

**Agence Nationale pour le Développement
des Energies Renouvelables et de l'Efficacité Energétique**



Manuel technique de l'éclairage

Sommaire exécutif

La problématique de l'éclairage des bâtiments est assez complexe. Les préférences des usagers varient fortement en fonction de variables tant objectives et quantifiables (besoin de plus d'éclairage pour les personnes âgées) que socioculturelles et subjectives (préférence pour un type de luminaire, pour une température de couleur, etc.). En conséquence, les architectes et les usagers peinent à installer un éclairage efficace, confortable, et esthétique dans les bâtiments.

L'ADEREE a de ce fait développé ce guide, qui vise à offrir une aide à la conception et au choix de l'installation d'éclairage. Il aborde notamment les aspects relatifs aux technologies d'éclairage efficace existantes, au choix des équipements, leur dimensionnement et leur gestion.

Ce guide présente également d'une façon simple et pratique, les outils d'aide à la décision pour le choix des systèmes d'éclairage dans le résidentiel et le tertiaire, ainsi que pour la mise à niveau des installations existantes.

Il est à noter par exemple que l'adoption des lampes à basse consommation permet une réduction de la consommation allant jusqu'à 30% par rapport aux lampes classiques. L'installation des détecteurs de présence permet quant à elle une réduction de 25% à 75% selon l'usage du bâtiment.

Introduction

Face aux défis résultant de l'accroissement rapide de la consommation d'énergie au Maroc, dont plus de 96 % des besoins énergétiques sont importés de l'extérieur, l'Efficacité Énergétique est devenue un des sujets clés dans tous les domaines d'activité, y compris le secteur de l'habitat. 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.

Le Maroc a fixé pour objectif de réaliser une économie d'énergie de 12 % à l'horizon 2020 et de 15 % à l'horizon 2030, à travers la mise en place d'un plan d'Efficacité Énergétique dans les différents secteurs économiques. Le bâtiment représente environ 25 % de la consommation totale du Maroc dont 18 % pour le résidentiel et 7 % pour le tertiaire.

La problématique de l'éclairage des bâtiments est assez complexe. En effet il n'existe actuellement aucune norme ni recommandation quant aux niveaux d'éclairement à atteindre dans les habitations. De plus, les préférences des usagers 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 bâtiments.

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'esthétique – et propose des solutions pour chaque type de local.



Table des matières

1.	Éclairage: notions fondamentales.....	6
1.1	Rappel de définitions.....	6
1.2	Composition d'un appareil d'éclairage.....	7
2.	Équipements d'éclairage.....	9
2.1	Caractéristiques des lampes.....	9
2.2	Description des différents types de lampes à usage domestique.....	11
2.3	La décharge dans un gaz.....	12
2.4	L'électroluminescence.....	14
2.5	Tableau comparatif.....	16
2.6	Conclusion.....	16
3.	Caractéristiques des luminaires.....	17
3.1	Rendement du luminaire.....	17
3.2	Distribution lumineuse du luminaire.....	17
3.3	Types d'éclairage.....	18
3.4	Choix du type de lampe.....	19
3.5	Choix des ballasts.....	21
3.6	Choix des luminaires – Critères généraux.....	22
3.7	Règles et recommandations.....	25
4.	Gestion de l'éclairage.....	27
4.1	Principe d'action.....	27
4.2	Choix du mode de gestion de l'éclairage.....	28
4.3	Mise en garde.....	28
4.4	Zonage et sensibilisation des utilisateurs.....	29
4.5	Temps minimum d'absence avant coupure.....	29
4.6	Stratégie de contrôle.....	29
5.	Optimisation de l'intensité de l'éclairage.....	33
5.1	Niveau d'éclairage recommandé.....	33
5.2	Réduire le nombre de lampes.....	35
5.3	Réduire la puissance = choisir un équipement économique.....	35
5.4	Réduire le temps d'éclairage = gestion du temps.....	35
5.5	Limiter l'éclairage artificiel en fonction de l'éclairage naturel.....	35

6.	Dimensionnement par la méthode de l'utilance.....	36
6.1	Zone de calcul	36
6.2	Indice du local: K.....	36
6.3	Facteur de suspension: J.....	37
6.4	Éclairage moyen minimum.....	37
6.5	Uniformité	37
6.6	Coefficient de réflexion des parois.....	37
6.7	Facteur de maintenance.....	39
6.8	Classe des luminaires	39
6.9	Détermination de l'utilance	40
6.10	Flux lumineux à fournir.....	41
6.11	Nombre de luminaires.....	41
6.12	Disposition des luminaires.....	41
6.13	Exemple de calcul: salle de classe	41
7.	Dimensionnement par la méthode de la puissance.....	43
7.1	Coefficient de majoration de la puissance installée pour l'éclairage intérieur	43
7.2	Méthode générale de calcul de la puissance électrique admissible pour l'éclairage intérieur (PAEI) (Méthode déterministe).....	44
7.3	Méthode simplifiée de calcul de la puissance électrique admissible pour l'éclairage intérieur (PAEI) (Méthode statistique).....	46
7.4	Puissance électrique admissible pour l'éclairage extérieur (PAEE).....	48
	Conclusion.....	48



