



CENTRE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE DE LA CONSTRUCTION



GUIDE PRATIQUE ET TECHNIQUE DE L'ÉCLAIRAGE RÉSIDENTIEL

2011



CENTRE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE DE LA CONSTRUCTION

GUIDE PRATIQUE ET TECHNIQUE DE L'ÉCLAIRAGE RÉSIDENTIEL

A. Deneyer, P. D'Herdt et B. Deroisy

(Centre scientifique et technique de la construction)

B. Roisin, M. Bodart et J. Deltour

(Université catholique de Louvain)

Document rédigé dans le cadre du projet de recherche ECLOS soutenu via le programme Minergibat du Service public de Wallonie

SOMMAIRE

1. INTRODUCTION.....	4
2. QU'EST-CE QUE L'ÉCLAIRAGE ?	5
2.1 Terminologie et notions de photométrie.....	5
2.2 L'éclairage naturel.....	6
2.3 L'éclairage artificiel.....	6
2.4 Composition d'un appareil d'éclairage	7
3. QUELLES SONT LES LAMPES ET LUMINAIRES DISPONIBLES ?	8
3.1 Caractéristiques des lampes.....	8
3.2 Description des différents types de lampes à usage domestique	10
3.3 Caractéristiques des luminaires	17
3.4 Les différents types de luminaires.....	20
3.5 Quelle lampe utiliser dans quel luminaire ?	22
3.6 Quelle lampe efficace pour remplacer ma lampe ?	24
4. LA GESTION DE L'ÉCLAIRAGE	31
4.1 Types d'action.....	31
4.2 Stratégies de contrôle	31
4.3 Outils de contrôle	32
5. LA QUALITÉ DE L'ÉCLAIRAGE	35
5.1 Le niveau d'éclairement.....	35
5.2 La distribution de la lumière	35
5.3 Les ombres gênantes.....	35
5.4 L'éblouissement	36
5.5 Le rendu des couleurs.....	36
5.6 La température de couleur	37
6. L'ÉVALUATION D'UNE INSTALLATION.....	38
6.1 Qualité de l'éclairage.....	38
6.2 Efficacité énergétique d'une installation.....	40
7. QUEL ÉCLAIRAGE POUR QUEL LOCAL ?	42
7.1 La cuisine	42
7.2 La salle à manger.....	44
7.3 Le séjour.....	45
7.4 La salle de bains et les toilettes.....	46
7.5 La chambre.....	47
7.6 Hall d'entrée, couloirs, escaliers.....	48
7.7 Débarras, cave, buanderie	48
8. LA CONSTRUCTION NEUVE, SOLUTION IDÉALE POUR UN ÉCLAIRAGE EFFICACE ET ESTHÉTIQUE	49
8.1 Mise en œuvre	49
8.2 Exemples de nouvelles installations.....	49
9. COMMENT AMÉLIORER L'INSTALLATION D'ÉCLAIRAGE EN RÉNOVATION ?	52
9.1 Le remplacement des lampes	52
9.2 Le remplacement des luminaires	53
10. CONCLUSIONS.....	57
BIBLIOGRAPHIE	59

1 INTRODUCTION

Face aux défis du réchauffement climatique et de l'épuisement des ressources fossiles, l'efficacité énergétique est devenue un des sujets clefs dans tous les domaines d'activités, y compris le secteur résidentiel. Dans ce dernier, les besoins en énergie sont très variés et l'éclairage, après l'électroménager, représente une part non négligeable de la consommation électrique des familles.

Plusieurs études ont identifié la part d'énergie électrique utilisée pour s'éclairer à plus de 10 % de la consommation électrique totale d'un ménage. Pourtant, au contraire des installations de chauffage et de l'électroménager, les systèmes d'éclairage économes en énergie sont peu mis en avant et peu utilisés.

Pour ces raisons, une directive européenne prévoyant le retrait progressif du marché (entre 2009 et 2011) des lampes à incandescence, peu efficaces et gourmandes en énergie a été votée en 2008. Le marché de l'éclairage domestique, les habitudes des occupants et les installations vont devoir s'adapter aux effets de cette directive qui encourage d'autres technologies comme la lampe fluo-compacte, l'halogène à recouvrement infrarouge ou les diodes électroluminescentes.

Soulignons aussi que la problématique de l'éclairage des logements est assez complexe. En effet, contrairement aux bâtiments industriels et tertiaires, il n'existe actuellement aucune norme ni recommandation quant aux niveaux d'éclairement à atteindre dans les habitations. De plus, les préférences des habitants varient fortement en fonction de conditions tant objectives et quantifiables (besoin de plus d'éclairement pour les personnes âgées) que socioculturelles et subjectives (préférence pour un type de luminaire, pour une température de couleur, etc.). De ce fait, les architectes et les usagers peinent à installer un éclairage efficace, confortable et esthétique dans les logements.

L'objectif de ce guide est de fournir une aide à la conception et au choix de l'installation d'éclairage. Il aborde la technologie des lampes et des luminaires existants. Il informe également sur les puissances à installer de manière à ce que la solution d'éclairage soit la plus efficace possible – sans toutefois négliger les aspects de confort et d'esthétisme – et propose des solutions pour chaque type de local.

2 QU'EST-CE QUE L'ÉCLAIRAGE ?

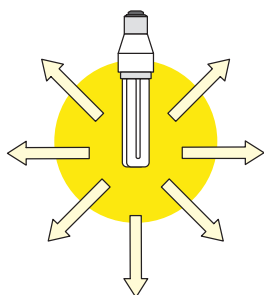
2.1 TERMINOLOGIE ET NOTIONS DE PHOTOMÉTRIE

Avant de passer en revue les différents moyens permettant d'assurer un éclairage efficace dans les logements, nous rappelons ci-dessous quelques principes théoriques de base relatifs à la lumière et à l'éclairagisme. Cette section a pour seul objectif d'introduire les notions fondamentales de terminologie et de photométrie nécessaires pour comprendre les concepts abordés dans ce guide.

2.1.1 LE FLUX LUMINEUX

Le flux lumineux (Φ) est la quantité de lumière rayonnée par une source dans toutes les directions de l'espace. Il s'exprime en lumens (symbole : lm).

Fig. 1 Flux lumineux d'une source.



C'est d'une certaine manière la 'puissance lumineuse' qu'une source émet; c'est donc sur cette base que les sources lumineuses peuvent être en partie comparées. Deux sources émettant le même flux lumineux donneront, *a priori*, la même quantité de lumière dans la pièce.

2.1.2 L'ÉCLAIREMENT

L'éclairement est la quantité de flux lumineux (de lumière) reçue par une surface. Il est exprimé en lux (ou lm/m^2 ; symbole : lx) : $1 \text{ lx} = 1 \text{ lm}/\text{m}^2$.

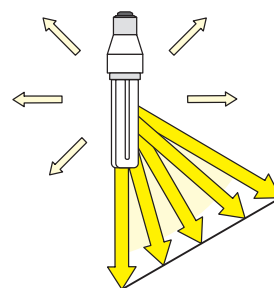


Fig. 2 Eclairement d'une surface.

Les valeurs d'éclairement rencontrées à l'extérieur varient considérablement : de 0,2 lux sous une nuit de pleine lune à 100.000 lux sous un soleil d'été.

EXEMPLES

- Sol extérieur par nuit de pleine lune : 0,2 lx
- Surface de travail dans un bureau : de 300 à 1000 lx
- Sol extérieur par ciel couvert : de 5000 à 20.000 lx
- Sol extérieur par ciel clair : de 7000 à 24.000 lx
- Surface perpendiculaire au soleil d'été : 100.000 lx

2.1.3 L'INTENSITÉ LUMINEUSE

La notion d'intensité lumineuse prend en compte l'aspect directionnel de la lumière. Elle correspond au flux lumineux émis par unité d'angle solide dans une direction donnée et s'exprime en candelas (lumens par stéradian; symbole : cd).

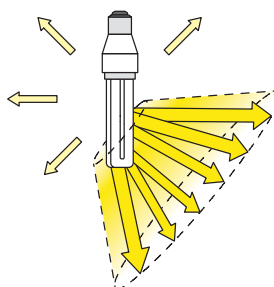
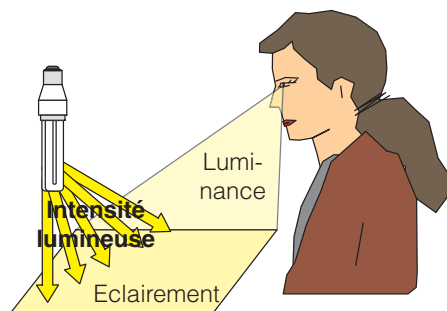


Fig. 3 Intensité lumineuse d'une source.

2.1.4 LA LUMINANCE

La luminance est la seule grandeur réellement perçue par l'œil humain. Elle est directement liée à l'éclairement rétinien et correspond à la sensation visuelle de luminosité créée par une source ou par une surface éclairée. Elle représente le rapport entre l'intensité de la source dans une direction donnée et la surface apparente de cette source. Elle s'exprime en candelas par mètre carré (symbole : cd/m^2).

Fig. 4 Luminance d'une surface éclairée par une source.



L'œil humain perçoit des valeurs de luminance allant d'un millième de cd/m^2 à 100.000 cd/m^2 .

EXEMPLES

- Paysage nocturne : 10^{-3} cd/m^2
- Paysage par pleine lune : 10^{-2} à 10^{-1} cd/m^2
- Paysage par ciel couvert : 300 à 5000 cd/m^2
- Lune : 2500 cd/m^2
- Papier blanc au soleil : environ 25.000 cd/m^2
- Soleil : $1,5 \times 10^9 \text{ cd/m}^2$

2.2 L'ÉCLAIRAGE NATUREL

Depuis toujours, l'homme a vécu au rythme des saisons et de l'éclairage naturel. Ce n'est que depuis l'apparition des sources artificielles qu'il a étendu son rythme de vie et de travail. Néanmoins, l'éclairage naturel reste un choix prépondérant dans nombre de situations et de modes de vie.

Il faut différencier deux types de sources de lumière naturelle : la lumière naturelle directe et la lumière naturelle diffuse. Ainsi, le soleil fournit un éclairage direct, puissant et changeant, alors que le ciel est une source de lumière plutôt diffuse et stable.

L'utilisation de l'éclairage naturel apporte de nombreux avantages tant physiologiques que psychologiques :

- la lumière fournie par le soleil et le ciel est rayonnée sur tout le spectre, ce qui rend la couleur des objets 'réelle'
- la lumière naturelle ne consomme pas d'énergie. La quantité de lumière disponible varie en fonction du jour de l'année, de l'heure et des conditions climatiques; dans un certain nombre de cas, la lumière naturelle peut être suffisante pour éclairer convenablement nos intérieurs
- les ouvertures créées dans les bâtiments pour laisser entrer la lumière naturelle sont aussi des sources de vision vers l'extérieur, permettant le contact visuel et reliant les occupants intérieurs au monde extérieur.

La lumière naturelle n'est cependant pas parfaite :

- elle change constamment d'intensité et de couleur. Il peut donc être difficile d'éclairer, de manière stable, un local uniquement à l'aide de celle-ci
- elle peut atteindre de très fortes valeurs de luminance et créer un certain éblouissement (par exemple, si les rayons directs du soleil pénètrent dans un local). Il pourra donc être nécessaire de prévoir des moyens de protection vis-à-vis de cette source
- la pénétration des rayons du soleil dans un bâtiment peut également entraîner une surchauffe dans les locaux. C'est la raison pour laquelle un système de protection solaire peut être nécessaire dans certains cas.

2.3 L'ÉCLAIRAGE ARTIFICIEL

Depuis l'invention de l'ampoule à incandescence au XIX^e siècle par *Thomas Edison*, l'éclairage artificiel s'est développé dans tous les secteurs : éclairage routier, éclairage des logements et des bureaux, éclairage décoratif, etc.

L'éclairage artificiel présente l'avantage d'être continuellement disponible, à la condition d'être alimenté en énergie. Quelle que soit l'heure du jour ou de la nuit, il est possible de s'éclairer.

Mais l'éclairage artificiel a également ses limites car, ayant besoin d'énergie pour fonctionner, il entraîne nuisances, pollution et épuisement des res-

sources naturelles. De plus, s'il est mal utilisé (trop de lumière, flux mal dirigé, etc.), il sera source de pollution lumineuse, empêchant ainsi l'observation de la voûte céleste et dérégulant l'écosystème.

2.4 COMPOSITION D'UN APPAREIL D'ÉCLAIRAGE

Un appareil d'éclairage se compose de plusieurs éléments : d'une part, la source lumineuse (la lampe) ainsi que ses éventuels auxiliaires et, d'autre part, le corps du luminaire.

2.4.1 LA SOURCE LUMINEUSE

La source lumineuse (la lampe) est l'élément de base de l'appareil d'éclairage. Sans elle, l'appareil ne peut fournir la lumière nécessaire pour éclairer. Les sources de lumière artificielle peuvent être classées en trois catégories selon la technologie utilisée pour produire la lumière : l'incandescence, la décharge dans un gaz et l'électroluminescence. Nous reviendrons plus en détail sur ces technologies au § 3.2 (p. 10).

2.4.2 LES AUXILIAIRES

Certaines lampes requièrent l'usage d'auxiliaires afin de fonctionner correctement. Ces auxiliaires s'organisent en deux catégories principales : les transformateurs et les ballasts.

Le transformateur est généralement utilisé en combinaison avec des lampes halogènes à très basse tension (TBT). Il peut être de deux types : (ferro)magnétique ou électronique. Le rôle du transformateur est de fournir à la lampe une tension plus

faible (généralement 12 V pour l'halogène) à partir de la tension du réseau. Un des avantages de l'utilisation de lampes TBT réside dans le faible risque d'électrocution (du moins, en ce qui concerne les éléments situés du côté TBT du transformateur). Notons que les diodes électroluminescentes (DEL; en anglais : LED) fonctionnent également en TBT, mais en plus de nécessiter un transformateur, elles doivent être munies d'un redresseur car elles fonctionnent en courant continu.

Le starter et le ballast sont utilisés en combinaison avec les lampes à décharge. Il existe des ballasts ferromagnétiques qui doivent être accompagnés d'un starter, et des ballasts électroniques avec starter intégré. Les deux rôles fondamentaux de ce couple sont d'assurer l'allumage de la lampe et de limiter le courant dans le tube durant son utilisation afin d'empêcher sa destruction.

2.4.3 LE CORPS DU LUMINAIRE

Le troisième élément d'un appareil d'éclairage est le corps du luminaire. Il contient la source lumineuse ainsi que les éventuels auxiliaires. Son rôle est triple :

- il dirige, au moyen de l'optique, la lumière fournie par la source lumineuse vers l'espace à éclairer
- il protège la lampe et les éventuels auxiliaires contre les influences externes (coups, eau, poussières, etc.)
- il joue un rôle esthétique particulièrement important dans les applications résidentielles de par sa forme, ses couleurs et ses matériaux.

Dans certains cas, il peut arriver qu'aucun corps de luminaire ne soit présent. C'est le cas typique de l'ampoule nue fixée sur un culot simple.

3 QUELLES SONT LES LAMPES ET LUMINAIRES DISPONIBLES ?

Dans les applications résidentielles, le choix d'un système d'éclairage est principalement basé sur des critères esthétiques subjectifs, alors que, dans le secteur tertiaire, les critères de choix principaux sont fonctionnels, économiques et environnementaux. Les luminaires et lampes utilisés diffèrent donc d'un cas à l'autre. Ce chapitre présente les différents types de lampes et de luminaires que l'on peut retrouver dans le secteur résidentiel, et précise les avantages et inconvénients de chacun d'eux.

3.1 CARACTÉRISTIQUES DES LAMPES

Avant d'entamer l'analyse détaillée des lampes utilisées dans le logement, il est bon d'expliquer les différents paramètres qui permettent de juger de la qualité d'une lampe. Il s'agit du rendement lumineux, de l'efficacité lumineuse, de la température de couleur, de l'indice de rendu des couleurs et de la durée de vie.

3.1.1 LE RENDEMENT LUMINEUX

Il est possible de déduire l'efficacité lumineuse d'une lampe (η), ou rendement lumineux, en divisant son flux lumineux Φ , exprimé en lumens, par sa puissance P , exprimée en watts. L'unité du rendement lumineux est le lm/W. Soit :

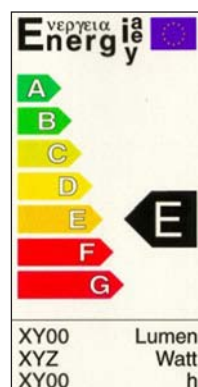
$$\eta = \Phi / P \quad [\text{lm/W}].$$

EXEMPLES

- Une ampoule incandescente standard de 60 W présentant un flux lumineux de 700 lm a une efficacité lumineuse de 11,7 lm/W.
- A flux lumineux équivalent, une lampe fluocompacte à globe possède une puissance de 15 W. Cette lampe fournit la même quantité de lumière (700 lm), alors que sa puissance est quatre fois moindre. Son efficacité lumineuse est donc quatre fois plus élevée (46,7 lm/W).



Depuis 1999, une directive européenne impose une labellisation énergétique des lampes à usage domestique. Cette labellisation se présente sous une forme comparable à celle des appareils électroménagers (lave-linge, frigo, etc.), à savoir une étiquette mentionnant l'efficacité de la lampe par un code couleur et une lettre, 'A' étant le plus efficace et 'G' le moins efficace.



Cette étiquette doit en principe également indiquer le flux lumineux et la puissance de la lampe. La durée de vie peut aussi être stipulée à titre informatif.

Cette labellisation est fonction de l'efficacité lumineuse et de la puissance de la lampe comme le montre la figure 5 (p. 9).

Ce graphique fait apparaître que le domaine de classification B est très large. En effet, pour une même puissance, l'efficacité de la lampe peut varier pratiquement du simple au triple, tout en restant dans la catégorie B. Il convient dès lors de se montrer critique lorsqu'on choisit une lampe de classe B.

EXEMPLE

- Une ampoule halogène d'une puissance de 30 W munie d'un revêtement infrarouge (IRC) possède un flux lumineux de 620 lm. Elle a une efficacité lumineuse de 21 lm/W et appartient donc à la classe B.
- Pour un flux lumineux du même ordre de grandeur (610 lm), une lampe fluocompacte à globe présente une puissance de 12 W. Elle possède ainsi une efficacité lumineuse de 51 lm/W et se retrouve, elle aussi, dans la classe B.

Cet exemple montre que, pour une même labellisation énergétique, on peut trouver des lampes beaucoup plus efficaces que d'autres. Il est donc plus précis de se baser sur l'efficacité lumineuse d'une lampe plutôt que sur sa classe.

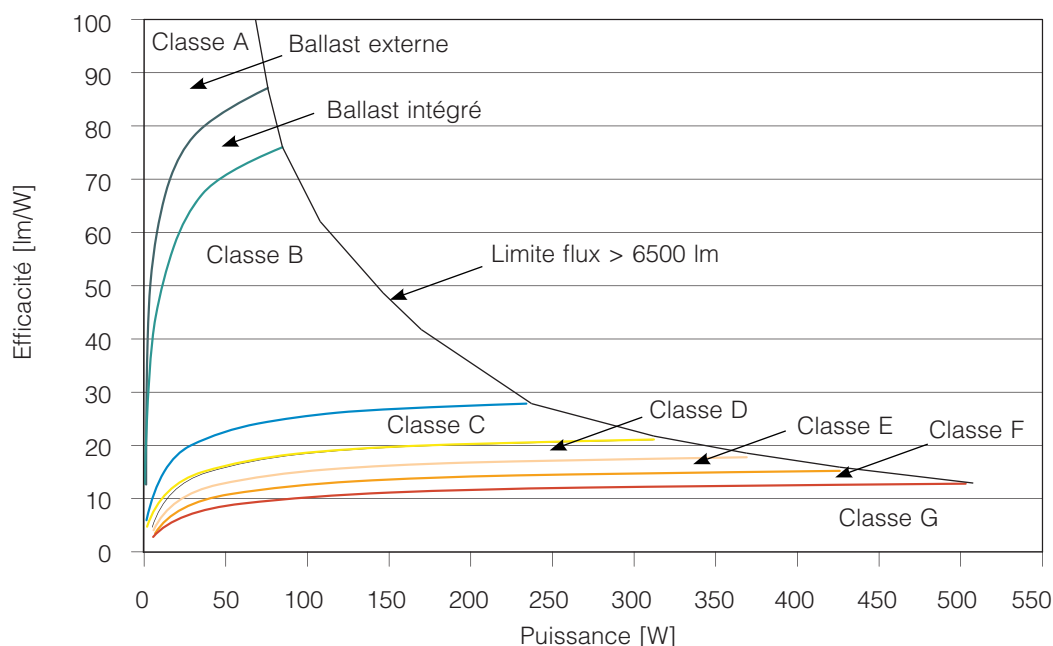


Fig. 5 Classe d'efficacité énergétique des lampes en fonction de leur puissance et de leur efficacité lumineuse.

