que l'ampoule ne fonctionne plus. Les très bonnes valeurs sont supérieures à 100'000 commutations. Les valeurs basses d'environ 5000 peuvent réduire sensiblement la durée de vie indiquée en cas d'usage intensif.



Comparez les numéros avec les valeurs de l'emballage

Remplacement des ampoules

Suite à l'interdiction des lampes à incandescence, les lampes halogènes bon marché sont devenues les lampes standard. Cependant, à long terme, l'achat de lampes LED légèrement plus chères devient rentable grâce aux importantes économies d'électricité réalisées. Trois cas se présentent lors du remplacement d'une lampe halogène par une ampoule plus efficace :

LAMPES CLASSIQUES

1 Une **lampe halogène en forme de poire** est remplaçable aussi bien par une lampe économique que par une lampe LED. Toutes les ampoules possèdent généralement un culot à vis Edison de 27 ou 14 mm de diamètre (E27 ou E14). Concernant la qualité de la lumière et l'efficacité énergétique, les lampes LED sont actuellement bien supérieures aux lampes économiques mais sont plus chères et n'existent pas encore dans toutes les classes de puissance.



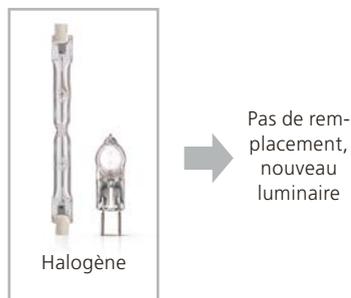
SPOTS

2 Idéalement, un **spot halogène** n'est remplaçable que par une lampe LED. Il existe des modèles pour 230 V et pour 12 V. Les petits spots de 230 V ont généralement un culot GU10 (écart entre les broches de 10 mm), les spots plus grands possèdent un culot à vis Edison E27. De même, les spots halogènes de 12 V (culot GU 5,3 = écart de 5,3 mm) sont remplaçables par des spots à LED correspondants.



LAMPES À BROCHE

3 Les **lampes halogènes à broche** ne sont actuellement remplaçables par aucune lampe LED. Pour des raisons techniques, aucun produit de remplacement n'est prévu dans un futur proche. Si l'on souhaite un lampadaire efficace sans lampe halogène, il faut donc acheter un nouveau luminaire spécialement conçu pour répondre aux exigences de la technologie LED. Il existe déjà de nombreux luminaires à LED intégrées qui diffusent de très grandes quantités de lumière.



La grande hésitation devant le rayon

Pour la plupart des clients, choisir une ampoule parmi l'offre énorme dans les rayons est un véritable défi. Outre la décision quant au type d'ampoule (lampes halogènes, économiques ou LED), se pose la question de la puissance nécessaire pour atteindre quelle luminosité avec quelle ampoule. Le tableau montre que les puissances des types d'ampoule sont très différentes et que le flux lumineux est déterminant pour le choix. Ainsi, on peut produire une quantité de lumière de 806 lumens avec une

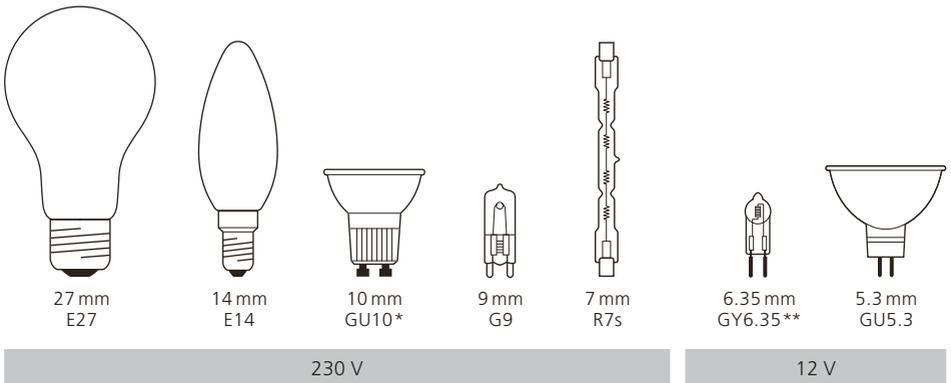
lampe à incandescence de 60 W, une lampe halogène de 48 W, une lampe économique de 12 W ou une lampe LED de 8 W. Les lampes LED possèdent également un rapport différent entre la puissance de raccordement électrique et le flux lumineux diffusé suivant le fabricant et l'état de la technique. Les puissances en watt connues pour les lampes à incandescence ne sont pas standardisées pour les nouveaux types d'ampoules. On doit alors souvent choisir une lampe de remplacement plus ou moins lumineuse. Le mieux est de se baser sur le flux lumineux ou la valeur en lumens.