Liste des illustrations

Figure 1.	Sensibilité de l'œil et couleur en fonction de la longueur d'onde.	6
Figure 2.	Flux lumineux	6
Figure 3.	Éclairage	6
Figure 4.	Intensité lumineuse	7
Figure 5.	Luminance	7
Figure 6.	Étiquette énergie	9
Figure 7.	Température de couleur	10
Figure 8.	Codification de l'IRC et de la température de couleur	10
Figure 9.	Différents types de lampes à incandescence « classiques »	11
Figure 10.	Différents types de lampes halogènes	12
Figure 11.	Différents types de lampes à ballast intégré	13
Figure 12.	Différents types de lampes à ballast externe	14
Figure 13.	Différents types de lampes et diodes électroluminescentes (LED).	14
Figure 14.	Distribution lumineuse des luminaires	17
Figure 15.	Éclairage d'un objet sous deux types de sources différentes	20
Figure 16.	Température de couleur et impact sur l'ambiance lumineuse	20
Figure 17.	Diagramme de Kruthof: niveau d'éclairage en fonction de la température de couleur	21
Figure 18.	Différents types de ballasts pour lampes fluorescentes	22
Figure 19.	Types de montage des luminaires	23
Figure 20.	Luminaires et climatisation	25
Figure 21.	Extraction d'air au travers des luminaires pour lampes T5	25
Figure 22.	Bonnes pratiques de positionnement des luminaires	26
Figure 23.	Commande des luminaires directe ou par bus	28
Figure 24.	Télécommande pour luminaire	29
Figure 25.	Horloge de programmation d'éclairage	29
Figure 26.	Détecteur de présence	30
Figure 27.	Minuterie	30
Figure 28.	Gestion de l'éclairage en fonction des fenêtres	31
Figure 29.	Zone de calcul de l'éclairage	36
Figure 30.	Dimensions du local, plan des luminaires et plan de travail	36
Figure 31.	Disposition des luminaires	42
Figure 32.	Densité de puissance d'éclairage en fonction de l'indice du local et du niveau d'éclairage	46

Liste des tableaux

Tableau 1	Codification de l'IRC et de la température de couleur	11
Tableau 2	Technologie et couleur des leds	14
Tableau 3	Comparaison des lampes	16
Tableau 4	Éclairage direct, indirect et mixte	18
Tableau 5	Comparaison de cinq systèmes d'éclairage	18
Tableau 6	Comparaison des lampes pour la fourniture d'environ 10000 lm, pendant 20000 heures	19
Tableau 7	Recommandations type (Association Française (A.F.E.) et Promotelec)	21
Tableau 8	Caractérisation d'un luminaire	23
Tableau 9	Rendements minimums recommandés	23
Tableau 10	Rendement et espacement des luminaires	25
Tableau 11	Critères de choix du mode de gestion de l'éclairage	28
Tableau 12	Rentabilité en fonction de l'orientation et de la position des locaux	32
Tableau 13	Niveau d'éclairage recommandé dans les logements d'habitation	33
Tableau 14	Niveau d'éclairage recommandé dans les logements tertiaires	34
Tableau 15	Indice du local: K	37
Tableau 16	Facteur de suspension: J	37
Tableau 17	Facteurs de réflexion	38
Tableau 18	Codification des facteurs de réflexion	38
Tableau 19	Facteurs de réflexion par défaut	39
Tableau 20	Facteur d'empoussièrement	39
Tableau 21	Facteur de dépréciation	39
Tableau 22	Facteur de maintenance fm	39
Tableau 23	Tableau de détermination de l'utilance: classe C et J = 0	40
Tableau 24	Flux lumineux à fournir	41
Tableau 25	Nombre de luminaires	41
Tableau 26	Flux lumineux à fournir	41
Tableau 27	Coefficient d'interdistance des luminaires	41
Tableau 28	Pertes maximales des ballasts	43
Tableau 29	Puissance maximale d'entrée des circuits ballast-lampe	43
Tableau 30	Valeur du coefficient de majoration (Cm)	44
Tableau 31	Calcul de la DPEI	45
Tableau 32	Densité de puissance électrique admissible pour l'éclairage intérieur des bâtiments	47
Tableau 33	Densité de puissance électrique admissible pour l'éclairage extérieur des bâtiments	48

1. Éclairage : notions fondamentales



Ce chapitre présente la terminologie et donne une définition des unités de photométrie nécessaires pour comprendre les concepts abordés dans le guide.