Toutes les lampes ne sont toutefois pas concernées par la directive de labellisation. Sont exclues de la labellisation et ne doivent donc pas arborer le label de classe énergétique :

- les lampes d'une puissance inférieure à 4 W (la plupart des LED)
- les lampes d'un flux lumineux supérieur à 6500 lm
- les lampes directionnelles (spots)
- les autres lampes plus spécifiques (ampoules de lampes de poche, de fours, etc.).

3.1.2 L'INTENSITÉ LUMINEUSE

La notion d'intensité lumineuse prend tout son sens lorsqu'on parle de spots. En effet, comme l'intensité lumineuse est le flux émis par unité d'angle solide dans une direction donnée, elle est très représentative du caractère directionnel du spot. Toutefois, lorsqu'on parle d'intensité lumineuse, il faut impérativement prendre en compte l'angle d'ouverture de la lampe.

De manière générale, les fabricants ne mentionnent pas le flux lumineux des lampes de type spot; il peut donc être utile de connaître l'angle d'ouverture de la lampe et son intensité lumineuse car ces valeurs indiquent la manière dont la lumière sera émise.

A puissance égale, plus l'angle d'ouverture est grand, plus l'intensité dans l'axe principal diminue et meilleur est le rendement.



3.1.3 LA TEMPÉRATURE DE COULEUR

La température de couleur d'une source lumineuse caractérise principalement la couleur de la lumière émise et donc l'ambiance lumineuse créée. Elle s'exprime en kelvins (K) et correspond à la température à laquelle on devrait porter un corps noir pour qu'il émette une couleur identique à celle émise par la source.

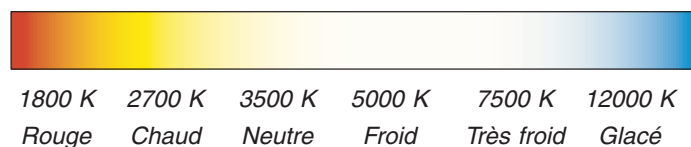


Fig. 6 Plage de températures de couleur.

On parle de couleurs froides (tirant vers le bleu) lorsque la température de couleur est élevée (supérieure à 5000 K) et de couleurs chaudes (tirant vers le rouge orange) lorsque cette température est inférieure à 3300 K.

EXEMPLES DE TEMPÉRATURES DE COULEUR

- Ampoule incandescente classique : ± 2700 K
- Lampe halogène : ± 3000 K
- Lampe fluorescente : de 2700 à 6000 K
- Lumière naturelle : de 2000 à plus de 10.000 K

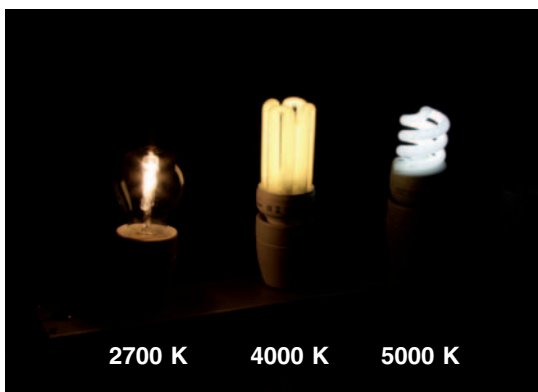


Fig. 7 Tubes de couleur différente : 'chaud' à gauche, 'neutre' au centre et 'froid' à droite.

3.1.4 L'INDICE DE RENDU DES COULEURS

L'indice de rendu des couleurs (Ra) reflète la manière dont une source restitue les différentes longueurs d'onde du spectre visible, c'est-à-dire la précision avec laquelle les couleurs d'un objet seront 'rendues' en comparaison avec ses couleurs sous lumière naturelle. L'indice de rendu des couleurs s'établit sur une échelle de 0 (médiocre) à 100 (parfait). Une source caractérisée par un bon indice de rendu des couleurs émet une lumière contenant toutes les couleurs (toutes les longueurs d'onde) du spectre visible, restituant ainsi la couleur réelle des objets. *A contrario*, une source monochromatique n'émettra une lumière ne contenant qu'une seule couleur (une seule longueur d'onde).

EXEMPLES DE RENDU DES COULEURS (Ra)

- Lumière du jour : 100
- Lampes incandescentes (classiques et halogènes) : ± 100
- Lampes fluorescentes (en général) : de 60 à 95
- Lampes au sodium haute pression (éclairage routier à tendance monochromatique, exemple même de source lumineuse à mauvais indice de rendu des couleurs) : < 25

3.1.5 LA DURÉE DE VIE

Il existe plusieurs définitions de la durée de vie d'une lampe. Généralement, on parle de la durée de vie moyenne d'un lot de lampes comme étant le

nombre d'heures de fonctionnement de ces lampes avant que 50 % d'entre elles ne soient hors service. La notion de 'hors service' peut différer d'une région du monde à l'autre. En Europe, une lampe est considérée comme étant hors service lorsqu'elle n'émet plus que 70 % de son flux lumineux initial (85 % pour les lampes incandescentes). Aux Etats-Unis, une lampe est considérée comme hors service lorsqu'elle ne fonctionne plus, ce qui change fondamentalement la perception de cette notion.

EXEMPLES DE DURÉE DE VIE TYPE

- Lampe incandescente classique : 1000 h
- Spot halogène à basse tension : 2000 à 4000 h
- Lampe fluocompacte : 6000 à 12.000 h
- Tube fluorescent : 16.000 à 20.000 h

3.2 DESCRIPTION DES DIFFÉRENTS TYPES DE LAMPES À USAGE DOMESTIQUE

Les lampes sont le premier élément déterminant d'une installation d'éclairage. Celle-ci atteindra une bonne efficacité ou non en fonction de la lampe et donc de la technologie utilisée. Le présent paragraphe décrit les différents types de lampes utilisées dans les applications domestiques et leurs caractéristiques générales.

Cette liste n'est pas exhaustive car il existe des lampes particulières destinées à des usages spécifiques (lampes pour aquariums, par exemple).

3.2.1 L'INCANDESCENCE

Le principe d'émission de lumière par incandescence consiste en l'échauffement d'un filament par le passage d'un courant. Deux types d'incandescence sont à distinguer : l'incandescence classique et l'incandescence halogène.

3.2.1.1 LES LAMPES INCANDESCENTES 'CLASSIQUES'

Ces lampes sont parmi les plus utilisées dans les applications résidentielles. Elles existent sous des formes et des tailles diverses (figures 8, 9 et 10).



Fig. 8 Lampe incandescente à globe.



Fig. 9 Lampe incandescente en forme de flamme.



Fig. 10 Lampe incandescente de type spot.

■ PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT

Un filament de tungstène est chauffé par le passage d'un courant et émet ainsi de la lumière. Ce filament est enfermé dans un globe en verre sous vide ou sous une atmosphère contenant un gaz spécial.

■ PUISSANCES ET FLUX LUMINEUX

Les lampes incandescentes classiques existent en différentes gammes de puissances allant de 25 à plus de 100 W. Leur flux lumineux peut varier de 200 à plus de 1900 lm.

■ EFFICACITÉ LUMINEUSE ET CLASSIFICATION ÉNERGÉTIQUE

L'efficacité des lampes incandescentes est très faible. Elle varie entre 5 et 19 lm/W. Leur classification énergétique se situe entre E et G.

■ TEMPÉRATURE DE COULEUR ET RENDU DES COULEURS

Les lampes incandescentes émettent une lumière de couleur d'un blanc chaud (2700 K). Elles ont, de plus, un excellent rendu des couleurs ($R_a = 100$).

■ DURÉE DE VIE

La durée de vie des lampes incandescentes est relativement courte (1000 h) et dépend fortement de la tension d'alimentation.

■ FILIÈRE DE RÉCUPÉRATION

Aucune filière spécifique de récupération et de

recyclage n'existe en Belgique pour les lampes incandescentes. Renfermant des éléments métalliques, elles ne sont pas acceptées dans les conteneurs pour verre usagé et doivent par conséquent être traitées comme des déchets ménagers classiques.

■ AVANTAGES ET INCONVÉNIENTS

Les lampes incandescentes présentent un très bon indice de rendu des couleurs et existent en un nombre de formes et de tailles très diverses. Elles ont également l'avantage de pouvoir être aisément employées avec un variateur.

Leur rendement énergétique est toutefois très faible : près de 95 % de l'énergie qu'elles consomment sont transformés en chaleur, alors que seulement 5 % sont émis sous forme de lumière. Il faut en outre souligner que ces lampes présentent une faible durée de vie.

3.2.1.2 LES LAMPES INCANDESCENTES HALOGÈNES

Depuis plusieurs années, l'utilisation de lampes halogènes est en nette augmentation dans le logement. Ces lampes se répartissent en trois catégories distinctes :

- les spots (230 V ou 12 V), très appréciés de par leur faible taille et leur facilité d'encastrement (figure 11, p. 12)
- les lampes 'capsules', de plus en plus utilisées car leur très petite taille permet de nombreuses applications (figure 12, p. 12)
- les minitubes à deux culots, disponibles en fortes puissances et principalement utilisés pour les luminaires extérieurs de type spots et pour les luminaires intérieurs indirects sur pied (figure 13, p. 12).



Fig. 11 Spot halogène.



Fig. 12 Lampe halogène de type capsule.



Fig. 13 Minitube halogène à deux culots.

■ PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT

Le principe de fonctionnement des lampes halogènes est pratiquement identique à celui des lampes incandescentes classiques. La différence majeure réside dans l'ajout d'un gaz halogène dans le bulbe de la lampe. Ce gaz a pour effet de redéposer le tungstène du filament (qui s'évapore sous l'effet de la chaleur) sur le filament lui-même, augmentant ainsi la durée de vie et empêchant le noircissement de l'ampoule et donc la perte de flux lumineux.

Des lampes halogènes à revêtement infrarouge (IRC – *infrared coating*) sont apparues depuis plusieurs années sur le marché. Ces lampes intègrent un recouvrement spécifique du bulbe qui redirige le rayonnement infrarouge (chaleur) sur le filament de manière à le chauffer en utilisant moins d'énergie. Le rendement de ces halogènes est donc nettement supérieur à celui d'un halogène classique (de 20 à 30 %).

■ PUISSANCES ET FLUX LUMINEUX

La puissance des lampes halogènes varie de 5 à 500 W (tube miniature), le flux lumineux étant, quant à lui, compris entre 50 et plus de 10.000 lm.

■ EFFICACITÉ LUMINEUSE ET CLASSIFICATION ÉNERGÉTIQUE

L'efficacité des lampes halogènes est supérieure à celle des lampes incandescentes classiques, bien que, comme elles, la majeure partie de l'énergie utilisée soit dissipée sous forme de chaleur. Elle varie de 10 à 12 lm/W pour une lampe standard à pratiquement 30 lm/W pour les lampes IRC.

Leur label énergétique varie entre G et B.

■ TEMPÉRATURE DE COULEUR ET RENDU DES COULEURS

La couleur des lampes halogènes est de l'ordre de 3000 K, soit un blanc neutre, et leur rendu des couleurs est excellent ($R_a = 100$).

■ DURÉE DE VIE

La durée de vie des lampes halogènes est variable d'un type à l'autre et est comprise entre 2000 et 5000 h. D'une manière générale, les lampes halogènes à très basse tension de 12 V présentent une durée de vie supérieure à leurs homologues fonctionnant en 230 V.

■ FILIÈRE DE RÉCUPÉRATION

Comme pour les lampes incandescentes classiques, aucune filière spécifique de récupération et de recyclage n'existe en Belgique pour les lampes halogènes. Celles-ci ne sont pas acceptées dans les conteneurs pour verre usagé et doivent par conséquent être traitées comme des déchets ménagers classiques.

■ AVANTAGES ET INCONVÉNIENTS

Comme les lampes incandescentes, les lampes halogènes possèdent de très bons indices de rendu des couleurs et peuvent être facilement employées avec un variateur.

Leur disponibilité sous forme de capsule les rend très intéressantes lorsqu'on souhaite utiliser des sources lumineuses de petite taille. Les spots halogènes sont également très appréciés pour leur aspect directionnel lorsque des objets ou des espaces particuliers doivent être mis en évidence.

Fig. 14 Lampe à décharge linéaire (tube TL).



Fig. 15 Lampe à décharge circulaire.



Toutefois, comme pour les lampes incandescentes, les lampes halogènes présentent une faible efficacité lumineuse et possèdent une durée de vie assez courte (sauf exceptions).

3.2.2 LA DÉCHARGE DANS UN GAZ

La décharge dans un gaz est une autre technique permettant l'émission de lumière. Les tubes fluorescents et les lampes fluocompactes sont des lampes d'éclairage intérieur qui utilisent le principe de la décharge pour produire leur lumière.

3.2.2.1 LES TUBES FLUORESCENTS

Le tube fluorescent est utilisé depuis le début du ^{xx}e siècle dans les applications industrielles et résidentielles. Si, par le passé, ils étaient utilisés à l'état brut (à nu) et n'émettaient qu'une lumière peu confortable d'un ton verdâtre, les tubes fluorescents ainsi que leurs auxiliaires ont fortement évolué; la majorité de leurs inconvénients ont été éliminés et la gamme de luminaires pour le marché résidentiel s'est étoffée.

■ PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT

Le principe de fonctionnement des tubes fluorescents repose sur l'amorçage d'une décharge électrique dans un tube contenant un gaz (vapeur de mercure sous basse pression) par l'application d'une tension entre les deux électrodes situées de part et d'autre du tube. Ceci entraîne une ionisation du mercure ainsi que des collisions entre les électrons émis de la cathode vers l'anode et les ions du gaz. L'énergie dégagée par cette collision est transformée en lumière visible par la poudre fluorescente qui recouvre l'intérieur du tube.

Pour faire fonctionner un tube à décharge, il est nécessaire d'utiliser des auxiliaires qui ont pour rôle d'initier la décharge, mais aussi de la limiter et

de la contrôler. Ces auxiliaires se composent, pour la plus ancienne technologie, d'un ballast ferromagnétique composé principalement d'un bobinage autour d'un noyau ferreux, et d'un starter qui va initier la décharge. La fonction de ce couple ballast-starter peut aussi être assurée par un ballast électronique (technologie plus récente), qui est plus avantageux car :

- il induit une meilleure efficacité lumineuse du tube
- son mode de fonctionnement à fréquence plus élevée élimine tout phénomène de scintillement tel qu'observé avec les ballasts ferromagnétiques
- sa forme spécifique compatible avec un variateur offre la possibilité de choisir précisément la quantité de lumière émise par le tube.

Trois grandes classes de tubes fluorescents existent :

- les tubes linéaires T8 (d'un diamètre de 8/8^e de pouce, soit 26 mm)
- les tubes linéaires T5 (d'un diamètre de 5/8^e de pouce, soit 16 mm), qui doivent être obligatoirement utilisés en combinaison avec un ballast électronique
- les tubes circulaires (généralement en 5/8^e de pouce).

Certaines installations anciennes sont équipées de tubes linéaires T12 (d'un diamètre de 12/8^e de pouce, soit 37,5 mm) d'une efficacité lumineuse plus faible et d'un moins bon rendu des couleurs que les tubes T8. Ces produits ne peuvent plus être mis en œuvre et devraient idéalement faire l'objet d'un remplacement systématique.

■ PUISSANCES ET FLUX LUMINEUX

La puissance de la majorité des tubes à décharge présents sur le marché domestique est comprise entre 14 et 58 W, leur longueur variant en fonction de leur puissance et leur flux lumineux étant compris entre 1300 et 5000 lm.

■ EFFICACITÉ LUMINEUSE ET CLASSIFICATION ÉNERGÉTIQUE

Les tubes fluorescents présentent une très bonne efficacité lumineuse variant de 60 à 105 lm/W; leur label énergétique est généralement de classe A.

■ TEMPÉRATURE DE COULEUR ET RENDU DES COULEURS

La température de couleur des tubes à décharge est fonction de la poudre utilisée. Pour les usages domestiques, elle peut varier du blanc chaud (2700 K) au blanc froid (6700 K).

Le spectre de la lumière émise par les lampes à décharge étant de type discontinu, la couleur de la lumière émise est déterminée par les rais d'énergie les plus importants. Du fait des propriétés de la décharge et de la poudre, il n'est actuellement pas possible de produire un spectre de couleurs totalement continu. L'indice de rendu des couleurs n'est donc pas parfait, mais reste néanmoins assez bon (généralement de 80 à 95).

A noter qu'il existe aussi des tubes présentant un rendu des couleurs plus faible (de 60 à 70, souvent appelé 'blanc industriel' ou '133') qu'il convient d'éviter pour l'éclairage résidentiel.

■ DURÉE DE VIE

La durée de vie d'un tube fluorescent dépend en partie du type de ballast et du type d'allumage. Les tubes équipés d'un ballast ferromagnétique ou électronique à allumage à froid présentent une durée de vie oscillant entre 8000 et 12.000 heures en fonction du nombre de cycles d'allumage et d'extinction.

La durée de vie des tubes utilisés en combinaison avec un ballast électronique à préchauffage est plus importante. Elle peut s'élever à près de 20.000 heures car les électrodes sont chauffées avant d'amorcer la décharge, ce qui limite fortement leur dégradation.

■ FILIÈRE DE RÉCUPÉRATION

En raison de leur teneur en mercure, les tubes à décharge doivent suivre une filière de recyclage spécifique et doivent être considérés comme appartenant à la catégorie des petits déchets dangereux.

Des points de collecte spécifiques des lampes usagées existent dans les parcs à conteneurs. Le système *Recupel-LightRec* étant d'application, les commerçants sont dans l'obligation de reprendre les tubes usagés lors de tout achat de nouveaux tubes.

■ AVANTAGES ET INCONVÉNIENTS

Les principales qualités des tubes fluorescents résident dans leur efficacité énergétique et leur flux lumineux élevé.

Leur grande taille est le principal frein à leur généralisation dans le logement, où les tubes à décharge circulaires, plus compacts, rencontrent généralement plus de succès.

3.2.2.2 LES LAMPES ÉCONOMIQUES OU LAMPES FLUOCOMPACTES (CFL)

Le second type de lampes à décharge destinées à un usage intérieur est celui des lampes fluocompactes, qui sont en réalité des tubes fluorescents miniaturisés et recourbés. Ces lampes sont principalement utilisées comme solution de substitution aux lampes incandescentes.

■ PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT

Deux grandes familles de lampes fluocompactes sont disponibles sur le marché :

- les lampes à ballast intégré, qui ont un culot identique à celui des lampes incandescentes, de manière à permettre un remplacement aisé de celles-ci
- les lampes fluocompactes à ballast externe, qui possèdent un culot bien spécifique et nécessitent un ballast externe pour fonctionner.

Fig. 16 Lampes fluocompactes à ballast intégré (de gauche à droite : tube nu, à globe, spot).



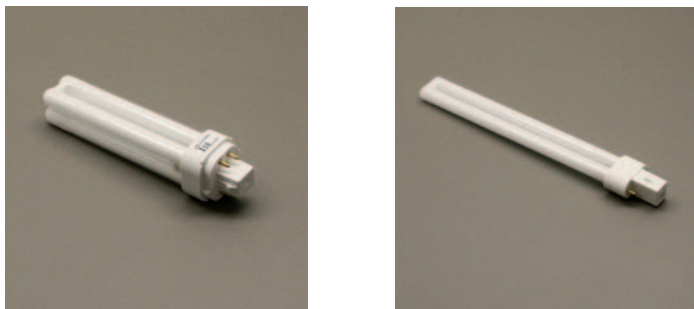


Fig. 17 Lampes fluocompactes à ballast externe (de gauche à droite : tube nu à simple broche, tube nu à double broche).

■ PUISSANCES DISPONIBLES ET FLUX LUMINEUX

La gamme des puissances disponibles est très large et s'étend de 3 à 23 W pour les lampes à ballast intégré et de 5 à plus de 80 W pour les lampes à ballast externe, les flux lumineux variant de 100 lm à plus de 6000 lm.

■ EFFICACITÉ LUMINEUSE ET CLASSIFICATION ÉNERGÉTIQUE

Les lampes fluocompactes présentent une bonne efficacité lumineuse allant de 35 à 80 lm/W; leur label énergétique est généralement de classe A.

■ TEMPÉRATURE DE COULEUR ET RENDU DES COULEURS

Comme pour les tubes fluorescents, la couleur des lampes fluocompactes peut varier du blanc chaud (2700 K) au blanc froid (6500 K). Leur indice de rendu des couleurs est élevé et est généralement compris entre 80 et 90.