Flux lumineux*	Lampe à incandescence	Halogène	Lampe économique	LED
1521 lm	100 W	80 W	20 W	15 à 20 W
1055 lm	75 W	60 W	15 W	10 à 15 W
806 lm	60 W	48 W	12 W	8 à 12 W
470 lm	40 W	32 W	8 W	6 à 8 W
249 lm	25 W	20 W	5 W	3 à 5 W
136 lm	15 W	12 W	3 W	2 à 3 W
Économie		- 20 %	- 80 %	- 80 à - 90 %

* Flux lumineux de référence pour lampes LED

Chaque type d'ampoule présente différents culots ou vis. Les ampoules peuvent également avoir différentes formes. Les types les

plus fréquents sont illustrés ci-dessous, les culots et les formes peuvent également être combinés différemment.



* également E27 et E14 ** petites puissances, avec culot G4

Lampes et luminaires

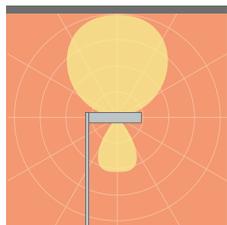
Dans le langage courant, on emploie souvent l'expression «lampe» à la place du terme correcte «luminaire». Le luminaire désigne l'ensemble constitué par l'ampoule, le boîtier, le réflecteur et l'électronique intégrée. La lampe signifie l'ampoule. Avec l'arrivée de l'ère des LED, l'ampoule remplaçable disparaît peu à peu. Les diodes électroluminescentes font désormais partie intégrante du luminaire. La longue durée de vie des LED rend le remplacement des ampoules inutile à l'avenir.

Il existe différents types de luminaires destinés à différentes utilisations. Le réflecteur des luminaires veille à ce que la lumière soit émise dans la direction souhaitée sans créer

d'éblouissement. Chaque luminaire possède une courbe photométrique (courbe à intensité lumineuse égale, comme pour les courbes de niveau sur les cartes topographiques), sur laquelle on peut lire les caractéristiques de diffusion.

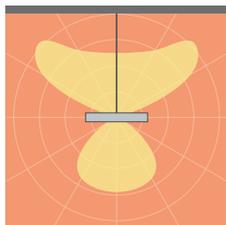
A l'instar de l'étiquette énergie pour les ampoules, l'efficacité énergétique est également indiquée en lumen par watt (lm/W) pour les luminaires, les valeurs supérieures à 70 lm/W étant alors considérées comme bonnes et celles supérieures à 100 lm/W comme très bonnes. Pour connaître les meilleurs luminaires (certifiés Minergie), consultez le site www.toplicht.ch