1.1 Rappel de définitions

Les grandeurs photométriques et leurs unités candela, lumen et lux sont dites « subjectives » car elles dépendent de la vision humaine. Elles sont définies par rapport à la vision d'un « observateur de référence ». La Commission Internationale de l'Éclairage (CIE) a modélisé la sensibilité de l'œil pour définir une courbe d'efficacité lumineuse spectrale.

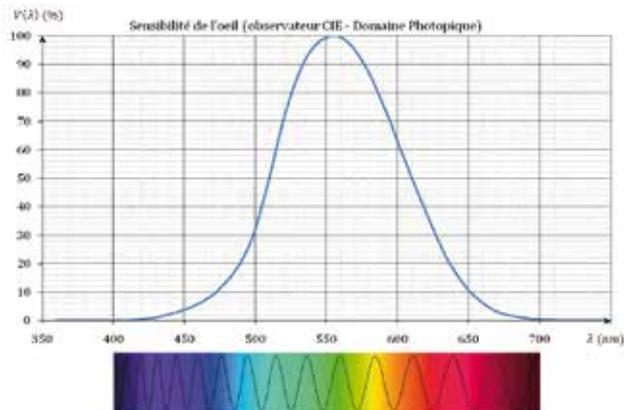


Figure 1. Sensibilité de l'œil et couleur en fonction de la longueur d'onde.

1.1.1 Flux lumineux

On appelle flux lumineux la quantité totale de lumière émise par une source lumineuse dans toutes les directions de l'espace. Il s'exprime en lumens (symbole : lm).



Figure 2. Flux lumineux

Le lumen est donc une unité d'énergie et il est d'une certaine manière la « puissance lumineuse » qu'une source émet. C'est 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.

Au maximum de sensibilité de l'œil, soit une couleur vert/jaune de longueur d'onde 555 nm, 1 lumen est égal à $1,5 \cdot 10^{-3}$ Watt.

1.1.2 Éclairement

L'éclairement est le rapport entre le flux lumineux reçu par un élément de la surface et l'aire de cet élément. Il est exprimé en lux (symbole : lx) ou lumen/m² (lm/m²).



Figure 3. Éclairement

L'éclairage est mesuré à l'aide d'un luxmètre. Les valeurs rencontrées à l'extérieur varient considérablement : de 0,2 lux sous une nuit de pleine lune à plus de 100 000 lux sous un soleil d'été.

1.1.3 Intensité lumineuse

L'intensité lumineuse est une grandeur qui caractérise l'éclat d'une source ponctuelle de lumière. Elle correspond au flux lumineux émis par unité d'angle solide dans une direction donnée et s'exprime en candela (symbole : cd) ou lumen/stéradian.



Figure 4. Intensité lumineuse

1.1.4 Luminance

La luminance d'une source est le rapport entre l'intensité lumineuse émise dans une direction et la surface apparente de la source lumineuse dans la direction considérée. La luminance s'exprime en candela par mètre carré (cd/m^2).



Figure 5. Luminance

La luminance est la seule grandeur réellement perçue par l'œil humain qui reçoit des valeurs de luminance allant d'un millième de cd/m^2 à 100 000 cd/m^2 . C'est ce que perçoit l'œil qui observe une surface éclairée.

1.2 Composition d'un appareil d'éclairage

Un appareil d'éclairage se compose de plusieurs éléments :

- la source lumineuse (la lampe) ;
- les auxiliaires (suivant la nature de la lampe) ;
- le corps du luminaire.

1.2.1 La source lumineuse

La source lumineuse (la lampe) est l'élément de base d'un appareil d'éclairage. 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 ;
- l'électroluminescence.

Ces technologies seront développées au chapitre 2.

1.2.2 Les auxiliaires

Plusieurs types de lampes requièrent l'usage d'auxiliaires afin de fonctionner correctement. Ces auxiliaires sont classés en deux catégories principales :

- les transformateurs ;
- les ballasts (avec ou sans starter).

Le transformateur est généralement utilisé en combinaison avec des lampes halogènes à très basse tension (TBT). Il en existe deux types : ferromagnétique et électronique. Le rôle du transformateur est de fournir à la lampe une tension plus faible (généralement 12 Vac 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 basse tension du transformateur).

Les diodes électroluminescentes (DEL, en anglais LED) fonctionnent également en TBT, mais nécessitent un

transformateur associé à un redresseur car elles fonctionnent en courant continu. Certaines lampes DEL intègrent transformateur et redresseur de façon indissociable.

Le starter et le ballast sont utilisés en combinaison avec les lampes à décharge : tubes fluorescents, lampes à vapeur de sodium, lampes à vapeur de mercure, lampes aux halogénures métalliques. 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.

La plupart des lampes fluocompactes intègrent le ballast électronique de façon indissociable.

1.2.3 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 ou touristiques de par sa forme, ses couleurs et ses matériaux.