■ DURÉE DE VIE

La durée de vie des lampes fluocompactes à ballast intégré est environ huit fois plus élevée que celle des lampes incandescentes (de 6000 à 10.000 heures contre 1000 heures pour ces dernières). Les lampes fluocompactes à ballast externe ont une durée de vie encore supérieure (de 8000 à 16.000 heures). Comme pour les tubes fluorescents de type TL, la durée de vie de certaines lampes est fortement influencée par le nombre de cycles d'allumage et d'extinction. Il existe cependant des lampes spécifiques qui ne sont pas ou peu sensibles à ce paramètre, ce qui permet, par exemple, de les commander au moyen d'un détecteur de présence ou d'un autre système et de les utiliser dans des situations induisant des allumages et extinctions fréquents.

■ FILIÈRE DE RÉCUPÉRATION

Les lampes fluocompactes doivent être traitées comme les tubes TL. Contenant quelques milligrammes de mercure, elles ne peuvent être considérées comme des déchets ménagers classiques, mais appartiennent à la catégorie des petits déchets dangereux. Des points de collecte spécifiques pour lampes fluorescentes usagées (tubes TL et lampes fluocompactes) se trouvent dans les parcs à conteneurs. Le système *Recupel-LightRec* étant d'application, les commerçants ont l'obligation de reprendre les lampes usagées lors de tout achat de nouvelles lampes fluocompactes.

■ AVANTAGES ET INCONVÉNIENTS

Les trois principaux avantages des lampes fluocompactes résident dans leur bonne efficacité lumineuse, leur compacité et l'importante variété de leurs formes qui permettent de les substituer aisément aux lampes à incandescence.

Leurs principaux inconvénients sont, pour certaines, le temps nécessaire à la mise en régime (avant qu'elles ne fournissent leur plein flux) et la variation de couleur (*colorshift*) à l'allumage.

Les lampes fluocompactes sont souvent décriées en raison de leur rayonnement électromagnétique trop important pour l'être humain. Différentes études ont cependant montré qu'il n'y avait aucune crainte à avoir face à une exposition continue aux lampes à décharge tant que la distance à la lampe restait supérieure à 30 centimètres.

3.2.3 L'ÉLECTROLUMINESCENCE

L'électroluminescence est un procédé de production de la lumière qui existe depuis de nombreuses années déjà. Tout le monde connaît les diodes lumineuses vertes ou rouges de contrôle des appareils électriques.

C'est le développement de la LED (*light emitting diode*, diode électroluminescente ou DEL) bleue – qui génère une lumière blanche –, qui a permis la généralisation des LED pour l'éclairage intérieur et extérieur.

■ PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT

La LED est un semi-conducteur associant deux matériaux dont l'un présente un excès d'électrons et l'autre un manque d'électrons. Lorsque cette jonction est soumise à une différence de tension, les

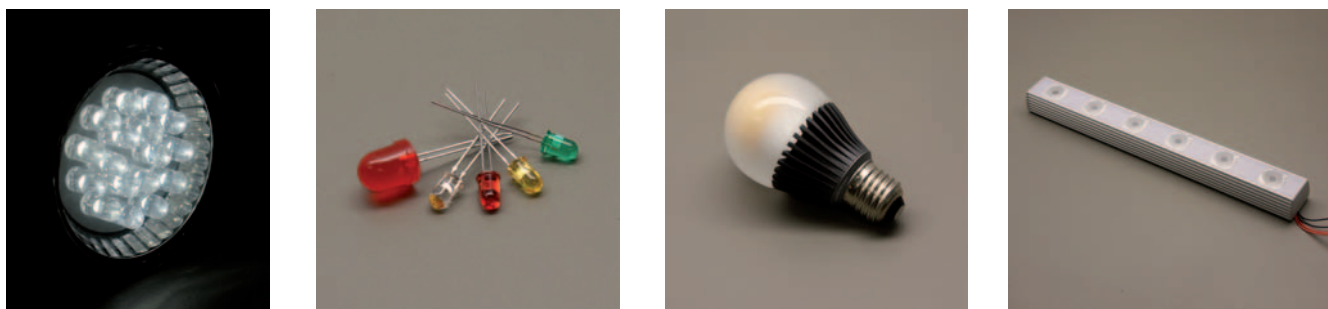


Fig. 18 Diodes électroluminescentes (DEL).

électrons en excès passent dans la zone en manque pour s'y recombinaison. Cette recombinaison génère un rayonnement dont la couleur dépend des éléments des matériaux de jonction (voir tableau 1).

La lumière blanche est émise par combinaison des couleurs rouge, verte et bleue ou par conversion grâce à une poudre phosphorescente selon un principe semblable à celui mis en œuvre dans les tubes fluorescents. Dans ce dernier cas, la lumière blanche est créée à partir d'une LED bleue dont on convertit une partie du rayonnement en jaune, l'autre partie n'étant pas modifiée. La combinaison du jaune et du bleu donne la lumière blanche.

Il est à noter que les LED fonctionnent en courant continu et nécessitent donc d'être connectées à un transformateur-redresseur qui peut leur être intégré ou non.

■ PUISSANCES DISPONIBLES ET FLUX LUMINEUX

Les LED sont en constante évolution depuis leur apparition sur le marché de l'éclairage. A ce jour, les puissances disponibles vont de 0,007 à 15 W, leur flux lumineux étant situé entre 1,5 et 400 lm.

Il faut noter que le flux lumineux des LED varie fortement avec la température : plus celle-ci est élevée, plus faible sera le flux lumineux (et, en conséquence, le rendement).

■ EFFICACITÉ LUMINEUSE ET CLASSIFICATION ÉNERGÉTIQUE

L'efficacité lumineuse des LED varie grandement

d'un produit à l'autre. Elle est toutefois en continue augmentation. A l'heure actuelle, il est possible de se procurer des LED émettant une lumière blanche et présentant une efficacité de 20 à 30 lm/W. De par leur faible puissance, les LED tombent généralement hors de la catégorie de classification des sources lumineuses mais, le cas échéant, seraient reprises dans les classes B à D.

■ TEMPÉRATURE DE COULEUR ET RENDU DES COULEURS

Les LED actuellement disponibles présentent des températures de couleur variant du chaud (2700 K) au froid (6500 K), leur rendement étant meilleur dans les couleurs froides et leur rendu des couleurs variant de 50 à 80.

■ DURÉE DE VIE

La durée de vie des LED est très variable en fonction de la température ambiante et de la tension appliquée. Elle peut ainsi varier de 5000 heures à plus de 100.000 heures. Notons qu'un de leurs avantages principaux est leur faible sensibilité aux chocs.

■ FILIÈRE DE RÉCUPÉRATION

En raison de leur teneur en métaux rares (indium, gallium, etc.), les LED doivent suivre une filière de recyclage spécifique et doivent être considérées comme appartenant à la catégorie des petits déchets dangereux.

Des points de collecte spécifiques des lampes usa-

Tableau 1 Couleur d'émission de la lumière par une LED en fonction de la composition de sa jonction.

Éléments de la jonction	Abréviation	Couleur du rayonnement émis
Aluminium-Gallium-Arsenic	AlGaAs	Rouge
Aluminium-Indium-Gallium-Phosphore	AlInGaP	Rouge, orange, jaune
Gallium-Arsenic-Phosphore	GaAsP	Rouge, orange, jaune
Indium-Gallium-Azote	InGaN	Vert, bleu

gées existent dans les parcs à conteneurs. Le système *Recupel-LightRec* étant d'application, les commerçants sont dans l'obligation de reprendre les LED usagées lors de tout achat de nouvelles lampes.

■ AVANTAGES ET INCONVÉNIENTS

Outre leur très longue durée de vie et leur résistance aux chocs, les LED, étant très petites, sont facilement combinables avec une optique et s'intègrent aisément dans diverses applications. Elles peuvent générer une gamme impressionnante de couleurs saturées et, de par leur contrôle électronique, offrent la possibilité de créer un éclairage dynamique aux couleurs changeantes.

L'application généralisée des LED est toutefois encore limitée de par leur faible flux lumineux absolu, qui rend leur utilisation fonctionnelle en éclairage intérieur difficile. Malgré un prix élevé, les LED trouvent tout leur intérêt dans des applications spécifiques telles que la signalisation, l'éclairage extérieur et l'éclairage architectural.

Leur développement s'avérant toutefois particulièrement rapide, de nouvelles sources lumineuses apparaissent constamment sur le marché.

Notons aussi qu'il n'existe actuellement aucune véritable norme de mesure ni données précises relatives aux LED. Cette situation induit quelques confusions :

- la durée de vie des LED n'est pas toujours clairement explicitée et il est nécessaire de se renseigner sur leur flux lumineux en fin de vie
- il n'est pas rare non plus de voir, dans les gammes de fabricants peu scrupuleux, des variations de près de 20 % du flux lumineux sur un même lot, aucune norme ne spécifiant les conditions de mesures photométriques des LED
- certains fabricants spécifient non pas le flux lumineux en régime, mais le flux lumineux initial de leur produit. Or, ce flux diminue de 5 à 10 % dans les premières secondes qui suivent l'allumage. La valeur mentionnée n'est donc pas correcte et ne peut être comparée avec celle des autres lampes.

3.2.4 CONCLUSION

De ce descriptif, il ressort que les lampes à décharge fluorescentes à ballast électronique séparé doivent être privilégiées pour réaliser un éclairage efficace (tubes linéaires, circulaires ou lampes fluocompactes). Les lampes à décharge fluocompactes à ballast interne seront retenues dans un second temps (lors d'un remplacement dans un luminaire

existant, par exemple). Les lampes incandescentes et halogènes sont, quant à elles, déconseillées en raison de leur faible efficacité lumineuse. Dans l'éventualité où le recours aux halogènes est réellement indispensable, on veillera à choisir des lampes à recouvrement infrarouge (IRC) présentant un rendement supérieur aux sources halogènes classiques et à incandescence.

Les LED sont, à l'heure actuelle, principalement utilisées pour le balisage, la décoration et l'éclairage extérieur. Leur application à l'intérieur commence à se développer. Elles devraient, dans un futur plus ou moins proche, s'intégrer dans le logement à titre d'éclairage principal.

3.3 CARACTÉRISTIQUES DES LUMINAIRES

Avant toute description de luminaires destinés à l'éclairage résidentiel, il est nécessaire de rappeler la définition de quelques-unes de leurs caractéristiques.

3.3.1 RENDEMENT DU LUMINAIRE

Même si la fonction principale du luminaire est de répartir au mieux la lumière dans le local, il constitue lui-même un frein à la diffusion lumineuse. En effet, tout luminaire absorbe une partie plus ou moins importante du rayonnement lumineux de la source qu'il contient. C'est la qualité des éléments de l'optique qui détermine la quantité de lumière absorbée et donc perdue. Pour cette raison, la caractéristique optique principale d'un luminaire est son rendement lumineux (LOR – *light output ratio*). Celui-ci est défini comme étant le rapport du flux lumineux émis par le luminaire au flux lumineux émis par ses lampes, soit :

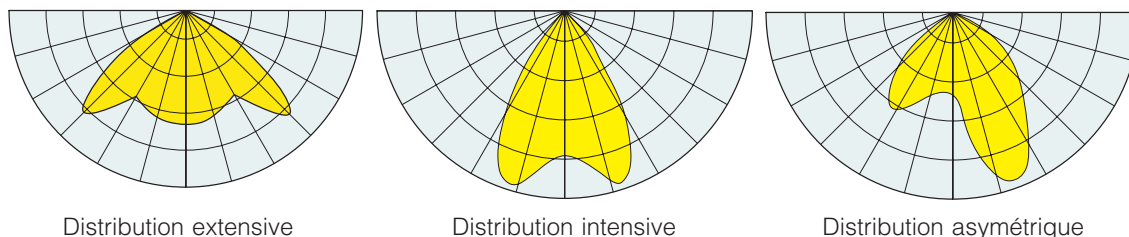
$$\text{LOR} = \frac{\Phi_{\text{luminaire}}}{\Phi_{\text{lampe}}} [-].$$

Une distinction supplémentaire tient à la direction de la lumière émise par le luminaire. En effet, certains luminaires émettent une partie (ou la totalité) de la lumière vers le haut. On considère donc séparément le rendement inférieur et le rendement supérieur d'un luminaire. Ceux-ci sont définis comme étant le rapport entre le flux lumineux inférieur, respectivement, supérieur émis par le luminaire et le flux lumineux total de la ou des sources lumineuses.

3.3.2 DISTRIBUTION LUMINEUSE DU LUMINAIRE

Un des rôles des luminaires étant de distribuer dans l'espace la lumière émise par la source, il est néces-

Fig. 19
Distribution
lumineuse
des lumi-
naires.



saire de décrire comment cette distribution s'opère. Pour les gammes professionnelles de luminaires, la distribution lumineuse est spécifiée, dans les catalogues techniques, au moyen d'un diagramme polaire reprenant les distributions perpendiculaire et parallèle à l'axe principal du luminaire.

Trois types de distribution sont identifiés :

- la distribution extensive, où le faisceau lumineux est large, donnant un éclairage relativement uniforme
- la distribution intensive avec un faisceau lumineux étroit, donnant un éclairage d'accentuation
- la distribution asymétrique, qui est utilisée pour éclairer des surfaces verticales comme des murs ou des tableaux.

La description de la distribution spatiale du flux lumineux d'un luminaire est, pour les gammes professionnelles, souvent disponible sous format électronique (fichiers photométriques) permettant ainsi la modélisation d'une installation d'éclairage à l'aide de logiciels spécifiques. Ces fichiers photométriques ne concernent cependant pratiquement que les luminaires utilisés dans le secteur tertiaire.

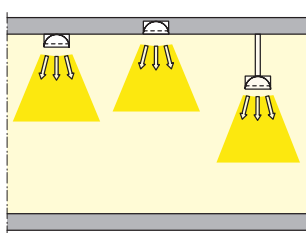
3.3.3 TYPES D'ÉCLAIRAGE

On distingue différents types d'éclairage en fonction des luminaires utilisés et de leur placement.

3.3.3.1 ECLAIRAGE DIRECT

Dans le principe de l'éclairage direct, la lumière est projetée directement sur l'élément à éclairer. De ce fait, les puissances installées nécessaires au confort visuel sont généralement faibles. Toutefois, en fonction de la position relative des luminaires, les risques d'éblouissement peuvent être impor-

Fig. 20 Eclairage
direct.



tants et la répartition de la lumière dans le local peut être assez irrégulière.

3.3.3.2 ECLAIRAGE INDIRECT

L'éclairage indirect consiste à utiliser une surface (le plus souvent le plafond) vers laquelle la lumière est envoyée et qui va réfléchir cette dernière dans le local. Ce principe a l'avantage d'offrir un éclairage assez uniforme qui limite les risques d'éblouissement et génère ainsi un confort visuel élevé.

La quantité d'éclairage obtenue dans le local est toutefois fortement dépendante du coefficient de réflexion des parois utilisées comme surfaces de réflexion.

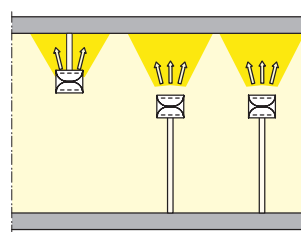


Fig. 21 Eclairage
indirect.

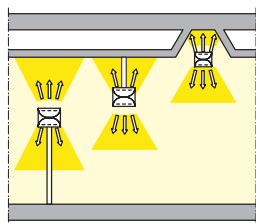
Les puissances nécessaires varieront ainsi fortement d'un cas à l'autre et pourront, à éclairage équivalent, atteindre des valeurs nettement supérieures à celles utilisées avec des installations de type direct. Il faut noter que ce mode d'éclairage peut ne générer aucune ombre ni contraste, ce qui a pour effet de rendre l'espace monotone et d'induire une perception tridimensionnelle des objets plus difficile. Enfin, il faut ajouter que les luminaires à éclairage indirect sont, de par leur géométrie, très sensibles au dépôt de poussières et autres salissures, ce qui entraîne une réduction rapide de leur efficacité au cours de leur vie.

3.3.3.3 ECLAIRAGE MIXTE OU DIRECT-INDIRECT

L'éclairage mixte réunit les deux types d'éclairage précédents. L'éclairage direct assure l'éclairage de base, génère le contraste et crée le relief dans le local. L'éclairage indirect améliore l'uniformité de l'éclairage. Si cette combinai-

son n'élimine pas les limites propres à chacun des types d'éclairage (risque d'éblouissement direct, forte dépendance vis-à-vis du coefficient de réflexion des parois, etc.), elle les atténue néanmoins fortement.

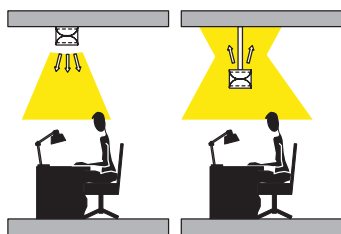
Fig. 22 Eclairage mixte.



3.3.3.4 ECLAIRAGE À DEUX COMPOSANTES

Dans le cas de l'éclairage à deux composantes, on utilise deux groupes de luminaires différents, l'un pour réaliser l'éclairage général du local et le second pour fournir un éclairage d'appoint là où la tâche nécessitant une acuité visuelle doit être exécutée. L'avantage de ce type d'éclairage est qu'il permet, outre une utilisation différenciée des luminaires, une réduction de la puissance installée. Sa limitation tient au fait qu'il peut générer des contrastes et des ombres importantes si l'éclairage d'appoint n'est pas suffisant ni uniforme.

Fig. 23 Eclairage à deux composantes.



3.3.4 CARACTÉRISTIQUES MÉCANIQUES D'UN LUMINAIRE

Si le rôle principal du luminaire, et plus précisément de l'optique, est de diriger la lumière, l'enveloppe peut aussi jouer un rôle de protection de la lampe et du système électrique. C'est ainsi qu'un système de classification des luminaires a été développé en fonction de leur indice de protection (IP) contre la pénétration des corps solides (tableau 2) et de l'humidité (tableau 3, p. 20).

En ce qui concerne les applications résidentielles, les références aux indices de protection concernent principalement l'éclairage des salles de bains. En Belgique, le Règlement général des installations électriques (RGIE) distingue, dans une salle de bains, différentes zones où, en fonction de son indice de protection, un luminaire peut ou ne peut pas être installé.

Une salle de bains est divisée en quatre zones principales (figure 24, p. 20) en fonction de la proximité de l'élément sanitaire (douche ou baignoire) :

- dans le volume 0, les appareils d'éclairage alimentés par une tension inférieure ou égale à 12 V doivent posséder un indice de protection IPX7 au minimum. Aucun indice de protection n'est requis (IPXX) pour les appareils alimentés par une tension inférieure à 6 V
- dans le volume 1, les appareils d'éclairage alimentés par une tension supérieure ou égale à 12 V doivent posséder un indice de protection supérieur à IPX4. Comme pour le volume 0, aucun indice de protection n'est requis (IPXX) pour les appareils alimentés par une tension inférieure à 6 V
- dans le volume 2, les appareils d'éclairage alimentés en basse tension doivent avoir un indice

Tableau 2 Indice de protection des luminaires contre les corps solides.

Degré de protection	Protection des personnes	Protection du luminaire
IP1X	Protégées contre l'accès aux parties dangereuses avec le dos de la main	Protégé contre les corps solides étrangers d'un diamètre supérieur ou égal à 50 mm
IP2X	Protégées contre l'accès aux parties dangereuses avec un doigt	Protégé contre les corps solides étrangers d'un diamètre supérieur ou égal à 12,5 mm
IP3X	Protégées contre l'accès aux parties dangereuses avec un outil	Protégé contre les corps solides étrangers d'un diamètre supérieur ou égal à 2,5 mm
IP4X	Protégées contre l'accès aux parties dangereuses avec un fil	Protégé contre les corps solides étrangers d'un diamètre supérieur ou égal à 1,0 mm
IP5X		Protégé contre la poussière
IP6X		Étanche à la poussière

Tableau 3 Indice de protection des luminaires contre les liquides.

Degré de protection	Protection du luminaire contre les liquides
IPX1	Protégé contre les chutes verticales de gouttes d'eau
IPX2	Protégé contre les chutes d'eau pour une inclinaison maximale de 15°
IPX3	Protégé contre les aspersions d'eau 'en pluie'
IPX4	Protégé contre les projections d'eau
IPX5	Protégé contre les jets d'eau
IPX6	Protégé contre les paquets de mer
IPX7	Protégé contre les effets d'immersion

de protection de minimum IPX4. Les appareils d'éclairage qui ne sont pas alimentés en très basse tension (appareils en 230 V) doivent être placés à une hauteur minimale de 1,6 m

- dans le volume 3, les appareils d'éclairage doivent avoir un indice IPX1 s'ils sont alimentés à la tension du réseau (230 V). S'ils sont alimentés en très basse tension, aucun indice de protection n'est requis.