TYPOLOGIE DES LUMINAIRES AVEC COURBES PHOTOMÉTRIQUES



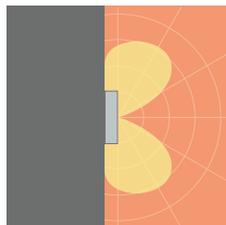
Luminaire sur pied

60–100 W / 5000–12'000 lm*



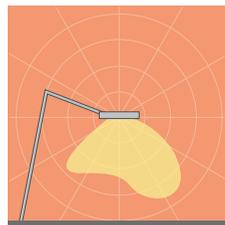
Luminaire suspendu

20–100 W / 1500–12'000 lm*



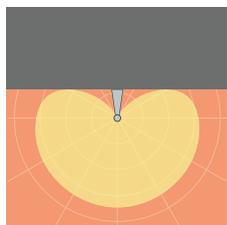
Luminaire mural

10–40 W / 700–4000 lm*



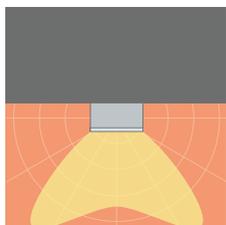
Luminaire de table

5–20 W / 350–2000 lm*



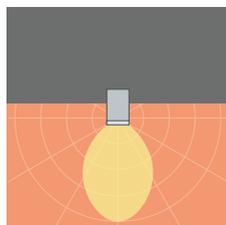
Réglette lumineuse

20–100 W / 1500–12'000 lm*



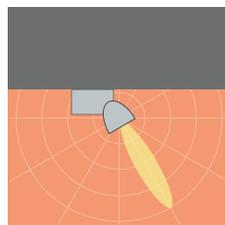
Plafonnier

20–100 W / 1500–12'000 lm*



Plafonnier intensif

10–40 W / 700–4000 lm*



Spot

4–30 W / 200–3000 lm*

* Plage de puissance / Plage du flux lumineux

Evaluation de l'éclairage des locaux

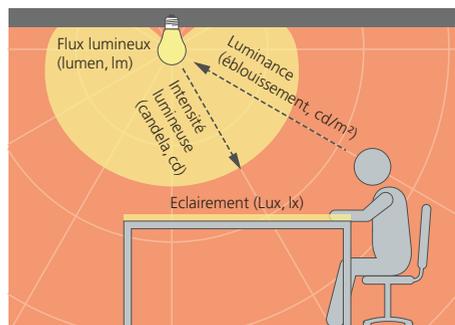
Les trois principales grandeurs d'évaluation de l'éclairage des locaux sont l'éclairement, la puissance électrique installée et l'éblouissement.

L'**éclairement** indique la luminosité que doit présenter une surface (p.ex. sur la table, le sol ou sur un mur). Différents éclairagements sont nécessaires selon la tâche visuelle. Cette grandeur est mesurée à l'aide d'un luxmètre (lux = mot latin signifiant lumière). L'appareil est posé à différents endroits de la pièce, sur les tables ou sur le sol, et le capteur est orienté en direction du plafond. La moyenne des différentes valeurs mesurées donne l'éclairement moyen de la pièce.

La **puissance installée** est la somme de toutes les puissances électriques des lampes et luminaires présents dans la pièce. Pour l'évaluation, elle est généralement indiquée en tant que puissance spécifique par mètre carré de surface (W/m^2). Les puissances installées nécessaires pour une pièce de luminosité normale (superficie de $36m^2$) en fonction de l'éclairement et du type d'ampoule utilisé sont indiquées dans le tableau ci-dessous.

Pour l'évaluation de l'**éblouissement**, les critères applicables sont les suivants:

- Les sources lumineuses ponctuelles (p.ex. les spots) doivent être disposées de façon à ce que le faisceau lumineux ne soit jamais directement orienté dans le champ visuel des personnes se trouvant dans la pièce.
- Avec les luminaires parfaitement protégés contre l'éblouissement, l'observateur dans une position normale n'a aucun contact visuel avec l'ampoule.
- Les luminaires dotés d'un cache en verre laiteux ou prismatique peuvent également être bien protégés contre l'éblouissement: plus la surface éclairante d'un luminaire est grande, plus son éblouissement est faible.



Rapport entre l'éclairement et les valeurs caractéristiques des luminaires et des lampes lumen et candela et l'éblouissement

Application	Intensité lumineuse (lux)	Puissance installée (W/m^2)		
		LED	Lampe fluorescente	Lampe halogène
Boutique, shop	700	7 à 14	21	84
Bureau, salle de classe	500	5 à 10	15	60
Atelier, séjour	300	3 à 6	9	36
Restaurant, cage d'escalier	200	2 à 4	6	24
Couloir, WC, stock	100	1 à 2	3	12



Eclairage efficient des locaux

Eclairage dans le bureau

Pour obtenir un bon éclairage dans le bureau, il faut tenir compte des aspects suivants:

- Les surfaces de travail doivent présenter un éclairage minimal de 500 lux et la diffusion de la lumière sur les bureaux doit être la plus uniforme possible. En dehors des bureaux, 300 lux suffisent.
- Les luminaires doivent être conçus et positionnés de façon à éviter tout éblouissement direct gênant au poste de travail. Les luminaires sans protection contre l'éblouissement ne sont pas adaptés au travail de bureau.
- Pour un éclairage efficient du bureau, on peut prendre comme base de calcul 6 à 10 W/m² de surface (suivant le type de lumi-

naire et la luminosité de la pièce). Un bureau de 3 personnes de 36 m² de surface nécessite donc des luminaires d'une puissance totale de 216 à 360 W.

- La luminosité des murs et du mobilier a une grande influence sur la quantité de lumière nécessaire. Les pièces sombres (meubles sombres, béton brut, murs de couleur) ont besoin de 50% de lumière artificielle en plus par rapport aux pièces claires (meubles clairs, murs et plafonds blancs).