Il peut arriver qu'aucun corps de luminaire ne soit présent : c'est le cas de l'ampoule nue fixée sur un culot simple.





2. Équipements d'éclairage



Cette partie présente les différents types de lampes et de luminaires que l'on peut retrouver dans le secteur résidentiel et tertiaire, et précise les avantages et inconvénients de chacun d'eux.

2.1 Caractéristiques des lampes

Quels sont les différents paramètres qui permettent de juger de la qualité d'une lampe? Il s'agit :

- de l'efficacité lumineuse ;
- de la température de couleur ;
- de l'indice de rendu des couleurs ;
- de la durée de vie.

2.1.1 Efficacité lumineuse

L'efficacité lumineuse est le rapport entre le flux lumineux émis par la lampe et la puissance électrique consommée. L'unité d'efficacité lumineuse est le lumen/Watt (lm/W).

Exemples d'efficacité lumineuse

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

Habituellement une étiquette énergie figure sur l'emballage des lampes. Elle mentionne l'efficacité de la lampe par un code couleur et une lettre: 'A' est la plus efficace et 'G' la moins efficace.

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

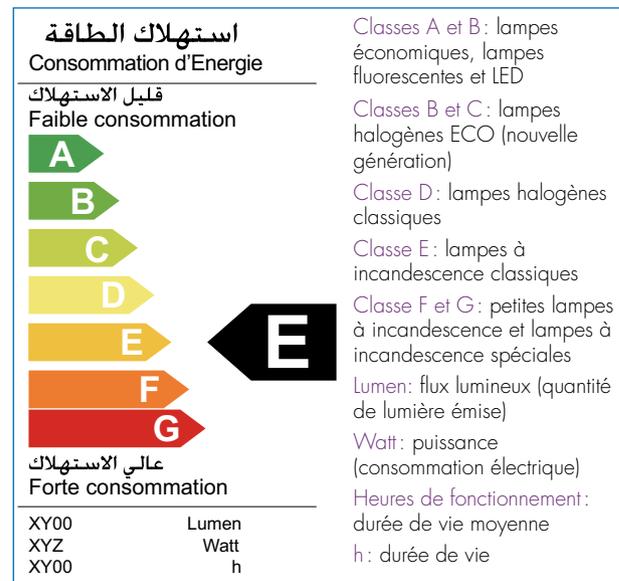


Figure 6. Étiquette énergie



2.1.2 Température de couleur

La température de couleur d'une source lumineuse est définie comme la couleur de la lumière émise et donc donne une indication sur l'ambiance lumineuse ainsi 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.

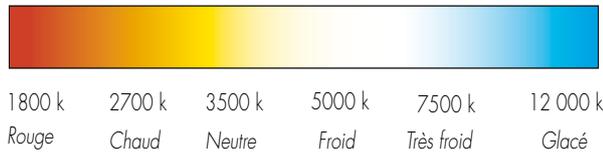


Figure 7. Température de couleur

On distingue :

- les couleurs froides (tirant vers le bleu) lorsque la température de couleur est élevée, supérieure à 5 000 K.
- les couleurs chaudes (tirant vers le rouge orange) lorsque cette température est inférieure à 3 300 K.

Sur les tubes fluorescents et les lampes fluocompactes on peut trouver la mention cool white/lumière du jour, qui correspond approximativement à 4 000 K, ou warm white/blanc chaud, qui correspond approximativement à 3 000 K.

Exemple de températures de couleur

Ampoule incandescente classique: ~ 2 700 K

Lampe halogène: ~ 3 000 K

Lampe fluorescente: de 2 700 à 6 500 K

Lumière naturelle: de 2 000 à plus de 10 000 K

2.1.3 L'indice de rendu des couleurs (IRC)

Cet indice définit l'aptitude d'une lampe à nous faire distinguer toutes les couleurs. Il est mesuré 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 (donc toutes les longueurs d'onde) du spectre visible, restituant ainsi la couleur réelle des objets. A contrario, une source monochromatique émet une lumière ne contenant qu'une seule couleur (une seule longueur d'onde) et a un IRC voisin de zéro.

Exemple d'indices de rendu des couleurs

- lumière du jour: 100
- lampe à incandescence (classique et halogène): ~ 100
- lampe fluorescente (en général): de 60 à 95
- lampe au sodium haute pression (éclairage routier à tendance monochromatique, exemple même de source lumineuse à mauvais indice de rendu des couleurs): < 25

2.1.4 Codification

L'IRC et la température de couleur sont souvent indiqués sur les lampes à l'aide d'un code de trois chiffres qui combine l'IRC et la température de couleur. Le premier chiffre désigne l'IRC.