A ceci s'ajoutent les exigences relatives au câblage et à la protection des circuits électriques que nous n'aborderons pas ici.

3.4 LES DIFFÉRENTS TYPES DE LUMINAIRES

Différents types de luminaires peuvent être mis en œuvre dans le logement : plafonniers, lustres ou luminaires suspendus, appliques murales, spots et *downlights*, réglottes linéaires, luminaires sur pied, luminaires d'appoint et lampes décoratives. Etudions en détail chacun de ces types de luminaires.

3.4.1 LE PLAFONNIER

Le plafonnier est un des luminaires le plus couramment utilisés pour l'éclairage des habitations. Sa ou ses lampes sont en général masquées par un verre diffusant qui répartit assez largement la lumière dans le local. Il est principalement utilisé pour l'éclairage général et dans tous types de locaux (figure 25).

3.4.2 LE LUSTRE OU LE LUMINAIRE SUSPENDU

Les lustres et luminaires suspendus sont largement utilisés dans le logement. Ils jouent souvent un rôle prépondérant dans la décoration du local qu'ils éclairent et sont souvent placés au-dessus d'une table. Si, habituellement, les luminaires suspendus assurent un éclairage général, ils peuvent, dans certains cas, fournir un éclairage très localisé et focalisé (figure 26).

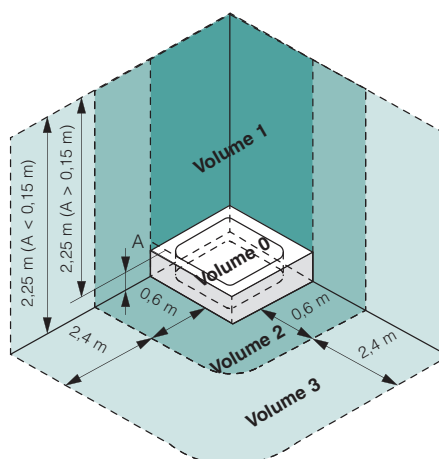
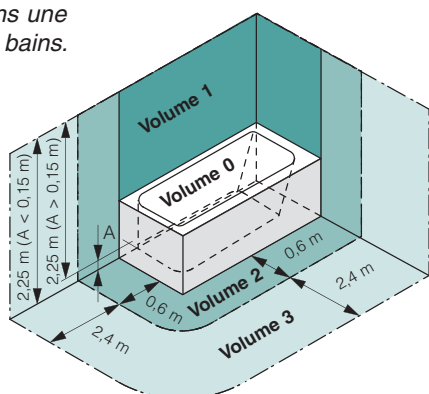
3.4.3 L'APPLIQUE MURALE

L'applique murale fait, elle aussi, partie intégrante du décor du local et participe en général à la création d'une ambiance feutrée. Elle constitue rarement l'éclairage principal. L'applique murale est souvent utilisée pour l'éclairage d'éléments tels que des miroirs (figure 27).

3.4.4 LE SPOT ET LE DOWNLIGHT

Les spots et les *downlights* (littéralement luminaires éclairant vers le bas ou spots de plafond) sont généralement encastrés dans le plafond et peuvent, de par la distribution de leur flux lumineux, assurer un éclairage général du local. Les spots peuvent également être montés sur rail, ce qui assure une flexibilité de l'éclairage (possibilité d'ajouter ou

Fig. 24 Délimitation des différents volumes dans une salle de bains.



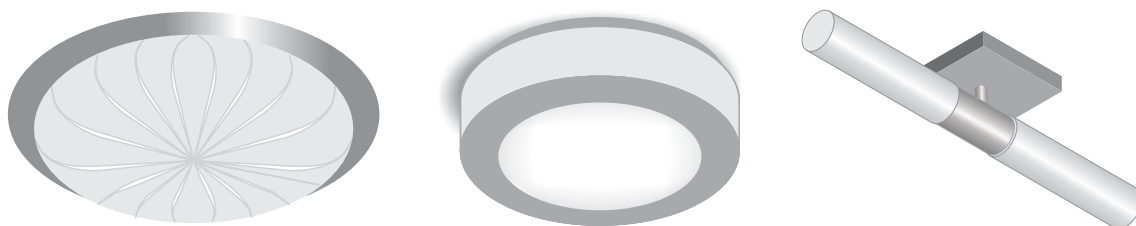


Fig. 25
Exemples
de plafon-
niers.

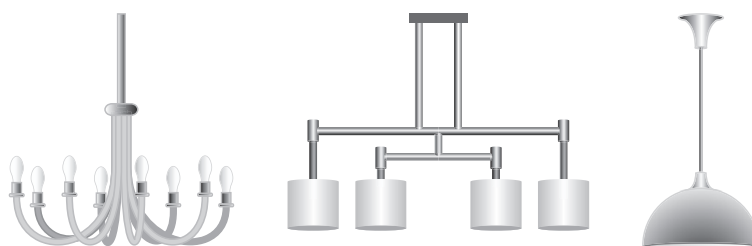


Fig. 26 Lumi-
naires suspendus.

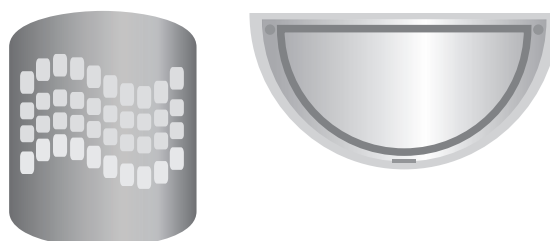


Fig. 27 Appliques
murales.



Fig. 28 Exemples de
spots et de downlights.

de retirer des spots, de les déplacer, de les orienter, etc.). Ce type de luminaire est souvent utilisé comme éclairage d'accentuation (éclairage d'un cadre, d'un élément de décoration, etc.) en combinaison avec d'autres luminaires. Ils sont parfois utilisés seuls, bien qu'ils induisent alors de grands contrastes dans le local qu'ils éclairent (figure 28).

ciatement indirect (par réflexion sur le plafond) (figure 29).

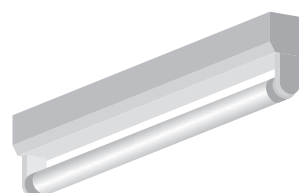


Fig. 29 Exemple de
réglette linéaire.

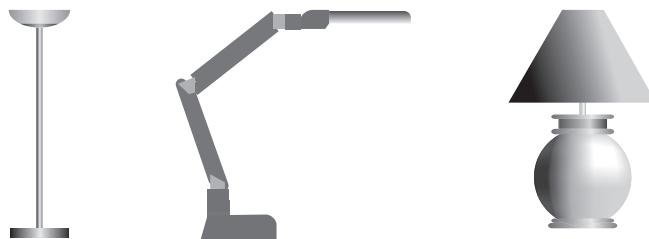
3.4.5 LA RÉGLETTE LINÉAIRE

La réglette linéaire est un luminaire très répandu sur le marché. Son esthétique relativement brute la réduit cependant à des usages bien spécifiques. Pour limiter le risque d'éblouissement, elle est généralement dissimulée par des éléments architecturaux (bandeau en bois, cache-rideau, etc.) ou par du mobilier (placement au-dessus d'armoires, etc.) et fournit bien souvent un éclairage général prin-

3.4.6 LES LUMINAIRES SUR PIED ET LES LUMINAIRES D'APPOINT

Les luminaires sur pied ainsi que les luminaires d'appoint permettent d'assurer un bon éclairage là où l'éclairage général de la pièce n'est pas suffisant. Se retrouvent notamment dans cette catégo-

Fig. 30 Halogène sur pied, lampe de bureau et lampe de chevet.



rie les lampes de bureau et les lampes de chevet (figure 30).

Les luminaires sur pied actuels sont généralement des torchères halogènes indirectes, très appréciées parce qu'elles fournissent un éclairage indirect et qu'elles sont compatibles avec un gradateur. Cependant, ces luminaires sont le plus souvent équipés de lampes halogènes de forte puissance (300 ou 500 W), ce qui induit une grande consommation et, par conséquent, des coûts d'utilisation élevés.

3.4.7 LES LAMPES DÉCORATIVES

Les lampes ou luminaires décoratifs ne sont pas à proprement parler utilisés pour assurer l'éclairage de la pièce. Par leur jeu de couleurs, leur forme et leurs matériaux, ils constituent plutôt des objets de décoration. Par contre, ils consomment beaucoup d'énergie et il est donc indispensable de les équiper de lampes économiques.

3.5 QUELLE LAMPE UTILISER DANS QUEL LUMINAIRE ?

Les lampes et les luminaires étant disponibles sous des formes très variées, il n'est pas aisé de choisir la combinaison luminaire/lampe qui permet d'obtenir l'éclairage le plus efficace. De plus, un luminaire est en général associé à un type de lampe défini. Dans cette section, des suggestions de lampes sont proposées pour chaque type de luminaire afin d'assurer la meilleure efficacité énergétique possible, sans nuire au confort visuel. La difficulté consistera à trouver sur le marché le luminaire dont l'esthétique convient aux utilisateurs et qui offre la meilleure combinaison lampe/luminaire.

3.5.1 LE PLAFONNIER

Dans le logement, les plafonniers sont souvent munis d'un verre opalin qui masque la lampe. Cette protection empêche toute vision directe de la source nue et permet l'utilisation systématique de lampes fluocompactes à tube nu présentant une très bonne efficacité lumineuse, mais souvent peu

esthétique. Notons qu'il existe des plafonniers pour lampes fluorescentes tubulaires qui présentent un très bon rendement.

Les plafonniers les plus efficaces énergétiquement sont équipés de lampes fluorescentes à ballast séparé. En effet, l'utilisation de lampes et de ballasts séparés impose *de facto* le recours à des lampes d'une bonne efficacité lumineuse. De plus, la séparation des éléments permet le remplacement de la lampe indépendamment du ballast, ce qui est intéressant vu que la durée de vie de la source lumineuse est généralement inférieure à celle du ballast.

Dans le cas de luminaires existant destinés à recevoir des lampes à visser (culot E27 ou E14), il faut veiller à utiliser des lampes fluocompactes à ballast intégré (CFL) de manière à réduire la consommation d'électricité. Si la lampe n'est pas directement visible, on choisira une lampe sans globe de décoration (lampe fluocompacte à tube nu) d'une efficacité lumineuse supérieure à celle des lampes munies d'un globe.

3.5.2 LE LUSTRE OU LUMINAIRE SUSPENDU

Equiper un lustre ou un luminaire suspendu de lampes efficaces est une opération délicate car, à la fonction d'éclairage, est souvent associée une fonction esthétique directement influencée par la vue des lampes.

Si le luminaire est muni de culots à vis (E27 ou E14), il sera possible d'utiliser des sources énergétiquement efficaces, car il existe sur le marché des lampes fluorescentes compactes ou des LED qui conservent l'effet esthétique et décoratif (forme de flamme ou de globe, figure 31).

En ce qui concerne les luminaires suspendus qui fonctionnent avec de petites 'capsules' halogènes de 230 V (culot G9) ou de 12 V (G4 ou GY6.35), ils doivent être munis de lampes IRC – possédant une couche réfléchissant le rayonnement infrarouge – qui, de par leur meilleure efficacité, réduisent la puissance et donc la consommation de 10 à 30 % (figure 32).



Fig. 31
Exemples de lampes efficaces compatibles avec un luminaire suspendu.

Fig. 32
Luminaires suspendus utilisant des capsules halogènes.



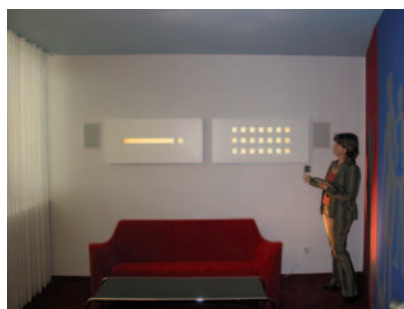
Fig. 33 Luminaires de décoration et de balisage utilisant des LED.

3.5.3 L'APPLIQUE MURALE

En ce qui concerne les appliques murales, il est conseillé d'opter pour des luminaires qui acceptent des lampes fluocompactes à ballast séparé. Si ce n'est pas le cas, l'utilisation de lampes compactes fluorescentes à ballast intégré (CFL) est un bon moyen pour augmenter l'efficacité de ces luminaires. A nouveau, la lampe n'étant bien souvent pas visible, il est préférable d'utiliser des lampes fluocompactes à tube nu plutôt que des lampes fluocompactes à globe.

Les appliques murales qui fonctionnent avec des lampes halogènes sont généralement munies d'un culot particulier. A l'heure actuelle, il est rare de trouver des lampes fluocompactes qui s'adaptent à ces culots. Néanmoins, on peut améliorer légèrement l'efficacité lumineuse de ces luminaires (de 10 à 30 %) en les équipant de lampes halogènes munies d'une couche infrarouge.

Pour certaines applications bien particulières comme la signalisation des zones de circulation et des cages d'escalier ainsi que la décoration, il est possible d'utiliser des luminaires munis de LED. Cependant, à l'heure actuelle, il faut bien être conscient du fait que ce type de lampe ne peut fournir suffisamment de lumière pour répondre aux besoins d'un éclairage intérieur général (figure 33).



3.5.4 LE SPOT ET LE DOWNLIGHT

Les spots et les *downlights* qui servent à créer un éclairage d'accentuation doivent posséder un faisceau lumineux bien dirigé.

Le *downlight* est un luminaire dont l'optique tout entière concentre et dirige la lumière de la source. Il peut accueillir différents types de lampes, les plus couramment utilisées étant les lampes fluocompactes à ballast externe qui présentent déjà une bonne efficacité.

La situation des spots est un peu plus complexe, car la source lumineuse de ce type de luminaire est généralement une lampe incandescente ou halogène. Une manière d'améliorer leur efficacité énergétique est de les équiper de lampes fluocompactes efficaces de même forme.

Malheureusement, ces dernières ont souvent un culot un peu plus large que les lampes incandescentes et peuvent par conséquent être inadaptées à certains luminaires de type 'spot'. Il faut alors se rabattre sur une solution de substitution comme le spot halogène à revêtement infrarouge, d'un rendement et d'une durée de vie plus élevés. Le spot LED offre, quant à lui, une très bonne solution.

3.5.5 LA RÉGLETTE LINÉAIRE

Le cas des réglettes linéaires est assez simple puisqu'elles sont, par essence, équipées d'un tube fluorescent efficace. Si le choix se présente, il faudra essayer d'opter pour un luminaire équipé d'un ballast électronique, car son rendement est de 10 % supérieur aux mêmes luminaires munis de ballasts ferromagnétiques.

Notons aussi qu'il existe des luminaires utilisant des lampes incandescentes en forme de tube. Ces luminaires inefficaces sont à proscrire. Il convient donc de ne pas les confondre avec des luminaires pour tube TL.

Fig. 34 Lampe incandescente linéaire : à éviter.



3.5.6 LE LUMINAIRE SUR PIED, LE LUMINAIRE D'APPOINT ET LE LUMINAIRE DÉCORATIF

Indépendamment de l'installation générale d'éclairage de l'habitation, il importe de s'intéresser aux luminaires d'appoint, car il n'est pas rare que les lampes utilisées dans ces luminaires décoratifs

aient une puissance largement supérieure à celle adoptée pour l'éclairage général.

Les *luminaires indirects sur pied* conjuguent deux inconvénients majeurs : ils sont généralement équipés de lampes halogènes de forte puissance (300 ou 500 W) et éclairent le local de manière indirecte, ce qui est loin d'être la solution la plus efficace. Il faut donc éviter ce type de luminaires à tout prix.

Notons aussi que des luminaires portables directs font peu à peu leur apparition sur le marché. Il y a lieu de ne les utiliser que s'ils constituent la seule solution possible.

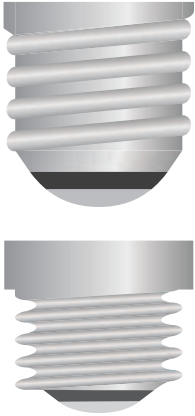
En ce qui concerne les *luminaires d'appoint* (lampes de bureau ou de chevet), il est possible de se les procurer dans le commerce, équipés de lampes fluocompactes à ballast externe. À défaut, on remplacera la lampe incandescente par une lampe de type fluocompacte, dans le cas d'un culot à vis, et par un halogène à revêtement infrarouge dans le cas d'un culot à broche.

Les luminaires décoratifs n'étant habituellement pas conçus selon des critères d'efficacité, mais plutôt selon des critères esthétiques, ils sont en général tous équipés d'un culot acceptant les lampes à visser (E27 ou E14). La meilleure solution pour limiter leur consommation sera dès lors de les munir de lampes fluocompactes.

3.6 QUELLE LAMPE EFFICACE POUR REMPLACER MA LAMPE ?

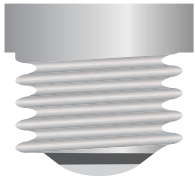
Le tableau 4 présente un aperçu des différents types de lampes actuellement envisageables pour remplacer efficacement des lampes existantes.

Tableau 4 Lampes de remplacement efficaces.

Lampe à remplacer	Type de culot	Lampe de remplacement	Efficacité
Lampe incandescente classique (transparente ou opaline) 	Culot à visser E27 ou E14 	Lampe halogène 	C, D (gains de 30 %) 100 W à 70 W 75 W à 53 W 60 W à 42 W 40 W à 28 W 1000 h à 2000 h
		Lampe halogène à revêtement infrarouge 	B (gains de 50 %) 60 W à 30 W 40 W à 20 W 1000 h à 3000 h
		Lampe fluocompacte à globe 	A, B (gains de 75 %) 100 W à 23 W 75 W à 18 W 60 W à 15 W 40 W à 10 W 1000 h à 8000 h
		Lampe fluocompacte à tube nu 	A (gains de + 75 %) 100 W à 21 W 75 W à 18 W 60 W à 13 W 40 W à 9 W 1000 h à 8000 h
		Lampe à LED 	A (gains de + 75 %) 40 W à 8 W 20.000 h à 25.000 h

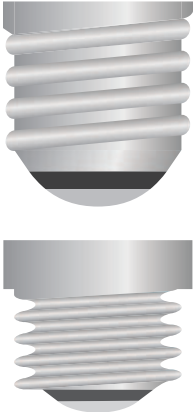
Suite du tableau en p. 26

Tableau 4 Lampes de remplacement efficaces (suite).

Lampe à remplacer	Type de culot	Lampe de remplacement	Efficacité
Lampe incandescente de type 'flamme' (transparente ou opaline) 	Culot à visser E14 	Lampe 'flamme' halogène	C, D (gains de 30 %)
			40 W à 28 W
			1000 h à 2000 h
		Lampe halogène à revêtement infrarouge	B (gains de 50 %)
			40 W à 20 W
			1000 h à 3000 h
		Lampe 'flamme' fluocompacte à globe	A, B (gains de 75 %)
			40 W à 9 W 25 W à 5 W 25 W à 5 W
			1000 h à 8000 h
		Lampe fluocompacte à tube nu	A (gains de + 75 %)
			40 W à 8 W 25 W à 5 W
			1000 h à 8000 h

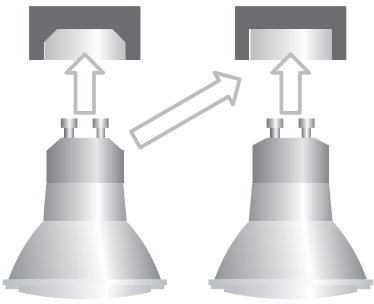
Suite du tableau en p. 27

Tableau 4 Lampes de remplacement efficaces (suite).

Lampe à remplacer	Type de culot	Lampe de remplacement	Efficacité
Spot incandescent 50 ou 63 mm 	Culot à visser E27 ou E14 	Spot halogène	G (gains de 30 %) 60 W à 42 W 40 W à 28 W 1000 h à 2000 h
		Spot halogène à revêtement infrarouge	E (gains de 66 %) 60 W à 20 W 1000 h à 5000 h
		Lampe fluocompacte à réflecteur	A (gains de + 75 %) 60 W à 11 W 40 W à 9 W 25 W à 7 W 1000 h à 8000 h
		Lampe LED à réflecteur	A (gains de + 75 %) 75 W à 15 W 50 W à 8 W 15.000 h à 25.000 h

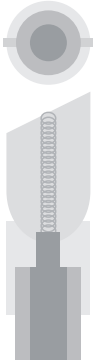
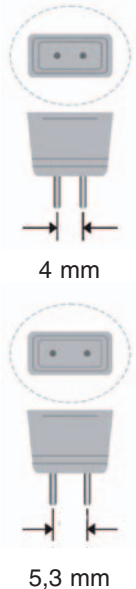
Suite du tableau en p. 28

Tableau 4 Lampes de remplacement efficaces (suite).