** Hypothèse pour les valeurs indiquées dans les graphiques:*

- Dimensions du local: $L \times l \times h = 6 \times 6 \times 3$ mètres
- Luminosité moyenne du local
- Exemples de valeurs caractéristiques pour de bons luminaires LED, les valeurs réelles peuvent être légèrement différentes

Trois possibilités typiques pour l'éclairage des postes de travail*

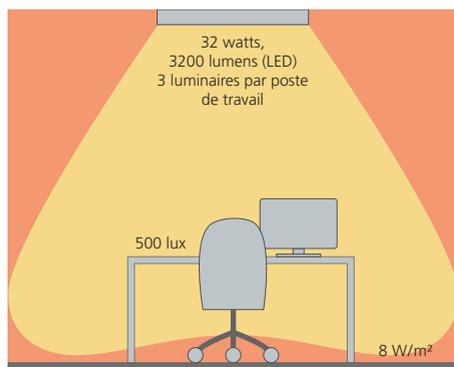
Les lampadaires

Les luminaires sont orientés vers le poste de travail et peuvent éclairer de un à quatre postes de travail selon la puissance et l'ameublement. Un lampadaire de bureau individuel efficace possède une puissance entre 80 et 100 W. Beaucoup de lampadaires possèdent des capteurs de lumière intégrés qui allument et éteignent automatiquement la lumière artificielle en fonction de la présence des personnes et font varier l'intensité des lampes en cas de lumière naturelle suffisante.



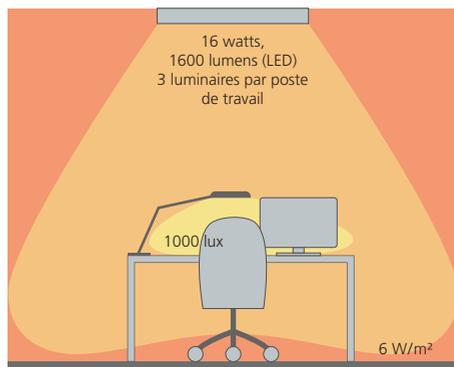
Les plafonniers (ou suspensions)

Les luminaires sont fixés au plafond, indépendamment des postes de travail, selon un schéma défini. L'éclairage est réparti dans toute la pièce. Suivant la puissance des luminaires, la géométrie de la pièce et la densité d'occupation, un à trois luminaires sont nécessaires par poste de travail. Des détecteurs de présence supplémentaires sont souvent installés afin d'éteindre automatiquement la lumière artificielle en l'absence d'occupants ou en cas de lumière naturelle suffisante.



Les lampes de bureau et les plafonniers

Combiner des lampes de bureau et des plafonniers est une solution d'éclairage très efficace. Les plafonniers fournissent l'éclairage de base avec env. 300 lux et les lampes de bureau apportent l'éclairage supplémentaire nécessaire sur les surfaces de travail. Cette solution est particulièrement bien adaptée aux employés les plus âgés, car les lampes de bureau fournissent, à une faible puissance, beaucoup de lumière (1000 lux) au bon endroit. Une lampe de bureau à LED moderne exige une puissance de raccordement de 10 à 15 W seulement.





N5 Kochloft, Worb

Eclairage dans un restaurant

Pour l'éclairage d'un restaurant, il convient de respecter les points suivants:

- L'éclairage moyen requis est de 200 lux. Cette luminosité peut être obtenue avec des luminaires à LED efficaces de 3 à 4 W/m² de surface au sol. La puissance de raccordement est 5 à 10 fois supérieure avec des lampes halogènes traditionnelles!
- Le principal critère de l'éclairage dans un restaurant n'est pas l'éclairage moyen mais l'éclairage optimal des tables et l'ambiance lumineuse générale dans le local. Il est surtout essentiel que les clients ne soient pas éblouis par l'éclairage.
- L'exigence en matière d'éclairage optimal des tables et un positionnement flexible des tables sont souvent incompatibles. La solu-

tion optimale serait de pouvoir déplacer les tables et les luminaires ensemble.

- Le passage d'un éclairage halogène traditionnel à un éclairage LED efficace s'amortit rapidement: Dans un restaurant de 100 m², on peut rapidement économiser plus de 1000 francs de coûts d'électricité par an.