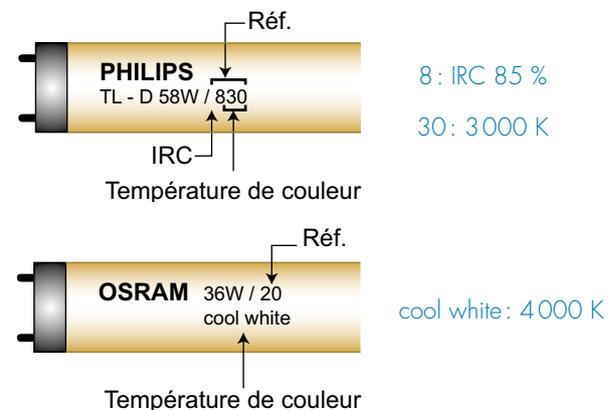


Figure 8. Codification de l'IRC et de la température de couleur

Tableau 1 Codification de l'IRC et de la température de couleur

	2700 K	3000 K	3500 K	4000 K	5000 K	6500 K	8000 K
IRC 50-76	-	530	-	640/740	-	765	-
IRC 85	827	830	835	840	-	860/865	880
IRC > 90	-	930	-	940	950/954	965	-

2.1.5 La durée de vie

Elle est définie comme de la durée de vie moyenne d'un lot de lampes: le nombre d'heures de fonctionnement de ces lampes avant que 50 % d'entre elles ne soient hors-service.

Exemple de durées de vie

- lampe à incandescence classique: 1 000 h
- spot halogène à basse tension: 2 000 à 4 000 h
- lampe fluocompacte: 6 000 à 12 000 h
- tube fluorescent: 16 000 à 20 000 h

2.2 Description des différents types de lampes à usage domestique

Les lampes sont le premier élément déterminant d'une installation d'éclairage. Son efficacité dépend 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 :

- lampes à incandescence, classique et halogène;
- lampes à décharge, tubes fluorescents et lampes fluocompactes;

- lampes électroluminescentes, diodes électroluminescentes DEL (light emitting diode LED).

2.2.1 L'incandescence

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

2.2.2 Les lampes à incandescence 'classiques'

Ces lampes sont parmi les plus utilisées dans les applications résidentielles. Elles existent sous des formes et des tailles diverses.



Figure 9. Différents types de lampes à incandescence « classiques »

Avantages et inconvénients

Les lampes à incandescence 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.



Dans certains pays ou zones économiques (CE), les nouvelles réglementations proscrivent l'utilisation de ce type de lampes.

2.2.3 Les lampes à incandescence halogènes

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



Figure 10. Différents types de lampes halogènes

La différence majeure entre les lampes à incandescence 'classiques' et les lampes à incandescence halogènes 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. La température du filament peut

être plus élevée que pour une lampe «classique» ' ce qui conduit à augmenter le rendement énergétique de 30 %.

Avantages et inconvénients

Comme les lampes à incandescence 'classiques', les lampes halogènes possèdent un très bon indice 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.

2.3 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 de la lumière.

2.3.1 Les tubes fluorescents

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. Cette décharge 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 ces collisions est transformée en lumière visible par une 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, 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, de technologie plus récente, qui présente plusieurs avantages :

- meilleure efficacité lumineuse du tube ;
- mode de fonctionnement à fréquence plus élevée qui élimine tout phénomène de scintillement tel qu'observé avec les ballasts ferromagnétiques ;
- version spécifique compatible avec un variateur (dimnable). Elle offre la possibilité de régler précisément la quantité de lumière émise par le tube.

Dimensions : trois grandes classes existent :

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

Indice de rendu des couleurs : il existe 3 familles de tubes :

- les tubes « standard », avec un rendu des couleurs moyen, pour éclairer cave, garage et locaux d'usage peu fréquent ;
- les tubes « 3 bandes », avec un très bon rendu des couleurs, portant les codes 827, 830, 840... pour la salle de bains, le bureau ou l'éclairage de fond d'une cuisine ou d'un salon. Ce sont eux qui ont la meilleure Efficacité Énergétique ;
- les tubes « cinq bandes » dotés d'un excellent rendu des couleurs, portant les codes 930, 940, 950 pour pratiquer une activité où la distinction précise des couleurs est nécessaire : dessin, couture, bricolage.

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.

Avantages et inconvénients

Les principales qualités des tubes fluorescents résident dans leur grande Efficacité Énergétique et leur flux lumineux élevé.

Leur inconvénient majeur réside dans leur grande taille, ce qui ne leur permet pas d'être largement utilisés dans le logement, où les tubes compacts dominent.

2.3.2 Les lampes fluocompactes (CFL) "économiques".

Les lampes les plus fréquemment utilisés dans le bâtiment sont les lampes fluocompactes, qui sont en réalité des tubes fluorescents miniaturisés et recourbés. Ces lampes sont principalement utilisées comme solution de substitution aux lampes à incandescence.