Lampe à remplacer	Type de culot	Lampe de remplacement	Efficacité
Spot halogène 230 V 	Culot GU10 	Spot halogène à revêtement infrarouge 	E (gains de 30 %) 50 W à 35 W 2000 h à 3000 h
		Lampe fluocompacte à réflecteur 	B (gains de 75 %) 50 W à 11 W 35 W à 7-9 W 2000 h à 8000 h
		Lampe LED à réflecteur 	A (gains de + 75 %) 35 W à 7 W 15.000 h à 25.000 h
		Lampe capsule à revêtement infrarouge 	E (gains de 30 %) 60 W à 42 W 40 W à 28 W 2000 h à 3000 h
		Lampe fluocompacte G9 	A (gains de + 70 %) 40 W à 9 W 25 W à 7 W De grande taille, non compatible avec un variateur 2000 h à 8000 h
Lampe capsule 230 V 	Culot G9 		

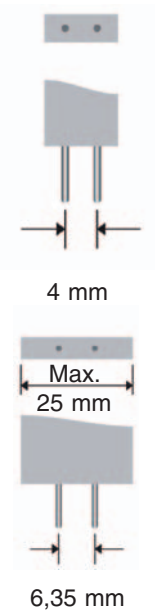
Suite du tableau en p. 29

Tableau 4 Lampes de remplacement efficaces (suite).

Lampe à remplacer	Type de culot	Lampe de remplacement	Efficacité
Lampe halogène tubulaire 230 V 	Culot R7S 	Lampe tubulaire à revêtement infrarouge 	E (gains de 30 %) 500 W à 350 W 300 W à 200 W Faible diminution du flux lumineux 2000 h à 3000 h
		Lampe fluocompacte R7s 	A (gains de + 70 %) 150 W à 25 W 25 W à 7 W Diminution du flux lumineux, non compatible avec un variateur, grande taille 2000 h à 8000 h
Spot halogène 12 V 	Culot GU4 ou GU5.3 	Spot halogène 12 V à revêtement infrarouge 	C (gains de 30 %) 50 W à 35 W 35 W à 20-30 W 4000 h à 5000 h

Suite du tableau en p. 30

Tableau 4 Lampes de remplacement efficaces (suite).

Lampe à remplacer	Type de culot	Lampe de remplacement	Efficacité
Lampe capsule 12 V 	Culot G4 ou GY6.35 	Lampe capsule halogène 12 V à revêtement infrarouge 	B (gains de 30 %)
			75 W à 45-60 W 50 W à 30-45 W 35 W à 20-30 W
			3000 h à 4000 h

4 LA GESTION DE L'ÉCLAIRAGE

En matière de gestion de l'éclairage, il importe de distinguer le principe d'action, la stratégie de contrôle et l'outil de contrôle.

4.1 TYPES D'ACTION

L'action induite par la gestion de l'éclairage sur le flux lumineux est de deux types : la commutation, qui consiste à allumer et éteindre la lampe en fonction des besoins, et la gradation, qui consiste à moduler le flux lumineux.

4.1.1 LA COMMUTATION

La commutation ou allumage/extinction est le moyen le plus facile de commander une source lumineuse. Il s'agit simplement d'allumer ou d'éteindre la lampe en fonction des besoins (par exemple, en agissant sur le circuit électrique).

4.1.2 LA GRADATION

La gradation (en anglais *dimming*) consiste à moduler le flux lumineux de la lampe pour l'adapter aux besoins. Cette action est facilement réalisable, d'un point de vue technique, au niveau des lampes incandescentes, car il suffit de diminuer leur tension d'alimentation pour baisser le flux lumineux.

La gradation des lampes fluorescentes est plus délicate dans la mesure où elle requiert l'utilisation d'un ballast spécifique (ballast électronique avec variateur ou gradateur) pour permettre le contrôle du flux lumineux.

Si les lampes à décharge à ballast externe sont facilement combinables avec ce type de ballast, il n'en va pas de même pour les lampes fluocompactes à ballast intégré. Ces lampes ne sont en général pas compatibles avec les gradateurs des lampes incan-

descentes, si bien qu'il n'est pas possible de remplacer les lampes incandescentes sur gradateurs par des lampes fluocompactes standard. Il faut par conséquent se procurer des lampes fluorescentes compactes spécifiques.

Il existe également un autre type de lampe fluocompacte à gradation qui n'a pas besoin de variateur pour fonctionner et qui peut être directement connecté au réseau électrique existant. Ces lampes fonctionnent par palier et, en fonction du nombre d'impulsions reçues par le ballast électronique, émettent une certaine partie de leur flux lumineux nominal (p. ex. 3 %, 30 %, 60 % ou 100 %).

4.2 STRATÉGIES DE CONTRÔLE

4.2.1 LA GESTION TEMPORELLE

La gestion temporelle est une stratégie de contrôle utilisant une horloge pour effectuer une action sur un luminaire. Cette action, effectuée soit à heure programmée, soit après un certain temps d'allumage, est en général l'extinction, mais elle peut également être l'allumage ou la gradation de la lampe.

4.2.2 LA DÉTECTION DE PRÉSENCE

La détection de présence nécessite l'utilisation d'un capteur qui détecte la présence (ou l'absence) d'une personne dans un espace déterminé. Deux technologies se retrouvent majoritairement sur le marché européen : les détecteurs à infrarouge passif (PIR – *passive infrared*) et les détecteurs à haute fréquence (HF). Les détecteurs PIR décèlent le mouvement d'un corps chaud, alors que la technologie HF utilise l'effet Doppler (réflexion des ondes sur un corps en mouvement) à la manière d'un radar.

Le principe d'action sur les lampes peut être de trois types : l'allumage, l'extinction ou, dans certains cas moins courants, la gradation. De plus, certains systèmes fonctionnent de manière totalement automatique (allumage lors de la détection de présence et extinction lors de l'absence) et d'autres, moins répandus mais à privilégier, ne gèrent que l'extinction de l'éclairage. Ils requièrent donc un allumage manuel. Ces détecteurs sont souvent appelés 'détecteurs d'absence'.

Les détecteurs de présence sont généralement munis d'un système de réglage du délai avant extinction, afin d'éviter toute extinction intempestive. La préférence sera donnée aux délais courts dans les zones de circulation où les mouvements sont amples et les risques de non-détection de présence limités, alors qu'ils seront plus longs dans les locaux où l'occupant est susceptible de rester immobile.

4.2.3 LA DÉTECTION DE LUMIÈRE DU JOUR

La détection de la lumière du jour met en œuvre un capteur photosensible permettant de gérer le flux lumineux de l'éclairage artificiel en fonction de l'éclairage naturel. Comme pour les autres stratégies, les actions peuvent être de différents types (allumage, extinction ou gradation), mais avec leurs propres particularités :

- allumage et extinction automatiques en fonction du niveau d'éclairement : les luminaires sont allumés automatiquement lorsqu'il fait trop sombre et s'éteignent automatiquement lorsqu'il fait suffisamment clair
- combinaison avec un détecteur de présence pour empêcher l'allumage lorsque personne n'est présent
- gradation pour maintenir un niveau d'éclairement constant. Dans ce cas, il est nécessaire d'utiliser des lampes et auxiliaires compatibles avec un gradateur. Le flux lumineux des lampes est géré de manière à ce que le niveau d'éclairement sur le plan de travail reste constant. Lorsque l'éclairage naturel est important, la quantité de lumière fournie par l'installation d'éclairage sera réduite, permettant ainsi de réaliser des économies d'énergie tout en conservant un bon confort visuel.

Les deux premiers types de détection, principalement utilisés dans le résidentiel pour contrôler les éclairages extérieurs, sont les plus répandus. Le troisième type de gestion est principalement mis en œuvre dans le secteur tertiaire (bureaux, ...).

4.3 OUTILS DE CONTRÔLE

4.3.1 L'INTERRUPTEUR

L'interrupteur est l'outil de base pour la commande de l'éclairage. Il s'agit d'un élément qui ferme ou ouvre mécaniquement le circuit d'alimentation électrique du luminaire et permet ou non l'alimentation électrique des lampes. Pour des raisons évidentes d'accessibilité, l'interrupteur se place souvent près des portes d'entrée des locaux et peut, pour les interrupteurs à double direction (interrupteurs inverseurs), offrir de commander l'éclairage à partir de deux ou trois points de commande.

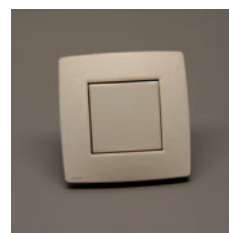


Fig. 35 Interrupteur.

4.3.2 LE TÉLÉRUPTEUR

Le télérupteur, généralement placé dans le tableau électrique, est un relais mécanique utilisé en combinaison avec des boutons-poussoirs pour permettre l'allumage ou l'extinction de l'éclairage. Un de ses avantages est la possibilité de commander l'installation d'éclairage à partir d'un grand nombre de boutons-poussoirs. Il trouve également toute son utilité dans les longs couloirs ou les cages d'escalier d'immeubles multifamiliaux ou d'hôtels.

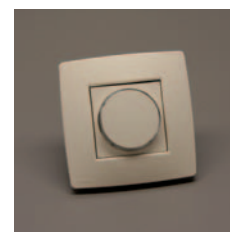


Fig. 36 Télérupteur.

4.3.3 LE VARIATEUR OU GRADATEUR

Le variateur ou gradateur permet de faire varier le flux lumineux d'une lampe. Dans sa version de base, il fonctionne selon le principe de la variation de la tension d'alimentation de la source lumineuse. Il ne fonctionne donc que pour les lampes incandescentes (y compris l'halogène). Des lampes fluo-compactes spécifiques fonctionnant avec ce type

de variateur sont disponibles sur le marché, mais elles sont peu répandues. Les lampes fluorescentes permettant une gradation en continu nécessitent un variateur spécifique, de manière à commander le ballast électronique qui lui sera couplé.

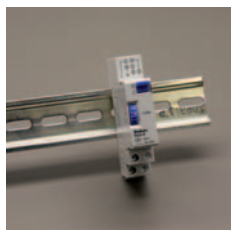
Fig. 37 Variateur.



4.3.4 LA MINUTERIE

La minuterie permet l'extinction automatique de l'éclairage après un certain temps de fonctionnement, généralement déterminé par les utilisateurs lors de l'installation du système. Ce mode de gestion trouve toute son utilité dans les zones de circulation où la présence est ponctuelle (couloirs, escaliers, etc.).

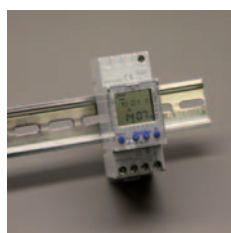
Fig. 38 Minuterie pour cage d'escalier.



4.3.5 L'HORLOGE

Les horloges existent sous diverses formes et emploient différentes technologies (mécanique, analogique ou électronique). Leur principe fondamental de fonctionnement consiste en l'allumage et l'extinction automatiques de l'éclairage en fonction d'un horaire préétabli. Très intéressant dans les applications tertiaires, cet outil de contrôle n'a que peu d'utilité dans le secteur rési-

Fig. 39 Horloge.



dentiel, si ce n'est peut-être pour la gestion de l'éclairage extérieur.

4.3.6 LE DÉTECTEUR DE PRÉSENCE

Il existe différents types de détecteurs de présence permettant l'allumage, l'extinction ou la gradation des luminaires.

Certains capteurs peuvent être installés à la place des interrupteurs classiques, ce qui est très intéressant lors de rénovation. Il faut veiller à les placer intelligemment de manière à ce que, en fonction de leur champ de détection, ils puissent capter les mouvements dans le local.



Fig. 40 Détecteur mural.



Fig. 41 Détecteur fixé au plafond.

Dans le secteur résidentiel, les détecteurs de présence sont en général utilisés pour commander l'éclairage extérieur. Il peut toutefois être utile d'en installer également dans les locaux 'aveugles' afin d'éviter que l'éclairage ne reste allumé intempestivement.

4.3.7 LE DÉTECTEUR DE LUMIÈRE DU JOUR

Le détecteur de lumière du jour peut être utilisé de deux manières différentes. Son premier mode de mise en œuvre peut être celui d'un capteur central placé à l'extérieur (généralement sur le toit ou une façade) ou à l'intérieur (au centre d'une pièce) pour commander différents luminaires (allumage, extinction, gradation, etc.) en fonction de l'éclairement mesuré ou de la luminance (brillance) de la baie.

Le second mode de mise en œuvre est celui d'un capteur directement lié au luminaire, de manière à permettre la gestion du flux lumineux de ce dernier en fonction des besoins (p. ex. sur le plan de travail situé sous le luminaire).

C'est de loin le schéma d'application le plus répandu dans les lieux domestiques, où le capteur d'éclairage naturel est souvent utilisé, en combinaison avec un détecteur de présence, pour commander l'allumage et l'extinction des luminaires extérieurs.



Fig. 42 Détecteur fixé sur un tube TL.



Fig. 43 Détecteur fixé au plafond.

5 LA QUALITÉ DE L'ÉCLAIRAGE

Un bon éclairage permet, de par la quantité, la distribution et la qualité de la lumière, d'effectuer une tâche nécessitant une acuité visuelle sans fatigue. Un environnement de qualité sera obtenu grâce à un niveau d'éclairement suffisant, accompagné d'une répartition agréable de la lumière dans la pièce qui ne générera ni ombre gênante ni éblouissement.

5.1 LE NIVEAU D'ÉCLAIREMENT

Le niveau d'éclairement caractérise la quantité de lumière reçue par une surface, une paroi ou un objet. Un niveau d'éclairement minimal est requis pour une vision claire et sans fatigue. Ainsi, lorsque le niveau d'éclairement diminue, les détails des objets et les textes en petits caractères sont plus difficiles à distinguer.

A. SOUS UN ÉCLAIREMENT DE 500 LUX



B. SOUS UN ÉCLAIREMENT DE 50 LUX

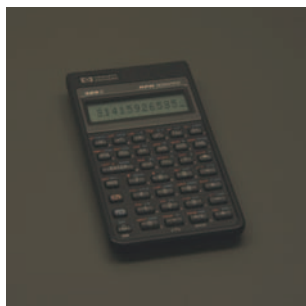


Fig. 44 Exemple d'objet soumis à deux éclairagements différents.

Il faut noter qu'un éclairage trop important peut également être une source d'inconfort. Il importe d'adapter le niveau d'éclairement en fonction du type de local et des activités qui y sont réalisées.

5.2 LA DISTRIBUTION DE LA LUMIÈRE

Lorsque l'œil humain parcourt une scène visuelle, il doit s'adapter aux différences de luminance qui

y sont générées. Trop importantes, celles-ci seront source d'éblouissement et de fatigue.

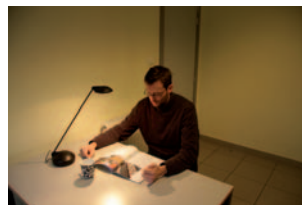
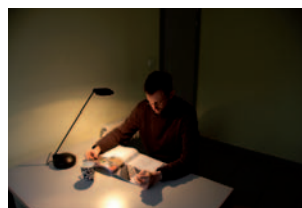
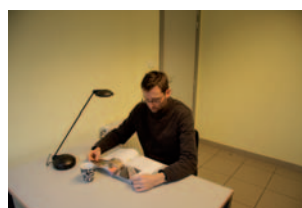


Fig. 45 Une même scène, éclairée de trois manières différentes pour assurer le même niveau d'éclairement sur la table.

A l'inverse, de trop faibles différences de luminance créent un espace monotone et sans relief. C'est pourquoi il faut trouver le juste équilibre entre un éclairage uniforme assurant le confort visuel et un éclairage plus accentué créant une ambiance lumineuse dynamique et intéressante.

Les valeurs couramment recommandées pour les rapports de luminance sont les suivantes :

- arrière-fond de la tâche nécessitant une acuité visuelle/entourage : 3/1
- arrière-fond de la tâche nécessitant une acuité visuelle/champ visuel (180°) : 10/1
- sources lumineuses/surfaces contiguës : 20/1
- pour l'ensemble de l'espace intérieur : 40/1.

5.3 LES OMBRES GÊNANTES

Les ombres créées par un élément placé entre la source et la zone éclairée peuvent diminuer sensi-

blement la qualité d'un éclairage. Elles sont, dans la majorité des cas, créées par différents éléments de mobilier, voire par l'occupant lui-même. Un cas typique d'ombre gênante est celui de l'ombre portée sur le plan de travail d'une cuisine. Cette ombre, produite par un occupant qui a une source lumineuse dans son dos, ne peut être évitée sans installer un éclairage spécifique placé directement au-dessus du plan de travail.

Fig. 46 Ombre gênante.



Fig. 47
Eblouissement direct.

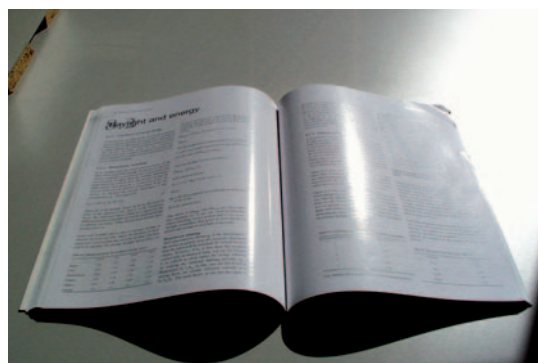


Fig. 48
Eblouissement indirect.

5.4 L'ÉBLOUISSEMENT

L'éblouissement survient lorsqu'une source de luminance excessive se trouve dans le champ de vision ou qu'il existe de trop grands contrastes de luminance (dans le temps ou dans l'espace).

Deux types d'éblouissement sont à distinguer :

- l'éblouissement direct provoqué par la présence d'une source lumineuse intense (fenêtre, lampe, etc.) dans le champ de vision (figure 47)
- l'éblouissement indirect dû à la réflexion d'une source lumineuse par une surface réfléchissante (feuille de papier glacé, écran de télévision, etc.) (figure 48).

5.5 LE RENDU DES COULEURS

Un objet éclairé par une source lumineuse naturelle réfléchit, en fonction de sa couleur, une certaine partie de la lumière incidente. C'est la répartition

spectrale de la lumière réfléchie qui va déterminer sa couleur.

Lorsqu'un objet est éclairé de manière artificielle, sa couleur apparente peut être modifiée en fonction de la répartition spectrale de celle-ci. En effet, si la lumière naturelle présente un spectre d'émission continu, certaines sources d'éclairage artificiel présentent un spectre non continu n'émettant ainsi qu'une partie du spectre visible. L'objet éclairé par une source de spectre non continu ne réfléchira ainsi qu'une partie du spectre incident et apparaîtra d'une couleur différente de celle qu'il aurait sous une lumière naturelle. La figure 49 montre des objets identiques éclairés par une lampe fluorescente possédant un indice de rendu des couleurs de 90 (à gauche) et par une lampe fluorescente présentant un indice de rendu des couleurs inférieur à 70 (à droite).

Fig. 49
Eclairage d'un objet sous deux types de sources différentes.



5.6 LA TEMPÉRATURE DE COULEUR

La couleur de la lumière a une action directe sur la sensation de confort dans un espace.

Une source lumineuse dite 'chaude' (2700 K) émettra une lumière d'une couleur prédominante rouge orangé et une source lumineuse dite 'froide' (3500 K) produira une lumière d'une couleur prédominante bleu violet.

La sensation de chaud ou de froid dépend aussi de la quantité de lumière émise dans la pièce. Il existe une relation entre la perception de la chaleur de la lumière et le niveau d'éclairage. Le diagramme de *Kruithof* révèle une zone (zone B de la figure 51) donnant le niveau d'éclairage idéal en fonction de la température de couleur de la source lumineuse utilisée pour éclairer le local. Les zones A et C sont considérées comme inconfortables. Dans la zone A, la température de couleur de la lumière est trop faible par rapport à l'éclairage apporté : l'ambiance sera irréaliste et trop chaude. Dans la zone C, la température de couleur est trop élevée : l'ambiance paraît trop froide.

SOURCE CHAUDE



SOURCE FROIDE



Fig. 50
Perception d'un même local éclairé par des sources de couleurs différentes.