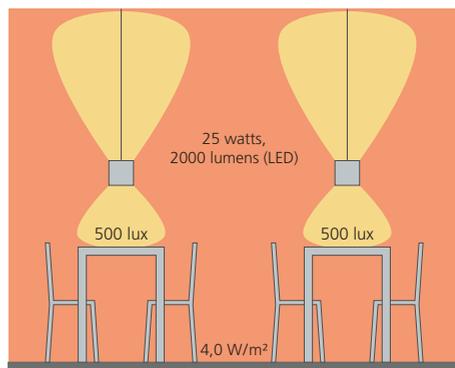
** Hypothèse pour les valeurs indiquées dans les graphiques:*

- Dimensions du local: $L \times l \times h = 6 \times 6 \times 3$ mètres
- Luminosité moyenne du local
- Exemples de valeurs caractéristiques pour de bons luminaires LED, les valeurs réelles peuvent être légèrement différentes

Trois possibilités typiques pour l'éclairage d'un restaurant*

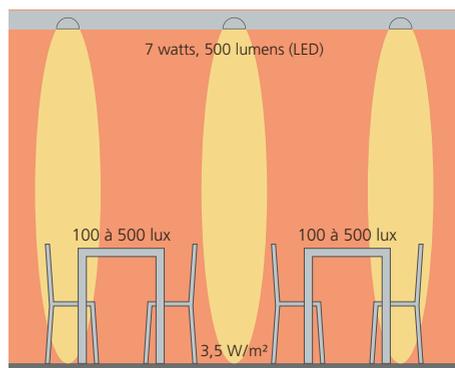
Les suspensions

Chaque table possède son propre luminaire et est éclairée de manière uniforme, l'arrière-plan reste plutôt sombre. Un autre effet lumineux est produit en fonction du rayonnement (lumière directe ou directe-indirecte). Les luminaires doivent être suspendus de façon à éviter tout éblouissement et à ne pas gêner le regard vers le voisin de table. (Hauteur de montage: 60 à 80 cm au-dessus de la table). Un luminaire LED d'une puissance de 15 à 25 W (2000 lumens) éclaire de manière optimale une table de 4 personnes.



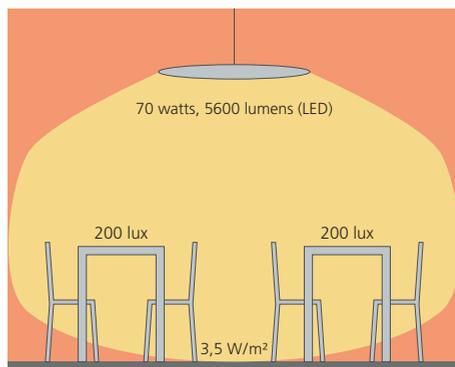
Les spots encastrés au plafond

Les spots sont fixés au plafond selon un schéma, indépendamment des tables. Cette solution d'éclairage répandue permet un positionnement flexible des tables. Les tables étant éclairées avec une luminosité différente, cette installation est plutôt désavantageuse pour les clients (qui sont «fortuitement» assis dans l'ombre). 50 spots à LED de 7 W (500 lumens) peuvent éclairer un restaurant de 100 m² avec en moyenne 200 lux.



Le plafonnier

Des plafonniers à émission large peuvent créer un éclairage uniforme tout en permettant une disposition flexible des tables. L'impression de lumière confère ici moins d'ambiance, ce qui ne doit toutefois pas être négatif. La création d'une atmosphère agréable avec des plafonniers à émission libre repose principalement sur l'architecture intérieure et moins sur le choix des luminaires. Cinq luminaires LED de 70 W (5600 lumens) peuvent éclairer un restaurant de 100 m² avec environ 200 lux.





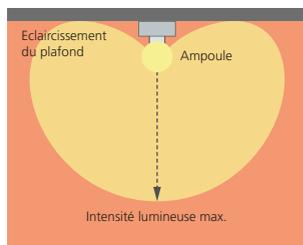
Eicher Holzwaren AG, Schwarzenegg

Eclairage des ateliers, halles et entrepôts

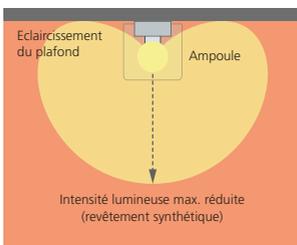
Dans les locaux de grandes surfaces tels que les ateliers, halles, garages ou simples surfaces de vente, on utilise généralement des plafonniers ou des suspensions. Suivant l'utilisation, les luminaires sont à rayonnement libre, pro-

tégés avec un cache en matière synthétique ou équipés d'un simple réflecteur. Jusqu'à récemment, ces luminaires étaient généralement pourvus de tubes fluorescents.