Il existe deux grandes familles de lampes fluocompactes :

- les lampes à ballast intégré qui ont un culot identique à celui des lampes à incandescence, de manière à permettre un remplacement aisé de celles-ci ;



Figure 11. Différents types de lampes à ballast intégré



- les lampes fluocompactes à ballast externe, qui possèdent un culot bien spécifique et nécessitent un ballast externe pour fonctionner.



Figure 12. Différents types de lampes à ballast externe

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.

Leurs inconvénients majeurs sont 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 critiquées en raison de leur rayonnement électromagnétique. 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 est supérieure à 30 centimètres.

2.4 L'électroluminescence

L'électroluminescence est un procédé de production de lumière qui existe depuis de nombreuses années sous la

forme de 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.

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

Tableau 2 Technologie et couleur des leds

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

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.



Figure 13. Différents types de lampes et diodes électroluminescentes (LED).

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.

Il est maintenant établi que les LED sont une technologie d'avenir dans le domaine de l'éclairage général. On estime que d'ici à 2020, les LED pourraient représenter 75 % du marché de l'éclairage.

Le développement de la technologie des LED, un composant semi-conducteur, suit une loi analogue à la loi de Moore qui est appelée loi de Haitz, du nom de Roland Haitz d'Agilent Technologies. Elle stipule que les performances des LED doublent tous les 36 mois, alors que les prix sont divisés par 10 tous les dix ans.

Le rendement lumineux des LED blanches de dernière génération est supérieur à celui des lampes à incandescence mais aussi à celui des lampes fluocompactes ou encore de certains modèles de lampes à décharge. Le spectre de la lumière émise est presque intégralement contenu dans le domaine du visible (les longueurs d'onde sont comprises entre 400 nm et 700 nm). Contrairement aux lampes à incandescence et aux lampes à décharge, les diodes électroluminescentes n'émettent quasiment pas d'infrarouge.

Avantages et inconvénients

Les LED présentent l'avantage d'avoir une très longue durée de vie et une résistance aux chocs remarquable. Étant très petites, elles sont facilement combinables avec une optique et s'intègrent aisément dans diverses applications. Elles peuvent générer une gamme impressionnante de couleurs saturées et, du fait de leur contrôle électronique, offrent la possibilité de créer un éclairage dynamique aux couleurs changeantes.

L'application généralisée des LED est toutefois encore limitée 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.

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 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.



2.5 Tableau comparatif

Le tableau suivant donne les caractéristiques des différentes lampes décrites ci-dessus :

Tableau 3 Comparaison des lampes							
	Puissance (W)	Flux lumineux (lm)	Efficacité lumineuse (lm/W)	Classe éner.	Température de couleur	IRC	Duré de vie (h)
Lampes à incandescence classique	25 - +100	200 - 1 900	5 - 19	E - G	2700	100	1 000
Lampes à incandescence halogènes	5 - 500	50 - 10000	10 - 12 (30 pour les IRC)	B - G	3000	100	2000 - 5000
Tubes fluorescents	15 - 58	1300-5000	60 - 105	A	2700 - 6700	80 - 95	8000 - 12000
Lampes économiques ou lampes fluocompactes (CFL)	ballast intégré	100 - 6000	35 - 80	A	2700 - 6500	80 - 90	6000 - 10000
	ballast externe						5 - +80
Diodes électroluminescentes (DEL)	0,007 - 15	1,5 - 400	20 - 30	B - D	2700 - 6500	50 - 80	5000 - 100000

2.6 Conclusion

De ce descriptif il ressort que les lampes à décharge fluorescentes à ballast électronique séparé doivent être privilégiées pour réaliser un éclairage à haute Efficacité Énergétique : tubes linéaires, circulaires ou lampes fluocompactes. Les lampes à décharge fluocompactes à ballast interne sont à privilégier lors d'un remplacement dans un luminaire existant.

Les lampes à incandescence classiques et halogènes sont, quant à elles, déconseillées en raison de leur faible Efficacité Énergétique. 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 autres sources halogènes.

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. Caractéristiques des luminaires



Rappelons tout d'abord la définition de quelques-unes de leurs caractéristiques.

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 (Φ .luminaire) au flux lumineux émis par ses lampes (Φ .lampe), soit :

$$Lor = \frac{\Phi \text{ luminaire}}{\Phi \text{ lampe}}$$

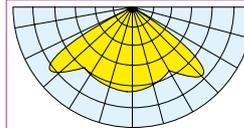
La direction de la lumière émise par le luminaire est très importante. En effet, certains luminaires émettent une partie (ou la totalité) de la lumière vers le haut. On considère donc séparément le rendement inférieur et le rendement supérieur d'un luminaire. Ceux-ci sont définis comme étant le rapport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

3.2 Distribution lumineuse du luminaire

Les luminaires ont pour principale fonction de distribuer dans l'espace la lumière émise par la source. Cette distribution lumineuse est généralement spécifiée dans les catalogues techniques au moyen d'un diagramme polaire reprenant les distributions perpendiculaires et parallèles à l'axe principal du luminaire. .