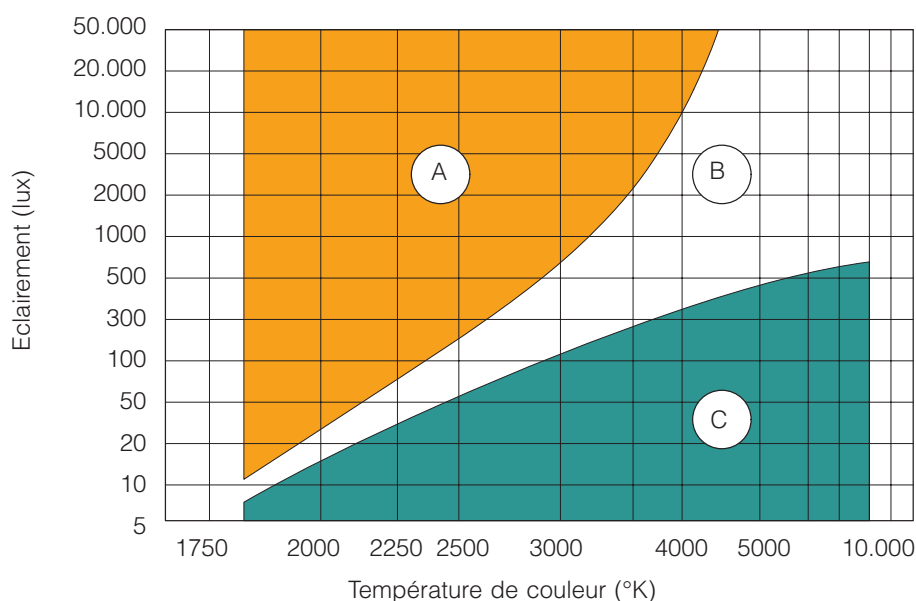


Fig. 51 Diagramme de Kruithof recommandant le niveau d'éclairage en fonction de la température de couleur.

6 L'ÉVALUATION D'UNE INSTALLATION

Après avoir défini les différents paramètres affectant le confort visuel, nous abordons ici leur quantification et présentons les valeurs qu'ils devraient atteindre pour assurer un éclairage de qualité dans les logements. Nous explorons également différentes méthodes permettant d'évaluer une installation d'éclairage.

6.1 QUALITÉ DE L'ÉCLAIRAGE

Nous l'avons vu : la qualité de l'éclairage d'un local dépend de différents paramètres. Nous abordons ici plus particulièrement les niveaux d'éclairage et les risques d'éblouissement.

6.1.1 NIVEAU D'ÉCLAIREMENT

Le niveau d'éclairage est un facteur très important du confort visuel : un niveau minimum est nécessaire pour pouvoir effectuer correctement une tâche nécessitant une acuité visuelle.

6.1.1.1 QUELLES VALEURS D'ÉCLAIREMENT ATTEINDRE ?

A l'heure actuelle, il n'existe aucune norme ni document officiel qui recommande ou impose des niveaux d'éclairage dans les applications domestiques. Afin de guider les concepteurs dans la réalisation d'installations d'éclairage, nous proposons une adaptation au domaine résidentiel de la norme belge NBN EN 12464-1 [2]. Les niveaux envisagés dans le tableau 5 sont certes élevés pour des logements, mais ils sont librement adaptables en fonction des préférences et des besoins.

6.1.1.2 COMMENT ÉVALUER L'INSTALLATION EXISTANTE ?

L'évaluation de l'éclairage fourni par une installation peut s'opérer de différentes manières. Certaines méthodes requièrent des appareils de

Tableau 5 Eclairage moyen recommandé.

Local et activité	Eclairage moyen
Hall d'entrée et couloirs	
Hall d'entrée Couloir et circulation Escalier	100 lx 50 - 100 lx 100 lx
Sanitaires	
Eclairage ambiant Eclairage du miroir et du lavabo Toilettes	200 lx 300 - 500 lx 100 lx
Cuisine	
Eclairage ambiant Eclairage du plan de travail	200 - 300 lx 300 - 500 lx
Living – Salon	
Zone de repos (fauteuil, etc.) Lecture	50 - 200 lx 300 lx
Salle à manger	
Eclairage général Eclairage de la table	100 lx 100 - 300 lx
Chambre	
Eclairage général Zone de lecture (tête de lit)	100 - 200 lx 300 lx
Débarras, buanderies, caves, garage, etc.	
Eclairage général Zone de travail (repassage, bricolage, etc.)	50 - 100 lx 300 lx

mesure spécifiques offrant des résultats très précis. D'autres méthodes, ne nécessitant pas d'appareil de mesure, sont plus faciles à appliquer, mais donnent des résultats nettement plus grossiers.

La première méthode est basée sur la mesure de l'éclairage et fournit des résultats très précis. Elle nécessite toutefois un appareillage spécifique (luxmètre). La mesure peut se faire en quelques points (mesures ponctuelles) ou selon un maillage (grille de mesure), ce qui donne une image très précise de l'éclairage en un point et permet de calculer une valeur moyenne de l'éclairage dans le local (figure 52).

Fig. 52 Mesure d'éclairement au moyen d'un luxmètre.



La deuxième méthode, dite *méthode du flux lumineux*, est très simpliste. Elle permet une estimation de l'éclairement moyen sur la base du flux lumineux des lampes installées et de la surface du local (tableau 6). Elle s'applique aux luminaires directs et considère le luminaire comme ayant un impact fixe sur le niveau d'éclairement, ce qui n'est bien sûr pas le cas en réalité.

Si des lampes de différentes technologies sont utilisées dans un même local, il suffit d'additionner les éclairéments obtenus pour chacune des technologies. Notons cependant que cette méthode n'offre qu'une approximation peu précise de l'éclairement atteint dans le local.

6.1.2 RISQUE D'ÉBLOUISSEMENT

L'éblouissement diminue la perception des objets et provoque progressivement une fatigue visuelle.

La première méthode pour évaluer les risques d'éblouissement est basée sur la *détermination de l'indice d'éblouissement unifié* (UGR – *unified glare rating*). Cet indice se calcule, pour une position et une direction d'observation fixées, à l'aide de la formule suivante :

$$UGR = 8 \cdot \log \left[\frac{0,25}{L_b} \cdot \sum \frac{L^2 \cdot \omega}{p^2} \right]$$

avec L_b la luminance de l'arrière-plan, L la luminance des parties lumineuses du luminaire, ω l'angle de vision de la source par l'observateur et p , un indice lié à la position de l'observateur par rapport au luminaire.

De manière concrète, plus l'indice UGR est élevé, plus le risque d'éblouissement pour la direction d'observation considérée sera élevé.

6.1.2.1 QUELLES VALEURS UGR ATTEINDRE ?

Il est assez difficile de conseiller des valeurs UGR à respecter dans les applications résidentielles, car notre perception varie en fonction de critères subjectifs liés à l'ambiance et à l'environnement. Cependant, un UGR maximum de 22 pour les locaux de vie et de 28 pour les autres locaux sont des valeurs raisonnables.

6.1.2.2 COMMENT ÉVALUER L'UGR ?

Dans la pratique, l'UGR est relativement compliqué à mesurer sur site et demande un appareillage important (luminancemètre, etc.).

Sa mesure peut se réaliser au moyen d'un appareil photo muni d'un objectif spécial ('œil de poisson'). Sur la base de prises de vue, les luminances de tous les points de la scène sont calculées selon une méthode de type HDR (*high dynamic range*). L'UGR est ensuite déterminé à partir de la luminance représentant le champ visuel humain.

Les figures 53 et 54 (p. 40) montrent le résultat de l'analyse d'une scène typique d'un séjour éclairé à l'arrière-fond par un spot halogène, source potentielle d'éblouissement. La vue en luminance confirme l'impression d'éblouissement et donne une valeur UGR nettement supérieure aux recommandations (40,9 sur la base de la vue en fausses couleurs contre 22 comme recommandé).

Source lumineuse	Eclairement moyen
Directement visible	$E_{\text{moy}} = 0,6 \times \frac{\Phi_{\text{lampes}}}{A_{\text{local}}}$
Non directement visible (vasque opaline)	$E_{\text{moy}} = 0,5 \times \frac{\Phi_{\text{lampes}}}{A_{\text{local}}}$
Φ_{lampes} est le flux lumineux total des sources lumineuses et A_{local} est la surface du local considéré.	

Tableau 6
Détermination de l'éclairement moyen par la méthode du flux lumineux.

Fig. 53 Vue en vraies couleurs.



Fig. 54 Vue en fausses couleurs.



La *seconde méthode* pour évaluer le risque d'éblouissement consiste à *mesurer la luminance*, à l'aide d'un luminancemètre, selon une direction de regard et un angle donné. Les valeurs sont ensuite comparées à des valeurs limites.

porte d'évaluer l'efficacité énergétique de l'installation d'éclairage. Cette efficacité peut, elle aussi, être déterminée de différentes manières plus ou moins précises.

Tableau 7 Luminance maximale en fonction de la direction du regard.

Angle par rapport à la direction du regard	Luminance maximale
5°	1695 cd/m²
15°	2570 cd/m²
25°	3860 cd/m²
35°	5500 cd/m²
45°	7710 cd/m²

6.2.1 DENSITÉ DE PUISSANCE NORMALISÉE (DP_N)

La *première méthode* pour évaluer l'efficacité énergétique d'une installation d'éclairage est fondée sur la puissance installée. Afin de pouvoir comparer diverses installations entre elles, cette dernière doit être normalisée. Ainsi, la puissance totale (P_{tot}) de l'installation que l'on divisera par la superficie du local (A_{local}) est rapportée à un éclairage de 100 lux au niveau du plan de travail; la *densité de puissance normalisée* (DP_N) équivaut donc à :

$$DP_N = \frac{P_{tot}}{A_{local}} \cdot \frac{100}{E_{moyen}} \text{ [W/m²/100 lx].}$$

La *troisième méthode* d'évaluation repose sur une *identification des sources possibles d'éblouissement* :

- les luminaires pour lesquels la source est directement visible sont le plus souvent source d'éblouissement. Généralement, plus la source est petite et plus le flux de la lampe est important, plus les risques d'éblouissement sont élevés
- les luminaires très directifs (spots, *downlights*, etc.) peuvent être problématiques si leur flux sortant est directement dirigé vers l'œil de l'occupant
- les luminaires à diffuseur opalin peuvent, dans certains cas – s'ils sont mal disposés et s'ils présentent une luminance (brillance) très élevée – être une source d'éblouissement direct.

Les valeurs de DP_N sont un indice de l'efficacité de l'installation. Des installations d'une densité de puissance installée inférieure à 2,5 W/m² par 100 lx sont considérées comme très efficaces pour les applications résidentielles. Le tableau 8 donne différentes valeurs cibles permettant de caractériser l'efficacité d'une installation d'éclairage.

Tableau 8 Efficacité de l'installation d'éclairage en fonction de la densité de puissance installée.

Installation très efficace	DP _N < 2,5 W/m²/100 lx
Installation efficace	2,5 W/m²/100 lx < DP _N < 6 W/m²/100 lx
Installation peu efficace	6 W/m²/100 lx < DP _N < 15 W/m²/100 lx
Installation inefficace	15 W/m²/100 lx < DP _N

6.2 EFFICACITÉ ÉNERGÉTIQUE D'UNE INSTALLATION

En plus de l'évaluation du confort visuel, il im-

La méthode de densité de puissance installée permet de comparer deux installations entre elles, quelle que soit la superficie de la pièce et en tenant compte de l'éclairement fourni par l'installation. La nécessité d'évaluer (par mesure ou par calcul) l'éclairement dans le local constitue cependant une limitation qui peut freiner l'application de la méthode.

EXEMPLES

- Un séjour de 25 m² éclairé par six spots compacts fluorescents de 11 W assurant un éclairement moyen de 50 lux présente une densité de puissance de 5,3 W/m²/100 lx.
- Un séjour de même superficie, mais éclairé par deux luminaires fluorescents de 55 W chacun présentant un éclairement moyen de 176 lux a une densité de puissance de 2,5 W/m²/100 lx.

Malgré une puissance installée plus importante (110 W au lieu de 66 W), l'efficacité de l'installation du deuxième séjour est plus de deux fois supérieure à celle du premier séjour. Ceci montre clairement que l'efficacité énergétique n'est pas seulement fonction de la puissance installée, mais prend aussi en compte le confort visuel assuré.

6.2.2 EVALUATION QUALITATIVE DE L'INSTALLATION

La *seconde méthode* est une évaluation qualitative qui consiste à repérer les *indices de non-efficacité* de l'installation. Parmi chaque élément constitutif de l'installation, une indication peut être donnée sur son efficacité.

6.2.2.1 LA SOURCE LUMINEUSE

Le type de source lumineuse d'une installation livre déjà un bon aperçu de son efficacité globale. Ainsi, si des sources efficaces (tubes fluorescents linéaires, lampes fluocompactes) sont mises en œuvre, l'installation d'éclairage aura de grandes chances d'être, elle aussi, efficace. *A contrario*, la mise en œuvre de lampes incandescentes rend

pratiquement impossible l'obtention d'une installation efficace.

6.2.2.2 LE LUMINAIRE ET SON MODE D'ÉCLAIRAGE

Le luminaire doit être bien conçu afin de diriger la lumière vers la zone à éclairer. Dans le cas contraire, d'importantes pertes de flux lumineux peuvent se produire. Nous énumérons ci-dessous quelques exemples souvent rencontrés dans les habitations :

- une lampe nue (pas de luminaire ni d'optique) peut présenter plus de 50 % de pertes par rapport à une lampe munie d'une optique
- un luminaire doté d'un mauvais diffuseur opalin peut présenter jusqu'à 70 % de pertes par absorption de la lumière
- un luminaire bien conçu muni, par exemple, d'une coiffe composée de microprismes peut n'absorber que 10 à 15 % seulement de l'énergie lumineuse.

Il importe aussi de souligner que l'éclairage direct est plus efficace qu'un éclairage indirect (par réflexion sur le plafond). On peut évaluer les pertes ainsi provoquées à environ 30 à 50 % du flux lumineux total.

6.2.2.3 LA COULEUR DES PAROIS DU LOCAL

La couleur des parois d'un local influence la réflexion de la lumière dans l'espace. Les couleurs foncées absorbant plus de lumière que les couleurs claires, un local aux teintes foncées nécessitera une puissance installée plus importante qu'un local aux tons clairs pour un même niveau d'éclairement.

Il en résulte qu'une installation d'éclairage direct se composant de lampes fluorescentes ou fluocompactes dans une ambiance claire présentera une très bonne efficacité énergétique, alors qu'une installation utilisant des luminaires halogènes indirects en combinaison avec un plafond foncé (lambris de bois, par exemple) sera très inefficace.

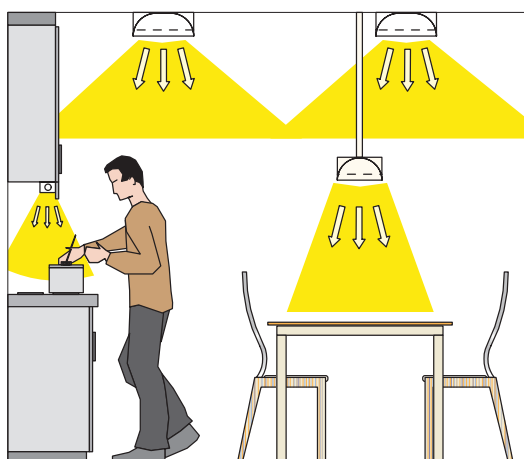
7 QUEL ÉCLAIRAGE POUR QUEL LOCAL ?

Chaque pièce d'une habitation nécessite un éclairage adapté. Nous présentons ci-après divers types d'éclairage propres aux différents locaux et aux différentes tâches nécessitant une acuité visuelle. Pour chacune des solutions, une puissance d'éclairage est proposée à titre informatif. Celle-ci dépend toutefois fortement du type de lampe et du luminaire, des dimensions du local, de la couleur des murs et des plafonds ainsi que du mobilier. Les valeurs données conviennent donc à des locaux standard équipés exclusivement de luminaires et de lampes efficaces.

7.1 LA CUISINE

Les tâches et les besoins en lumière dans la cuisine sont divers : la zone de préparation des repas nécessite un niveau d'éclairement important (éclairage de la tâche), alors qu'un éclairage d'ambiance peut être suffisant pour le reste de la pièce. C'est pourquoi on distinguera le plan de travail du reste de la pièce.

Fig. 55
Schéma
type de
l'éclairage
d'une cuisine.



7.1.1 ECLAIRAGE DU PLAN DE TRAVAIL

L'éclairage du plan de travail doit être relativement important afin de permettre des tâches assez précises et parfois dangereuses (manipulation de

couteaux, etc.). Un éclairement d'environ 300 à 500 lux est ainsi recommandé.

Afin d'éviter que la personne qui se tient devant le plan de travail ne soit gênée par sa propre ombre, il est utile d'éclairer la zone avec un éclairage localisé, p. ex. en posant des luminaires sous les armoires situées au-dessus du plan de travail. Les luminaires fermés présentent l'avantage d'être faciles à nettoyer, d'autant plus que la source lumineuse est protégée de toute projection ou éclaboussure. Parmi les luminaires envisageables, les réglettes linéaires et les spots placés sous les armoires sont les plus intéressants.

7.1.1.1 RÉGLETTES LINÉAIRES SOUS LES ARMOIRES

Les réglettes linéaires placées en dessous des armoires suspendues assurent une bonne uniformité de la lumière sur le plan de travail. Une puissance de l'ordre de 5 à 8 W par mètre de plan de travail fournit généralement un éclairement correct. Pour éviter l'éblouissement, il est conseillé de masquer la vue directe des lampes par un rebord rapporté sous les armoires.



Fig. 56
Réglette
murale fixée
sous les
armoires
suspendues.

7.1.1.2 SPOTS SOUS LES ARMOIRES

De par leur aspect directionnel, les spots placés sous les armoires ou au-dessus du plan de travail assu-

rent, eux aussi, un bon éclairage. Les spots pouvant être équipés de lampes compactes fluorescentes sont plus efficaces que les spots halogènes. Généralement, un luminaire équipé d'une lampe de 7 W par bloc d'armoire (60 cm) permet de bien éclairer le plan de travail.

7.1.1.3 ECLAIRAGE SOUS LA HOTTE

Les sources lumineuses équipant la hotte assurent un bon éclairage au droit des taques de cuisson. Dans le cas où une nouvelle hotte est à prévoir, il est préférable d'opter pour un modèle équipé de lampes à décharge à ballast externe. Cependant, trop souvent, les hottes sont munies de lampes à incandescence à visser (de type flamme à culot E14). Il faut alors les remplacer par des lampes fluocompactes à ballast intégré. Des lampes d'une puissance de l'ordre de 7 W suffiront généralement. On prêtera une attention particulière aux dimensions de la lampe de remplacement en fonction de la géométrie de la hotte. Il en va de même si la hotte est équipée de lampes halogènes avec culot particulier.

7.1.2 ECLAIRAGE GÉNÉRAL ET ECLAIRAGE D'AMBIANCE

L'éclairage général de la cuisine devra être relativement bien réparti et assurer un éclairement approchant les 200 à 300 lux à la hauteur du plan de travail. Ceci permet d'éviter de trop forts contrastes entre ce dernier et le reste de la pièce.

7.1.2.1 RÉGLETTES LINÉAIRES AU-DESSUS DES ARMOIRES

Les réglettes linéaires situées au-dessus des armoires créent un éclairage indirect de la pièce. Pour une bonne dispersion de la lumière, il est généralement conseillé de conserver un espace suffisant entre le haut des armoires et le plafond (une distance de l'ordre de 50 cm est généralement conseillée). Pour éviter tout risque d'éblouissement, un bandeau peut être prévu sur le dessus de l'armoire de manière à empêcher la vue directe des lampes. Il faut en général compter sur des puissances de 3 à 3,5 W/m² pour atteindre l'éclairement nécessaire dans la pièce. Si la pièce est relativement grande et que les armoires ne sont pas présentes sur tous les murs, il peut être intéressant, voire nécessaire de prévoir une ou plusieurs autres sources lumineuses afin d'assurer une uniformité suffisante de l'éclairement dans la cuisine.

7.1.2.2 PLAFONNIERS

De nombreux types de plafonniers efficaces sont disponibles sur le marché. Leur choix, en plus du critère d'efficacité, est une question d'esthétique et de goût personnel. Le nombre de plafonniers à prévoir dépend principalement des dimensions de la pièce et du niveau d'éclairement que l'on veut obtenir. A titre informatif, il faut compter sur une puissance installée d'environ 2,5 à 3,5 W/m² pour obtenir un bon éclairage général.



Fig. 57
Plafonnier muni d'une plaque diffusante opaline.

7.1.2.3 LUSTRES ET LUMINAIRES SUSPENDUS

Les luminaires suspendus sont à conseiller lorsque le plafond de la pièce est haut. En effet, d'une part, une distance de 40 à 50 cm entre le luminaire et le plafond est nécessaire et, d'autre part, il est préférable que le luminaire soit à une hauteur de minimum 2 m afin de ne pas gêner les déplacements (figure 58).



Fig. 58 Luminaire suspendu muni d'une lampe fluocompacte.