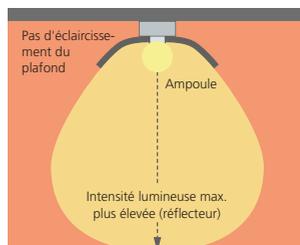
TROIS TYPES DE LUMINAIRES MURAUX AVEC COURBES DE RÉPARTITION



Plafonnier à rayonnement libre



Plafonnier fermé



Plafonnier avec réflecteur

Le remplacement de l'éclairage existant par une solution à LED peut permettre d'économiser jusqu'à 50% des coûts énergétiques. Pour cela, il existe deux manières de procéder:

Remplacement des ampoules

Les tubes fluorescents sont remplacés par des tubes à LED qui s'insèrent dans les mêmes culots que les tubes traditionnels (type «G13» pour les tubes de 26 mm de diamètre et type «G5» pour les tubes de 16 mm de diamètre). Dans le cas d'anciens luminaires dotés de ballasts ferromagnétiques, il convient de remplacer la lampe ainsi que le démarreur. Dans le cas de luminaires à ballast électronique, il est parfois nécessaire de remplacer le ballast. Prendre conseil auprès de professionnels. Les tubes à LED présentent une puissance de raccordement près de deux fois inférieure à celle des lampes fluorescentes traditionnelles (p. ex. 25 au lieu de 58 W) et émettent généralement uniquement dans la moitié inférieure de l'espace de sorte que la lumière inutile disparaît contre le plafond.

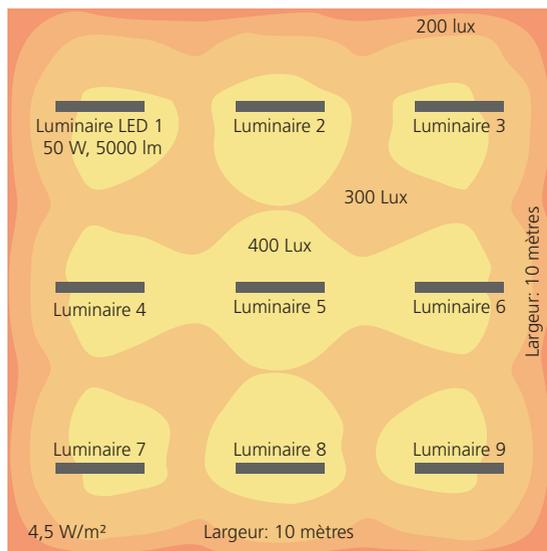
Remplacement des luminaires

Le luminaire est retiré dans son intégralité et un luminaire LED complet à LED intégrées est installé au même emplacement. Par rapport au remplacement de l'ampoule par un tube à LED, cette variante présente l'avantage d'être mieux adaptée sur le plan technique et plus stable sur le plan de la construction, ce qui se traduit par des frais d'entretien réduits. Les coûts d'un luminaire LED neuf sont supérieurs au remplacement par des tubes à LED. A long terme, cette solution peut toutefois être plus économique.

Disposition des luminaires dans le local

En règle générale, les luminaires sont fixés au plafond, à égale distance, dans un schéma symétrique. On obtient ainsi une répartition relativement uniforme de l'éclairage dans tout le local (voir le plan avec les courbes isolux). L'éclairage diminue légèrement contre les murs. Selon le positionnement de rayonnages ou de machines-outils au sol, un ombrage peut se former et conduire à l'installation de luminaires de poste de travail ou de rayonnage supplémentaires.

Pour un éclairage moyen de 350 lux dans un local de 100 m² et de 3 m de haut, il est nécessaire d'installer neuf luminaires LED efficaces de 50 W (ou 5000 lumens). Cela correspond à une puissance installée d'environ 4,5 W/m². Pour un éclairage inférieur, la puissance de raccordement diminue proportionnellement.



Plan d'un atelier avec luminaires et courbes Isolux

Eclairage des zones de circulation

Outre le dimensionnement approprié de l'éclairage dans les surfaces utiles principales d'un bâtiment (c.-à-d. bureau, restaurant, atelier etc.), un sujet important concernant les zones de circulation (couloirs, cages d'escalier, toilettes etc.) est la bonne installation de l'éclairage et surtout la limitation de sa durée de fonctionnement. En règle générale, ces installations d'éclairage fonctionnent encore, même lorsque plus personne ne se trouve dans les locaux. Des interrupteurs à horloge et des détecteurs de mouvement permettent de diminuer considérablement la durée de fonctionnement et, par conséquent, la consommation d'énergie.