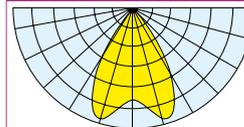
Trois types de distribution sont identifiés comme suit :

Distribution extensive



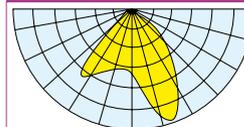
* Faisceau lumineux large, donnant un éclairage relativement uniforme.

Distribution intensive



* Faisceau lumineux étroit, donnant un éclairage d'accentuation

Distribution asymétrique



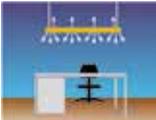
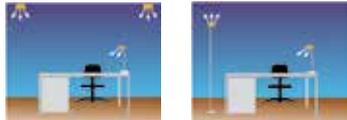
* Éclairage des surfaces verticales comme des murs ou des tableaux.

Figure 14. Distribution lumineuse des luminaires



3.3 Types d'éclairage

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

Tableau 4 Éclairage direct, indirect et mixte				
Types d'éclairage	Éclairage direct	Éclairage indirect	Éclairage mixte (direct Indirect)	Éclairage à deux composantes
Description	 <p>La lumière est projetée directement sur l'élément à éclairer. De ce fait, les puissances installées nécessaires au confort visuel sont généralement faibles.</p>	 <p>Cet éclairage 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. La quantité d'éclairement obtenue dans le local est toutefois fortement dépendante du coefficient de réflexion des parois utilisées comme surfaces de réflexion.</p>	 <p>Ce type d'éclairage réunit les deux types d'éclairage précédents. L'éclairage direct assure l'éclairement de base, génère le contraste et crée le relief dans le local. L'éclairage indirect améliore l'uniformité de l'éclairement.</p>	 <p>Dans ce cas, 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.</p>

Choix du système d'éclairage : direct ou indirect ? Comparaison de cinq systèmes d'éclairage pour un même niveau d'éclairement au niveau du plan de travail : 400 lux

Tableau 5 Comparaison de cinq systèmes d'éclairage					
Éclairement du plan de travail	400	400	400	400	400
Type de lampes	tubes fluo	iodures métalliques	tubes fluo et/ou fluocompactes	tubes fluo + fluocompactes	fluocompactes + iodures métalliques
Investissement	faible	très élevé	élevé	moyen	élevé
Puissance installée	9 – 14 W/m ²	16 – 21 W/m ²	7 – 12 W/m ²	7 – 10 W/m ²	13 – 17 W/m ²
Coût d'exploitation	moyen	très élevé	moyen	moyen	élevé

Commentaires :

- Seuls les trois premiers systèmes respectent le critère d'Efficacité Énergétique "2,5 W/m²/100 lux" (ou 10 W/m² pour 400 lux) ;
- seuls les deux premiers systèmes peuvent être qualifiés de fonctionnels et présentent un bon rapport rendement/coût d'investissement ;
- l'éclairage mixte, pour être efficace, doit s'utiliser avec des plafonds très clairs. Les pertes complémentaires dues à la partie indirecte de l'éclairage peuvent alors être compensées par un rendement total du luminaire mixte souvent plus important que celui d'un luminaire direct ;
- l'éclairage indirect ne présente jamais un très bon rendement et demande un coût d'investissement assez élevé. Ce type d'éclairage ne devrait être utilisé que dans des bureaux de prestige pour lesquels l'ambiance créée par l'éclairage prédomine sur sa fonctionnalité.

3.4 Choix du type de lampe

3.4.1 Éclairage général

Dans les immeubles de bureaux, le tube fluorescent est le plus souvent recommandé, du fait :

- de sa grande Efficacité Énergétique ;
- de son très bon rendu des couleurs ;
- de sa durée de vie importante ;
- de son faible coût d'investissement.

Le prix des luminaires équipés de tubes fluorescents T5 se rapproche des luminaires pour lampes T8. Étant donné leurs nombreux avantages, le tube T5 doit donc souvent être préféré.

Tableau 6 Comparaison des lampes pour la fourniture d'environ 10 000 lm, pendant 20 000 heures

Type de lampe	Incandescent	Halogène	Tube fluorescent	Fluocompact	Halogénure métallique
Efficacité Énergétique (lm/W), auxiliaires compris	13	19	87	60	66
Puissance installée (W)	8 x 100	2 x 300	2 x 58	8 x 20	1 x 150
Durée de vie (h)	1 000	2 000	16 000	10 000	12 000
Nombre de lampes pour 10 000 lm pendant 20 000 heures	160	20	2,5	16	1,7

3.4.2 Éclairage ponctuel

Lorsque l'on désire un éclairage ponctuel, la lampe fluocompacte est largement préférable à la lampe à incandescence classique ou halogène. Malgré son prix relativement élevé, la lampe fluocompacte permet, sur une durée de fonctionnement de 10 000 heures, une économie substantielle sur la facture d'électricité par rapport à une lampe à incandescence.