7.1.2.4 DOWNLIGHTS ENCASTRÉS

Le *downlight* encastré apporte une lumière relativement dirigée. Différentes configurations et so-

lutions sont possibles si l'on désire une lumière mieux répartie et moins directive que l'effet créé par un spot. Il est possible, par exemple, de placer des 'lèche-murs' (réflecteurs) ou des *downlights* munis d'une décoration opaline qui diffusera la lumière. L'effet désiré fixera le nombre et la répartition des *downlights* mais, de manière générale, une puissance de l'ordre de 3 W/m² permettra d'atteindre l'éclairement recommandé.

Il est évidemment possible de coupler les différentes solutions proposées. Si la pièce est relativement grande, on peut prévoir, par exemple, des réglettes au-dessus des armoires ainsi que quelques *downlights* placés du côté opposé. L'éclairage indirect créera alors une lumière ambiante douce et générale, alors que l'accentuation donnera du relief à la pièce.

7.2 LA SALLE À MANGER

En ce qui concerne la salle à manger, une distinction est faite entre l'éclairage de la table et l'éclairage général d'ambiance.

7.2.1 ECLAIRAGE DE LA TABLE

Élément central de la salle à manger, la table doit bénéficier d'un éclairage moyen horizontal de 150 à 200 lux.

■ LUMINAIRES SUSPENDUS

Le luminaire suspendu à composante directe et indirecte est bien adapté à l'éclairage de la table. Cependant, si sa hauteur n'est pas suffisante, il risque d'être gênant. Il existe toutefois des solutions permettant d'adapter la hauteur du luminaire (système de câbles réglables, etc.). Idéalement, celle-ci sera de 1,7 à 1,8 m par rapport au sol et devrait être réglable pour permettre l'utilisation de la pièce dans des conditions particulières (fête de famille, déplacement de la table, etc.).

Parmi les différents types de luminaires suspendus, les plus efficaces sont ceux utilisant des lampes fluorescentes de type T5 ou T8. Cependant, ces tubes étant relativement longs et les luminaires par conséquent encombrants, les tubes circulaires, plus compacts, leur sont souvent préférés. Les lampes fluocompactes sont légèrement moins efficaces, mais elles présentent l'avantage de pouvoir être logées dans des luminaires plus petits. Une puissance totale de 20 à 30 W est suffisante pour éclairer



Fig. 59 Eclairage de table avec un luminaire suspendu équipé d'une lampe fluocompacte.

correctement la table (une puissance moindre est envisageable dans le cas où l'éclairage ambiant est plus important).

L'alternative aux luminaires suspendus consiste à utiliser des plafonniers appliqués au plafond ou des *downlights*.

7.2.2 ECLAIRAGE GÉNÉRAL ET ECLAIRAGE D'AMBIANCE

Outre l'éclairage de la table, il est nécessaire d'assurer un bon éclairage d'ambiance, sous peine de créer de fortes ombres et de plonger la table dans un environnement sombre. Un éclairage de 100 à 150 lux est largement suffisant comme éclairage d'ambiance. En fonction du luminaire utilisé pour l'éclairage de la table, il ne sera pas forcément nécessaire d'utiliser un second luminaire pour l'éclairage d'ambiance. Cependant, dans le cas de la mise en œuvre d'un autre luminaire, la solution du plafonnier ne sera que rarement retenue et l'on préférera se tourner vers d'autres solutions comme le *downlight* encastré, l'applique murale ou le bandeau lumineux.

7.2.2.1 DOWNLIGHTS ENCASTRÉS

Le cas du *downlight* est à considérer lorsque son intégration est possible. Généralement, la table étant présente au centre de la pièce, les *downlights* seront placés le long des murs et seront éventuellement équipés de réflecteurs appelés 'lèche-murs' qui dirigent la lumière vers le mur. Une puissance

totale d'environ 3,5 à 4 W/m² (tenant compte du luminaire au-dessus de la table) permet généralement d'atteindre l'éclairement recommandé tant sur la table qu'au niveau de l'ambiance.

7.2.2.2 APPLIQUES MURALES

Les appliques murales peuvent jouer un rôle d'éclairage décoratif tout comme celui d'éclairage d'ambiance dans les salles à manger. Suivant la forme et la taille désirée, il est possible d'opter pour des tubes fluorescents de faible puissance (14 ou 18 W) ou des lampes fluocompactes. En règle générale, il faut tabler sur une puissance totale installée de 4 à 5 W/m² (en tenant compte du luminaire au-dessus de la table) pour procurer un éclairage efficace.

7.2.2.3 RÉGLETTES LINÉAIRES EN BANDEAU

Les réglettes linéaires en bandeau créent un éclairage indirect vers le mur et le plafond. Il est cependant essentiel de se protéger de la vue directe des lampes en prévoyant un bandeau en bois, en plâtre ou tout autre matériau selon la décoration de la pièce.

La figure 60 illustre différentes solutions de réglettes en bandeau :

- la cornière rapportée, pour laquelle il suffit de rapporter un bandeau sur le mur
- la rainure murale, pour laquelle une encoche dans le mur est prévue
- le plafonnier encastré, qui assure un éclairage indirect.

Les deux dernières possibilités nécessitent cependant des interventions relativement importantes (perçement du mur, du plafond, etc.), ce qui limite leur applicabilité.

Bien que la solution du bandeau lumineux soit basée sur un éclairage indirect, elle est assez efficace car elle peut être réalisée au moyen de tubes fluorescents à haut rendement (T5 ou T8 à ballast électronique).

Il est également possible d'opter pour des ballasts de gradation si l'on souhaite modifier le flux lumineux et l'ambiance lumineuse à son goût. Une puissance de 4 W/m² (éclairage de la table compris) est généralement suffisante pour assurer un éclairage correct de la salle à manger.

7.3 LE SÉJOUR

Les besoins en lumière dans un séjour sont très variables (de 20 à 400 lux). Il est possible de répondre à cette modularité en plaçant plusieurs sources lumineuses commandées séparément ou en utilisant une source lumineuse à gradateur.

Comme pour la salle à manger, nous distinguerons l'éclairage d'ambiance et celui de la tâche, en nous focalisant, dans ce dernier cas, sur l'éclairage spécifique à la lecture.

7.3.1 ECLAIRAGE POUR LA LECTURE

L'activité de lecture dans un séjour nécessite un éclairage plus important que celui fourni par l'éclairage général. Lorsque la tâche nécessitant une acuité visuelle se trouve relativement près d'un point lumineux fixe, il est possible de recourir à un plafonnier (suspendu ou non) ou à un *downlight* encastré. D'autres solutions consistent à utiliser des luminaires sur pied qui présentent l'avantage d'être mobiles et donc de pouvoir être déplacés au gré des variations d'aménagement du séjour. Les luminaires directifs sont les plus performants. Malheureusement, les modèles énergé-

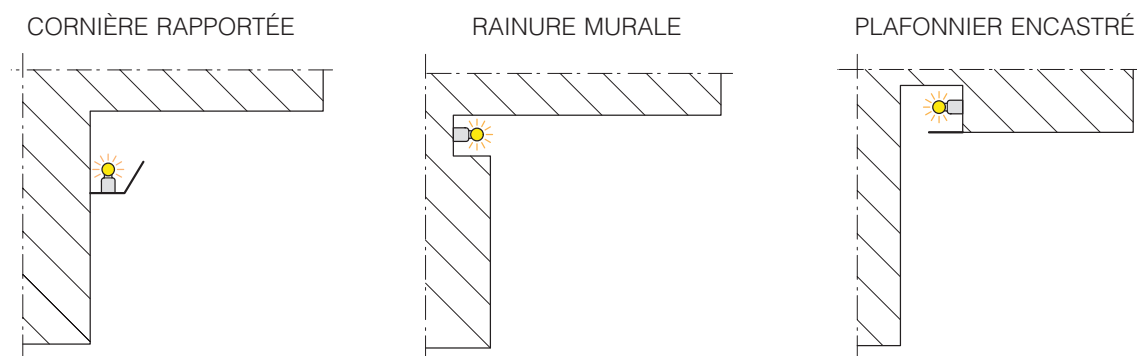


Fig. 60 Solutions d'intégration de réglettes en bandeau.

tiquement efficaces sont encore peu répandus sur le marché domestique.

Une autre possibilité revient à utiliser une lampe de chevet posée sur une table basse à proximité du lecteur.

7.3.2 ECLAIRAGE GÉNÉRAL ET ECLAIRAGE D'AMBIANCE

Suivant la configuration de la pièce et le choix des luminaires, un éclairage général plus ou moins important sera nécessaire. Comme dans le cas de la salle à manger, on peut envisager les réglottes en bandeau, les appliques murales et les *downlights*.

Le séjour est aussi le lieu de prédilection pour disposer des petites lampes décoratives. Ces luminaires sont généralement conçus comme des objets de décoration et sont rarement très efficaces. Il est cependant possible d'améliorer leur efficacité en substituant à la lampe incandescente une lampe fluocompacte (d'une puissance de 6 à 9 W au lieu des 25 à 40 W initiaux).

7.4 LA SALLE DE BAINS ET LES TOILETTES

En ce qui concerne l'éclairage de la salle de bains, il faut distinguer deux applications séparées : l'éclairage général et l'éclairage du miroir qu'il est intéressant de contrôler indépendamment (figure 61).

La particularité de l'éclairage des salles de bains réside dans le haut degré de protection vis-à-vis de l'eau que doivent assurer les luminaires.

7.4.1 ECLAIRAGE DU MIROIR

L'éclairage du miroir doit fournir un éclairage

suffisant pour permettre des activités telles que le rasage, le maquillage, etc. Le placement d'appliques de part et d'autre du miroir génère un bon éclairage (de l'ordre de 300 à 500 lux) au droit du miroir et empêche les ombres sur le visage.

7.4.1.1 LUMINAIRE DE PART ET D'AUTRE DU MIROIR

Si l'option des deux luminaires de part et d'autre du miroir est retenue, il faut veiller à les placer à hauteur des yeux afin d'uniformiser l'éclairage du miroir. Il importe également d'éviter les luminaires trop puissants pour ne pas créer d'éblouissement. D'une manière générale, des puissances de l'ordre de 10 à 15 W par luminaire suffisent largement.

7.4.1.2 LUMINAIRE AU-DESSUS DU MIROIR

Cette solution, bien qu'elle soit moins intéressante pour l'éclairage du visage, est cependant souvent appliquée car elle présente l'avantage de ne nécessiter qu'un seul luminaire au lieu de deux dans la situation précédente. De plus, le marché propose beaucoup plus de luminaires dotés d'une bonne protection à l'eau (indice IP élevé) pour cette solution que pour la précédente. Enfin, il faut aussi noter que cette solution permet d'utiliser plus facilement des luminaires commandés par des interrupteurs intégrés (un seul interrupteur pour un seul luminaire). La puissance des luminaires placés au-dessus du miroir et utilisant des lampes fluorescentes varie entre 15 et 24 W.

7.4.1.3 MIROIR AVEC LUMINAIRE INTÉGRÉ

Dans le cas du miroir avec luminaire, la source lumineuse est intégrée au meuble-miroir. L'avantage



Fig. 61 Eclairage dans une salle de bains.

principal est esthétique car le luminaire est parfaitement intégré au miroir. L'inconvénient majeur de ce type de solution est qu'il est très difficile d'obtenir de tels meubles équipés de lampes économiques (pour des raisons de sécurité électrique et de connectivité), ce qui influence leur prix (relativement élevé).

7.4.2 ECLAIRAGE GÉNÉRAL

Un éclairage général de l'ordre de 200 lux est recommandé dans toute la salle de bains. Cet éclairage peut être assuré, en fonction de la taille de la pièce, par un ou plusieurs luminaires qui peuvent être des plafonniers ou des *downlights* encastrés. Il faut toutefois veiller à respecter l'indice de protection (indice IP) du volume dans lequel est installé le luminaire. Des plaques de protection existent pour les *downlights*, ce qui a pour effet d'augmenter leur indice de protection. Une puissance comprise entre 4 et 6 W/m² procure généralement un éclairage correct dans une salle de bains.

7.4.3 ECLAIRAGE DES TOILETTES

L'éclairage dans les toilettes est généralement constitué de plafonniers ou de *downlights* encastrés. Eventuellement, si le cabinet de toilette est équipé d'un miroir au-dessus du lave-mains, des appliques murales peuvent être apposées pour assurer l'éclairage. Certes, l'éclairage à assurer dans le local peut varier en fonction des désirs des occupants (de 100 à 300 lux) mais, la pièce étant de taille limitée, les puissances installées seront faibles (une puissance de 10 à 13 W est généralement suffisante pour l'ensemble du local).

7.5 LA CHAMBRE

Traiter l'éclairage de la chambre nécessite d'envisager séparément la chambre d'adulte de la chambre d'enfant, qui a un caractère plus multifonctionnel car elle abrite les activités de jeu, de travail et de repos. Comme précédemment, nous distinguerons l'éclairage de la tâche et l'éclairage général.

7.5.1 ECLAIRAGE DE LA TÂCHE

Dans la chambre d'enfant, on distingue généralement une zone de lecture et de bureau où un éclairage de 200 à 300 lux (parfois même de 500 lux) est requis.

Il n'est pas possible d'assurer de tels niveaux d'éclairage via l'installation générale d'éclairage

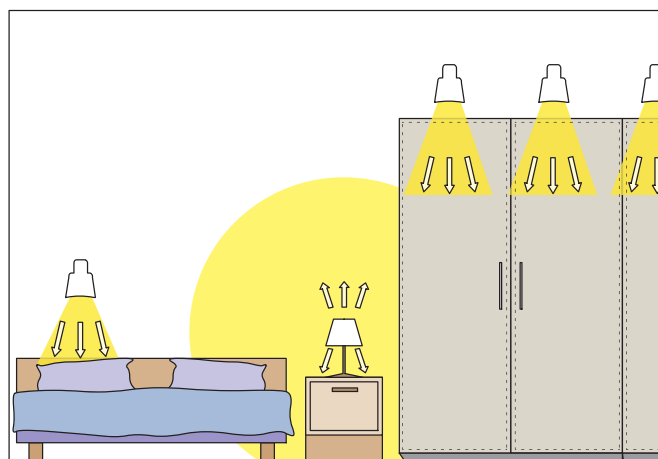


Fig. 62 Schéma type de l'éclairage d'une chambre.

rage sans surdimensionner l'équipement de la pièce, ce qui, en plus de poser des problèmes de surconsommation, empêche d'obtenir un éclairage faible ou tamisé, apprécié pour l'endormissement ou le réveil des enfants. C'est ainsi que l'éclairage général est souvent combiné à l'utilisation de lampes de chevet ou de bureau.

7.5.2 LAMPES DE CHEVET

Tout comme les luminaires pour la table du séjour, les lampes de chevet jouent un rôle de décoration en plus de leur rôle d'éclairage. Ici aussi, il est difficile de trouver sur le marché des luminaires efficaces (équipés de lampes fluocompactes à ballast séparé). La meilleure solution consiste à remplacer la lampe incandescente des luminaires par une lampe de type CFL à ballast intégré. Une puissance de 7 à 11 W est normalement suffisante pour assurer un bon éclairage d'appoint.

7.5.3 LAMPES DE BUREAU

La situation, dans ce cas, est quelque peu différente. En effet, le marché propose de plus en plus de lampes de bureau équipées d'ampoules fluocompactes à ballast externe. Ces luminaires efficaces assurent un bon éclairage localisé. Ils sont souvent dotés de lampes d'une puissance de 11 W, ce qui suffit pour fournir un éclairage de l'ordre de 200 à 300 lux à l'endroit de la tâche.

7.5.4 ECLAIRAGE GÉNÉRAL ET ÉCLAIRAGE D'AMBIANCE

L'éclairage des tâches localisées étant assuré par des luminaires d'appoint, l'éclairage général (zone de jeu et/ou zone de passage) ne devra pas être trop important. Un éclairage moyen de 100 lux dans

la pièce sera largement suffisant, ce qui sera aisément réalisé par une puissance installée de l'ordre de 3 à 4 W/m².

7.6 HALL D'ENTRÉE, COULOIRS, ESCALIERS

Le hall d'entrée, les escaliers ainsi que les pièces de circulation requièrent un bon éclairage au niveau du sol afin d'assurer le déplacement en toute sécurité. Un éclairage au droit du sol de 50 à 100 lux pour les couloirs et de 75 à 150 lux pour les escaliers est conseillé. L'éclairage peut se faire via des plafonniers, des *downlights*, des appliques murales ou une combinaison de ces trois luminaires. On évitera toutefois de placer des *downlights* en haut des escaliers afin de ne pas éblouir les personnes qui les empruntent.

Lorsque les plafonds sont élevés, il est possible d'opter pour des plafonniers suspendus (plutôt

pour les couloirs que pour les escaliers) à une hauteur minimum de 2 à 2,5 m.

7.7 DÉBARRAS, CAVE, BUANDERIE

Ces pièces n'étant pas des lieux de vie, la préférence sera donnée aux luminaires fonctionnels sans trop considérer leur esthétique. Les besoins en lumière de ces locaux sont relativement faibles; des éclairages de 50 à 100 lux seront suffisants, sauf dans les zones où des activités spécifiques (repassage, bricolage, etc.) seront effectuées et où un éclairage minimum de 200 à 300 lux sera requis.

Le plafonnier est le moyen le plus simple d'éclairer ces locaux. On retiendra plus spécialement le plafonnier à vasque (en polycarbonate) plutôt que le tube nu, car il est plus résistant aux chocs et aux projections d'eau, et est plus aisé à nettoyer.

8 LA CONSTRUCTION NEUVE, SOLUTION IDÉALE POUR UN ÉCLAIRAGE EFFICACE ET ESTHÉTIQUE

La construction d'un logement neuf ou la réalisation de transformations lourdes dans une habitation sont les occasions idéales pour concevoir un éclairage énergétiquement efficace assurant un confort visuel optimum.

8.1 MISE EN ŒUVRE

L'atout principal d'une nouvelle installation d'éclairage est de pouvoir agir sur la gestion différenciée des points lumineux en fonction de l'usage des locaux et de la disponibilité de la lumière naturelle. De plus, pouvoir intégrer certains luminaires dans les faux plafonds résout en grande partie les problèmes esthétiques liés à l'utilisation de certains types de lampes.

L'installation d'un câblage électrique neuf permet ainsi, par exemple, de réaliser différentes boucles sur un même circuit de manière à gérer de manière distincte l'éclairage d'ambiance et l'éclairage de la tâche, ou d'intégrer la gestion en fonction de la lumière naturelle.

Il est aussi plus aisé d'utiliser des systèmes de gestion requérant un câblage complémentaire. C'est le cas pour les sources lumineuses fluorescentes linéaires à ballast électronique analogique avec gradation qui nécessitent un câble électrique complémentaire pour communiquer l'information de gestion sous la forme d'un signal analogique de 0 à 10 V.

De plus, dans une construction neuve, ce type d'intervention permet l'intégration de luminaires dans les (faux) plafonds, ce qui peut résoudre bien des problèmes liés à l'encombrement et à l'esthétique des tubes fluorescents.

Si, conceptuellement, il est préférable de s'orienter vers la mise en œuvre de luminaires dont les caractéristiques photométriques sont connues, il n'est pas rare qu'il faille utiliser les méthodes de dimensionnement approximatives présentées précédemment.

8.2 EXEMPLES DE NOUVELLES INSTALLATIONS

8.2.1 LA CUISINE

Nous présentons ici l'exemple d'une cuisine éclairée de deux manières différentes. Le premier système d'éclairage (figure 63, p. 50) est constitué de quatre lampes fluocompactes de type spots compacts fluorescents d'une puissance de 7 W placés en dessous des armoires et combinés à un éclairage général au plafond.

Le luminaire mis en œuvre pour assurer l'éclairage général est muni d'un tube fluorescent de 35 W. La puissance totale de l'installation est de 63 W et les niveaux d'éclairement sont élevés (800 lux sur la zone de travail et 400 lux dans le reste de la pièce) pour une densité de puissance d'environ 7,3 W/m².

La seconde solution (figure 64, p. 50) résulte de la combinaison d'un éclairage direct et d'un éclairage indirect. L'installation est uniquement constituée de réglettes linéaires placées au-dessus et en dessous des armoires de la cuisine, aucun autre luminaire n'étant présent dans le local. La puissance totale installée s'élève à 48 W, soit une densité de puissance de l'ordre de 5,5 W/m². L'éclairement obtenu est de l'ordre de 630 lux sur le plan de travail et de 230 lux pour le reste de la cuisine.



Fig. 63 Vue de la cuisine A.