Eclairage dans un couloir

Les luminaires sont généralement fixés de manière centrée (p. ex. plafonnier éclairant vers le bas), sur le bord entre le mur et le plafond (chemin lumineux) ou au mur. L'éclairement nécessaire de 100 lux au sol s'obtient grâce à

des luminaires LED efficaces et une puissance installée de 2,5 W/m² de surface au sol. Ainsi, un couloir de 10 mètres de long et 1,5 mètre de large a besoin, par exemple, de trois plafonniers ou appliques de 12 W.

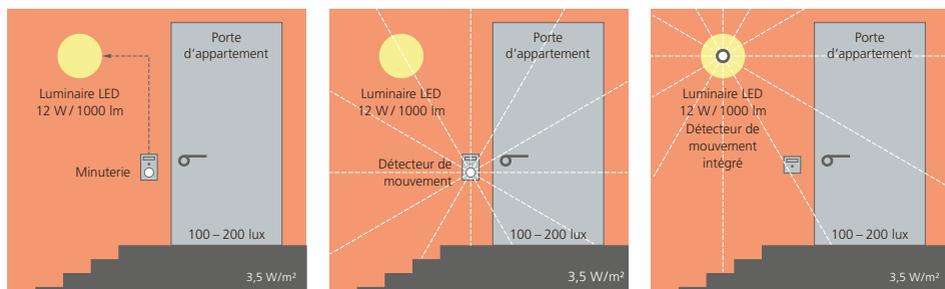
Eclairage dans une cage d'escalier

Dans une cage d'escalier normale, deux bons luminaires LED de 12 W par étage suffisent pour assurer un bon éclairage. Des minuteries (allumage manuel et extinction programmable, p. ex. après deux minutes) ou des détecteurs de mouvement (allumage et extinction automatiques en présence de personnes) peuvent être utilisés comme commande d'éclairage. Les détecteurs de mouvement peuvent également être directement intégrés dans les luminaires – cela évite le câblage du capteur. Grâce à une configuration en essaim, des luminaires réglés peuvent communiquer entre eux. Ainsi, le luminaire au 1^{er} étage «sait» quand quelqu'un se trouve au rez-de-chaussée et la lumière peut ainsi s'allumer par anticipation.



Coupe d'un couloir avec luminaires et courbes Isolux

TROIS VARIANTES DE COMMANDES LUMINEUSES DANS DES CAGES D'ESCALIER



Minuterie

Détecteur latéral

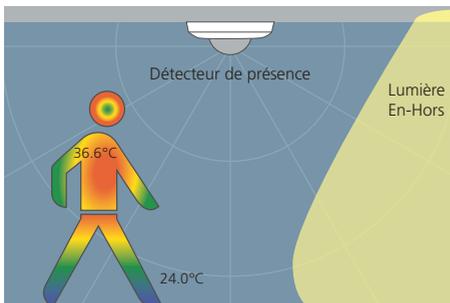
Détecteur intégré

Commander ou régler l'intensité de la lumière

Détecteurs de mouvement

Les détecteurs de présence ou de mouvement allument et éteignent automatiquement la lumière, en fonction de la présence ou non de personnes dans la pièce.

De par leur fonctionnement, les régulateurs utilisés sont également appelés détecteurs à infrarouge passif (PIR). Ils fonctionnent comme une simple caméra à infrarouge et réagissent aux rejets thermiques des personnes qui se déplacent. Afin que les capteurs puissent distinguer les personnes d'autres sources de chaleur (p. ex. des radiateurs ou des lampes), ils ne réagissent que lorsque l'image thermique change, c'est-à-dire lorsque une personne p. ex. bouge. Les détecteurs à infrarouge passif sont fixés aux plafonds, aux murs ou remplacent les commutateurs d'éclairage.



Principe de fonctionnement d'un détecteur de présence

Pour éviter une extinction trop rapide de l'éclairage, un temps de poursuite, généralement de dix minutes, est programmé. Dans le cas des luminaires LED et du positionnement précis des capteurs, le temps de poursuite peut être diminué de deux à cinq minutes.

Lors du montage, il faut veiller à ce que les capteurs «voient» uniquement ce qu'a le «contact

visuel» direct. Les meubles, les plantes et les cloisons amovibles gênent la zone de détection des capteurs, ce qui limite la détection de présence.