Fig. 64 Vue de la cuisine B.

d'un mur de manière à créer une ambiance d'éclairage indirect. Du côté opposé au bandeau, deux luminaires à distribution asymétrique (lèche-murs) de type *downlights* ont été encastrés dans le plafond afin d'obtenir un éclairage direct permettant de créer du relief dans le local. Ces *downlights* sont équipés de lampes fluocompactes de 13 W à ballast électronique séparé. La puissance totale installée dans le séjour est de 110 W (3,7 W/m²) pour un éclairement de 190 lux.

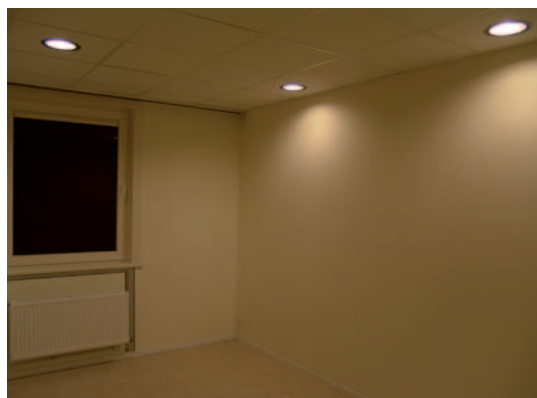


Fig. 65 Vue du séjour A.



8.2.2 LE SÉJOUR

Nous présentons ici également deux réalisations différentes d'installations d'éclairage énergétiquement efficaces. La première consiste en un bandeau lumineux composé de tubes fluorescents linéaires et combiné à des *downlights* encastrés (figure 65). La seconde se compose uniquement de *downlights* encastrés, équipés de lampes fluocompactes (figure 66).

Le bandeau lumineux, composé de cinq réglettes linéaires fluorescentes de 14 W, a été placé le long



Fig. 66 Vue du séjour B.

Le second projet met en œuvre des luminaires encastrés et illustre l'existence d'alternatives économiques aux spots halogènes (35 W ou 50 W chacun), tout à fait applicables aux installations domestiques.

Cinq luminaires de type *downlights* encastrés, équipés d'une lampe fluocompacte de 18 W à ballast électronique externe ont été placés pour assurer l'éclairage de la tâche. Ils sont combinés à deux appliques murales placées de part et d'autre

de la fenêtre. Ces appliques sont équipées de deux tubes fluorescents miniatures de 6 W, ce qui porte la puissance totale installée à près de 120 W, soit 4,15 W/m², pour un éclairage moyen de 250 lux.

Les circuits électriques étant distincts, il est possible de commander séparément les *downlights* et les appliques en fonction de l'ambiance désirée, ce qui permet de mieux contrôler la consommation énergétique.

9 COMMENT AMÉLIORER L'INSTALLATION D'ÉCLAIRAGE EN RÉNOVATION ?

Dans les chapitres précédents, nous avons livré un aperçu des différentes solutions technologiques, des techniques d'éclairage ainsi que des paramètres pouvant influencer le confort visuel et l'efficacité énergétique d'une installation d'éclairage. Nous abordons ci-après, pour différents types d'interventions, les solutions envisageables pour améliorer tant l'efficacité énergétique d'une installation d'éclairage que le confort visuel. Seules les approches de remplacement des lampes et des luminaires seront traitées, les interventions plus lourdes relevant davantage de la construction neuve évoquée au chapitre 8.

9.1 LE REMPLACEMENT DES LAMPES

Le remplacement des lampes (*relamping*) est un moyen d'améliorer le confort visuel et l'efficacité énergétique d'une installation d'éclairage qui n'a qu'un impact limité sur cette dernière et qui n'implique pas de coûts trop importants. C'est le type d'intervention qu'il est le plus facile de mettre en œuvre dans une habitation.

9.1.1 MISE EN ŒUVRE

Le remplacement des lampes par des modèles plus efficaces conduit à améliorer l'efficacité lumineuse de l'installation de manière plus ou moins importante selon les luminaires installés et les lampes

choisies. C'est une intervention qui permet également d'augmenter le niveau d'éclairement si l'on utilise des lampes fournissant un flux lumineux plus élevé que les lampes initiales. Le gain énergétique est alors bien évidemment moindre, mais il s'accompagnera d'un gain de confort.

Dans le cas de luminaires à lampes incandescentes dissimulées par un cache opalin, on privilégiera l'usage de lampes fluocompactes à tube nu d'une puissance avoisinant le quart de celle de la lampe remplacée.

Le tableau 9 indique la puissance des lampes incandescentes généralement utilisées pour les logements ainsi que la puissance des lampes fluocompactes à utiliser en solution de remplacement. Les gains énergétiques et financiers y sont aussi calculés à raison d'une utilisation de 1000 heures par an (un peu moins de 3 heures de fonctionnement par jour) et d'un coût du kWh de 17 centimes d'euro. Sur la base d'un coût de 8 à 9 €, l'achat d'une lampe énergétiquement efficace de qualité est ainsi rentabilisé en près d'une année.

En ce qui concerne les luminaires pour lesquels la lampe incandescente est visible et/ou de forme particulière (lampes flammes, etc.), il est possible de trouver sur le marché des lampes fluocompactes ayant un globe reproduisant la forme de la lampe fluorescente. A nouveau, on divisera la puissance par quatre afin d'obtenir la puissance équivalente à installer.

Tableau 9 Correspondance des puissances de remplacement et gains.

Puissance avant remplacement	Puissance après remplacement	Gain énergétique (1000 h par an)	Gain financier par an (0,17 € par kWh)
100 W	23 W	77 kWh	13,1 €
75 W	18 W	57 kWh	9,7 €
60 W	15 W	45 kWh	7,7 €
40 W	10 W	30 kWh	5,1 €

La situation des luminaires munis de lampes halogènes de forme particulière (lampes capsules, spots 230 ou 12 V, minitubes) est un peu différente car leurs culots sont incompatibles avec la majorité des lampes fluocompactes. La solution de remplacement s'orientera vers l'utilisation de lampes halogènes à recouvrement infrarouge (IRC) présentant un rendement supérieur et permettant, à flux équivalent, de réduire la consommation de 25 à 30 % par rapport à un halogène classique.

Les torchères halogènes indirectes seront, quant à elles, bannies des possibilités de choix car, d'une part, elles sont munies de lampes halogènes d'une mauvaise efficacité lumineuse et, d'autre part, elles assurent un éclairage de type indirect qui induit d'importantes pertes lumineuses. C'est pour ces deux raisons que ces luminaires, munis de lampes de grande puissance (entre 300 et 500 W), sont parmi les plus énergivores. Pour une heure de fonctionnement par jour d'un luminaire de ce type, la facture énergétique s'élève à 31 € par an !

9.1.2 EXEMPLE DE REMPLACEMENT DES LAMPES

L'exemple que nous présentons ici est un cas type où l'ensemble des lampes des luminaires ont été remplacées par des lampes fluocompactes, lorsque cela s'avérait possible.

9.1.2.1 LA CUISINE

L'éclairage d'ambiance était assuré par deux luminaires suspendus dont les lampes incandescentes de 60 W ont été remplacées par des lampes fluocompactes de 15 W. Les lampes de la hotte (deux lampes flammes incandescentes de 25 W) ont été remplacées par des lampes fluocompactes de 7 W. Le luminaire assurant l'éclairage du plan de travail et placé au-dessus de l'évier n'a pas été remplacé, étant donné qu'il est muni d'un tube fluorescent de 36 W, solution déjà énergétiquement efficace.

Le remplacement des lampes dans la cuisine a permis de réduire la puissance à 80 W – ce qui est moins de la moitié de la puissance initiale (206 W) – tout en assurant un bon éclairage (430 lux sur le plan de travail et 180 lux dans le reste de la pièce) (tableau 10).

9.1.2.2 LE SÉJOUR

Avant le remplacement des lampes, le séjour était éclairé au moyen de deux plafonniers équipés chacun de trois spots halogènes de 50 W.

Tableau 10 Gains réalisés après remplacement des lampes de la cuisine.

Situation	Consommation annuelle (1000 h)	Coût annuel
Avant remplacement	206 kWh	35,0 €
Après remplacement	80 kWh	13,6 €
Economie annuelle		21,4 €

Ces spots ont été remplacés par des lampes fluocompactes à réflecteur de 11 W chacune. La puissance dans la pièce a ainsi été réduite de 300 W à 66 W, ce qui représente une diminution de 78 % de la puissance installée pour un éclairage moyen constant de l'ordre de 50 lux (tableau 11).

Tableau 11 Gains réalisés après remplacement des lampes du séjour.

Situation	Consommation annuelle (1000 h)	Coût annuel
Avant remplacement	300 kWh	51,0 €
Après remplacement	66 kWh	11,2 €
Economie annuelle		39,8 €

9.2 LE REMPLACEMENT DES LUMINAIRES

L'opération de remplacement des luminaires a généralement un impact plus important sur le confort visuel et le budget que l'opération de remplacement des lampes. Elle peut toutefois être relativement facilement conduite, dans la mesure où elle ne nécessite aucune modification du câblage électrique ni des systèmes de commande des luminaires.

9.2.1 MISE EN ŒUVRE

On privilégiera la mise en œuvre de luminaires munis de tubes à décharge de type linéaire ou circulaire. Les tubes TL (linéaires) ayant souvent une taille imposante, la solution du luminaire muni de lampes circulaires ou de lampes fluocompactes aura la préférence. Il est conseillé d'opter pour des modèles pourvus de lampes à ballast externe, car celles-ci ont une meilleure efficacité lumineuse que leurs homologues à ballast intégré et présentent un coût de remplacement inférieur à ces dernières. En

effet, si le prix d'achat d'une lampe fluocompacte et d'un ballast externe est plus élevé que celui d'une lampe fluocompacte à ballast intégré, le remplacement de la lampe seule coûtera moins cher que le remplacement de l'ensemble.

De plus, l'utilisation de luminaires à ballast externe impose une connectique particulière au niveau des lampes (système de broches) qui garantit l'utilisation continue de lampes à haute efficacité. En effet, il est impossible de retourner vers l'ancienne technologie et de remettre une lampe incandescente à visser lors du remplacement de l'ancienne lampe.

La localisation des nouveaux luminaires n'étant pas modifiée, le choix est limité et, dans la plupart des cas, on aura recours à des plafonniers ou à des luminaires suspendus.

En ce qui concerne la détermination des puissances installées et du confort visuel, on se référera aux méthodes explicitées au § 6.1.1 (p. 38). La mesure de l'éclairement étant difficilement réalisable sans appareillage spécifique, seule la méthode de la puissance sera appliquée.

La conversion des éclairages à atteindre sur la base de cette dernière méthode revient en fait à conseiller, pour des luminaires énergétiquement efficaces, les puissances indiquées au tableau 12.

Tableau 12 Puissance conseillée pour une installation munie de luminaires efficaces.

Pièce et activité	Puissance conseillée
Hall d'entrée, couloirs et escaliers	2 - 3 W/m ²
Toilettes	6 - 10 W/m ²
Salle de bains	6 - 9 W/m ²
Cuisine	6 - 12 W/m ² (*)
Séjour, salon	3 - 6 W/m ²
Salle à manger	3 - 5 W/m ²
Chambres	3 - 5 W/m ²
Buanderie, débarras, cave, garage, etc.	2 - 3 W/m ²

(*) La puissance dans la cuisine peut être réduite si l'on travaille avec des luminaires éclairant spécifiquement le plan de travail (et donc placés plus bas).

Il peut être intéressant d'opter pour des luminaires avec interrupteur intégré lorsqu'un éclairage spécifique de la tâche est préconisé. C'est le cas, par exemple, du luminaire placé au-dessus du plan de travail de la cuisine. L'utilisation d'un interrupteur distinct permet de n'allumer que le luminaire nécessaire au moment précis où un important niveau d'éclairement y est requis.

L'utilisation de luminaires intégrant un système de détection de présence peut également avoir tout son intérêt, notamment dans certains locaux tels que les couloirs, les cabinets de toilette, etc. Les interrupteurs seront dans ce cas condamnés, bien qu'il existe des détecteurs de présence qui peuvent être utilisés et montés à la place d'un interrupteur sans aucune modification du câblage électrique.

9.2.2 EXEMPLE DE REMPLACEMENT DES LUMINAIRES

Les situations que nous présentons ici sont typiques d'une opération de remplacement des luminaires pour lesquels les points lumineux ont été conservés (fils sortant du plafond).

9.2.2.1 LA CUISINE

Deux luminaires munis de deux lampes fluocompactes à ballast externe de 11 W ont été fixés au plafond pour assurer l'éclairage d'ambiance en lieu et place des deux lampes de 60 W initiales.

L'ancien luminaire (tube fluorescent de 36 W) destiné à l'éclairage du plan de travail a été remplacé par un luminaire muni d'un tube de 18 W et d'un interrupteur individuel.

Cette intervention a permis de réduire la puissance installée des lampes de 156 à 62 W – soit une diminution de plus de 50 % –, tout en assurant un meilleur confort visuel (580 lux sur le plan de travail et 350 lux dans le reste de la cuisine) (tableau 13).

Tableau 13 Gains réalisés après remplacement des luminaires de la cuisine.

Situation	Consommation annuelle (1000 h)	Coût annuel
Avant remplacement	156 kWh	26,5 €
Après remplacement	62 kWh	10,6 €
Economie annuelle		15,9 €

9.2.2.2 LE SÉJOUR

Dans le séjour, deux luminaires équipés de tubes fluorescents circulaires d'une puissance de 55 W ont été posés en applique au plafond en lieu et place des lampes à incandescence de 100 W. La pièce étant relativement grande, il n'a pas été facile de réaliser un éclairage uniforme et agréable avec seulement deux points lumineux. C'est pour cette

raison que des luminaires présentant une courbe de distribution très extensive ont été choisis.

Les luminaires étant équipés d'un ballast électronique, la puissance totale de l'installation est de l'ordre de 110 W pour un local d'une surface de 26 m², soit une densité de puissance de 4,2 W/m². Cette puissance installée est très faible comparativement à une installation fournissant le même éclairage (175 lux) avec des lampes incandescentes (200 W) ou halogènes (entre 600 et 1000 W) (tableau 14).

Tableau 14 Gains réalisés après remplacement des luminaires du séjour.

Deux lampes incandescentes de 100 W	Consommation annuelle (1000 h)	Coût annuel
Avant remplacement	200 kWh	34,0 €
Après remplacement	110 kWh	18,7 €
Economie annuelle		15,3 €
Deux lampes halogènes de 300 W	Consommation annuelle (1000 h)	Coût annuel
Avant remplacement	600 kWh	102,0 €
Après remplacement	110 kWh	18,7 €
Economie annuelle		83,3 €

10 CONCLUSIONS

La maîtrise de la consommation énergétique est un défi majeur des années à venir pour tous les secteurs et domaines d'activités. Si, dans le secteur tertiaire, la prise de conscience commence à être effective, trop peu d'actions sont entreprises au niveau du marché domestique. L'éclairage des logements continue d'être responsable d'un important gaspillage énergétique, alors que des solutions efficaces existent et sont, pour la plupart, déjà disponibles sur le marché. Pour qu'elles se généralisent, il importe que tous les acteurs, du concepteur à l'utilisateur, soient conscients du potentiel et des possibilités explicitées dans ce guide.

C'est pourquoi, en guise de conclusion, nous soulignons ici les lignes générales de conduite à adopter et mettons en évidence les pièges à éviter afin de créer une installation d'éclairage efficace, confortable et esthétique dans un logement.

- La technologie des lampes est le principal facteur d'efficacité d'une installation. Choisir des luminaires équipés de lampes efficaces est le point de départ de toute installation sobre et performante. Ensuite seulement, il faudra prendre en compte l'efficacité du luminaire ainsi que le type d'éclairage (direct, indirect, etc.). Il sera donc préférable d'utiliser une lampe fluorescente dans un luminaire au rendement optique moyen que d'installer une lampe incandescente dans un luminaire à haut rendement optique.
- L'opération de remplacement des lampes est une excellente manière de réduire la puissance installée et donc la consommation énergétique de l'installation d'éclairage. Toutefois, il importe de veiller au confort visuel, car trop souvent la réduction de puissance va de pair avec une réduction du flux lumineux.
- Lors du choix d'un luminaire, il est utile d'opter pour un modèle équipé d'un culot spécial (à broche, par exemple) n'acceptant que des lampes efficaces (fluorescentes ou fluocompactes). On

s'assure ainsi que l'efficacité du système mis en place ne sera pas altérée lors du remplacement des lampes. *A contrario*, choisir un luminaire avec une lampe halogène à culot spécifique (luminaire halogène indirect, par exemple) empêchera l'utilisation de lampes plus efficaces, ce qu'il faut éviter.

Les solutions de remplacement des luminaires et la réalisation de nouvelles installations d'éclairage sont les deux seuls types d'interventions qui conduisent avec certitude à un accroissement important du confort visuel et à une maîtrise durable de la consommation énergétique.

Si différentes tâches nécessitant une acuité visuelle doivent être exécutées dans un même local, une gestion différenciée des luminaires (allumage, extinction, gradation, etc.) est la solution idéale. Cela peut être réalisé en installant, par exemple, différentes boucles électriques ou un système de gestion centralisé et adressable. Ce type de gestion permet une augmentation du confort visuel tout en assurant un contrôle de la consommation énergétique.

- Les diodes électroluminescentes (LED) sont aujourd'hui en plein développement. De par leur luminance et leur durée de vie, elles conviennent parfaitement à l'éclairage de signalisation, d'évacuation et à l'éclairage extérieur, où elles sont de plus en plus utilisées.

Malgré le fait que leur rendement lumineux soit très prometteur, elles restent moins efficaces que des sources lumineuses fluorescentes et ne peuvent, à l'heure actuelle, être utilisées de manière générale pour assurer un éclairage fonctionnel.

Combinées à une optique efficace, elles sont toutefois de plus en plus répandues dans les applications de mise en lumière où leur petite taille permet un très bon contrôle du flux lumineux.

BIBLIOGRAPHIE

1. Bodart M. et De Herde A.
Guide d'aide à l'utilisation de l'éclairage artificiel en complément à l'éclairage naturel. Namur, SPW, Département de l'Energie (ex-DGTRE), 1999.
2. Bureau de normalisation
NBN EN 12464-1 Lumière et éclairage. Eclairage des lieux de travail. Partie 1 : lieux de travail intérieur. Bruxelles, NBN, 2004.
3. Centre scientifique et technique de la construction
La fin des lampes à incandescence ? Exigences et impact de la nouvelle réglementation européenne pour l'éclairage domestique. Bruxelles, CSTC, Monographie, n° 26, 2010.
4. Decat G., Meyen G. et Van Tichelen P.
Evaluatie van het elektrisch en magnetisch veld van spaarlampen. Brussel, étude menée par le VITO (Vlaamse instelling voor technologisch onderzoek) pour le compte du LNE (Département Leefmilieu, Natuur en Energie van de Vlaamse overheid), novembre 2007.
5. D'Herdt P. et Deneyer A.
La classification des luminaires. Bruxelles, Centre scientifique et technique de la construction, Les Dossiers du CSTC, Cahier n° 15, n° 2/2009.
6. Illuminating Engineering Society of North America
Design Criteria for Lighting Interior Living Space. New York, The Illuminating Engineering Society of North America, 1995.
7. Illuminating Engineering Society of North America
The Lighting Handbook, Reference & application. New York, M.S. Rea, The Illuminating Engineering Society of North America, Ninth edition, 2000.
8. Reiter S. et De Herde A.
L'éclairage naturel des bâtiments. Namur, SPW, Département de l'Energie (ex-DGTRE), 2001.
9. Service public de Wallonie
Energie +, un outil d'aide à la décision pour le responsable Energie. Namur, SPW, Département de l'Energie (ex-DGTRE), 2008.
10. Whitehead R.
Residential Lighting : A practical Guide. Hoboken (New Jersey), John Wiley & Sons, 2004.

Editeur responsable : Jan Venstermans

CSTC

BRUXELLES

Siège social
Rue du Lombard 42
B-1000 Bruxelles

direction générale
tél. 02/502 66 90
fax 02/502 81 80
e-mail : info@bbri.be
site web : www.cstc.be

ZAVENTEM

Bureaux
Lozenberg 7
B-1932 Sint-Stevens-Woluwe (Zaventem)
tél. 02/716 42 11
fax 02/725 32 12

avis techniques - interface et consultation
communication
gestion - qualité - techniques de l'information
développement - valorisation
agrément techniques
normalisation

publications
tél. 02/529 81 00
fax 02/529 81 10

LIMELETTE

Station expérimentale
Avenue Pierre Holoffe 21
B-1342 Limelette
tél. 02/655 77 11
fax 02/653 07 29

recherche et innovation
laboratoires
formation
documentation
bibliothèque

HEUSDEN-ZOLDER

Centre de démonstration et d'information
Marktplaats 7 bus 1
B-3550 Heusden-Zolder
tél. 011/22 50 65
fax 02/725 32 12