La plupart des détecteurs de présence possèdent également un capteur de lumière naturelle qui éteint automatiquement la lumière artificielle en cas de lumière naturelle suffisante. Cette fonction de détection de la lumière naturelle est difficile à régler et elle n'est souvent pas satisfaisante.

Gradateurs

En principe, tous les types de lampes (lampes halogènes, économiques et LED) sont adaptés à la gradation.

- La gradation fonctionne sur les lampes halogènes sans câble supplémentaire par le biais de gradateurs dits à coupure de phase en amont ou en aval.
- Les lampes économiques et les lampes fluorescentes nécessitent un câble supplémentaire qui peut régler l'appareil de fonctionnement électrique nécessaire dans le luminaire. On utilise généralement des «régulateurs DALI».
- Parmi les lampes LED, on distingue deux types: celles avec des gradateurs de lampes halogènes traditionnels et celles non adaptées à la gradation. En ce qui concerne les lampes LED adaptées à la gradation, il faut noter que tous les gradateurs ne fonctionnent pas avec toutes les lampes LED. Les fournisseurs ont établi des listes indiquant les différentes combinaisons possibles de lampes LED et de gradateurs. Lors de l'achat d'une lampe LED adaptée à la gradation, un droit à la restitution doit pouvoir être utilisé, si le gradateur installé n'est pas compatible avec la nouvelle lampe LED.

Remplacement de l'éclairage dans les petites entreprises

De nombreux restaurants, magasins et entreprises artisanales sont actuellement toujours éclairés par des spots halogènes inefficients. Les locaux utilisant souvent peu de lumière naturelle et l'éclairage étant, par conséquent, allumé toute la journée, les dépenses liées au remplacement des lampes défectueuses ne sont pas non plus négligeables. Malgré les prix d'achat plus élevés des lampes LED, le

remplacement des lampes halogènes par des LED dans de nombreuses petites entreprises est très économique.

Le tableau ci-dessous met en évidence la rentabilité de la solution à LED dans l'exemple du remplacement des spots halogènes conventionnels par des spots à LED retrofit (lampe LED à vis ou culot enfichable identique) dans un restaurant.

CALCUL DE RENTABILITÉ POUR LE REMPLACEMENT DES LUMINAIRES DANS UN RESTAURANT

Données générales	Type d'éclairage	Etat actuel	Etat souhaitable
		Spots halogènes	Spots LED
	Puissance par lampe	50 watts	7 watts
	Flux lumineux par lampe	400 lumens	400 lumens
	Prix d'achat par lampe	CHF 5.–	CHF 15.–
	Durée de vie des lampes	1 an	15 ans
	Nombre de lampes (luminaires)	50	50
Coûts de l'énergie	Durée annuelle de fonctionnement	3000 heures	3000 heures
	Consommation annuelle d'énergie	7500 kWh	1050 kWh
	Prix moyen de l'électricité	CHF 0.20 / kWh	CHF 0.20 / kWh
	Coûts annuels de l'énergie	CHF 1500.–	CHF 210.–
Coût des lampes*		CHF 250.–	CHF 750.–
Coûts totaux		CHF 1750.–	CHF 960.–
Economie			5 mois

* unique pour les LED, annuel pour les halogènes

Le restaurant de l'exemple possède une surface de 100m² et environ 50 spots. Avec un éclairage halogène traditionnel et une durée de fonctionnement annuelle de 3000 heures, les coûts énergétiques de l'éclairage s'élèvent à 1500 francs par an. A cela s'ajoutent les frais de remplacement liés à l'achat de lampes neuves (avec l'halogène, environ 1 remplacement par an) et l'opération de remplacement. Désormais, si l'on remplace les spots halogènes par des LED, les coûts énergétiques annuels ne sont plus que de 210 francs. Et, bien que

l'investissement pour les lampes LED soit près de trois fois plus élevé que pour des lampes halogènes, il est amorti en moins de six mois grâce aux coûts énergétiques plus faibles.

L'exemple de calcul ci-dessus peut s'appliquer à de nombreux autres usages tels que des petits magasins ou des entreprises artisanales (p.ex. des salons de coiffure). La plupart du temps, leurs exploitants ignorent les coûts énergétiques élevés de leurs lampes halogènes et l'énorme rentabilité d'un remplacement par des LED.

SuisseEnergie, Office fédéral de l'énergie OFEN
Mühlestrasse 4, 3063 Ittigen, adresse postale: 3003 Berne
Téléphone 031 322 56 11, Fax 031 323 25 00
energieschweiz@bfe.admin.ch, www.suisseenergie.ch