3.4.3 Éclairage indirect de décoration

La lampe à vapeur d'halogénure métallique de faible puissance (35 à 150 W) est compacte et sa lumière se laisse facilement focaliser. Si un flux lumineux élevé par unité est requis, elle est une alternative efficace à la lampe à incandescence et à la lampe halogène pour l'éclairage de décoration, par exemple dans les halls d'accueil et les salles d'exposition. Des luminaires indirects équipés de lampes à vapeur d'halogénure métallique de puissance moyenne (150 W, 250 W) réalisent une économie d'énergie de 70 % par rapport aux lampes halogènes.



3.4.4 Choix de l'indice de rendu des couleurs

Le prix d'achat du tube fluorescent oriente souvent le choix parmi les différents indices de rendu de couleur. Ainsi les tubes dits "standards" (type 29, 33, 129, 133, 20 ou 30 selon les marques) sont nettement moins chers à l'achat que les tubes "830 ou 840". Ils présentent cependant deux inconvénients :

- leur mauvais IRC, incompatible avec le travail de bureau ;
- une efficacité lumineuse inférieure.

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).



Sous lampe fluorescente – Ra 90



Sous lampe fluorescente – Ra < 70

Figure 15. Éclairage d'un objet sous deux types de sources différentes

À l'opposé, des lampes à rendu de couleur supérieur (IRC > 90) sont réservées aux magasins de mode, musées, laboratoires ou industries où la fidélité des couleurs est primordiale. Ces lampes sont nettement plus chères et ont une mauvaise efficacité lumineuse.

3.4.5 Choix de la température de couleur

Les normes d'éclairage laissent une certaine latitude quand au choix de la température de couleur des lampes.

En pratique, on choisira :

- des teintes froides ($t_c = 4\,000\text{ K}$) dans les locaux

de travail où les lampes sont utilisées en journée, en complément à la lumière naturelle ;

- des teintes chaudes pour l'éclairage des habitations ou assimilées ;
- des teintes froides pour des éclairagements élevés ou dans des climats chauds ;
- des teintes de couleur très froides ($t_c > 5\,000\text{ K}$), appelées également "lumière du jour" dans les locaux aveugles. En effet, proches de la lumière naturelle, elles ont un effet favorable sur le bien-être des occupants ;
- il faut éviter l'utilisation simultanée des teintes froides et des teintes chaudes, ce qui gêne l'adaptation chromatique de l'œil et crée des perturbations visuelles. Ainsi, lorsque les locaux ont un apport important de lumière naturelle, la tendance sera de choisir une température de couleur plus élevée pour éviter de trop grandes différences entre l'éclairage artificiel et naturel.



Figure 16. Température de couleur et impact sur l'ambiance lumineuse

3.4.6 Choix du spectre lumineux

Les tubes fluorescents présentent une gamme très étendue en termes de température et de rendu des couleurs, ainsi qu'en terme de spectre lumineux. Les fabricants reprennent dans leur catalogue le type d'application de leurs lampes. Il existe par exemple des lampes pour boucherie qui ont pour but d'accentuer la couleur rouge de la viande.

La notion de confort visuel met en relation deux critères : le niveau d'éclairément et la température de couleur.

Tableau 7 Recommandations type (Association Française (A.F.E.) et Promotelec)					
Locaux		Couleur		Éclairément	
Secteur	Activité type	IRC	T _{rc} (K)	Moyen (lx)	
Enseignement	salle de classe	85	3 000 – 4 000	500	
	tableau	85	3 000 – 4 000	600	
	couture	85	3 000 – 4 000	625	
	dessin d'art	90	3 000 – 4 000	625	
	dessin industriel	85	3 000 – 4 000	950	
Bureaux	bureau classique	85	4 000	500	
	bureau paysager	85	4 000	750	
	dessin technique	90	4 000 – 5 000	950	
	salle de conférences	80	3 000 – 4 000	300	
	informatique	85	4 000	20 - 500	
Magasins (vente)	alimentation	80 – 90	3 000 - 4000	500	
	épicerie fine	80 - 90	3 000 - 4000	300 - 500	
	boulangerie	80 - 90	2 700 – 3 000	300	
	boucherie, charcuterie	90 - 100	4 000 – 6 500	500 - 800	
	textile, maroquinerie	90 - 100	5 000 – 6 500	500 - 800	
	horlogerie, bijouterie	90 - 100	4 000 – 5 000	500 - 800	
	fleuriste	90 - 100	4 000 – 5 000	500	
	coiffeur, salon de beauté	90 - 100	4 000 – 5 000	500 - 750	
	Hôtellerie	hall de réception	80	3 000	300
		comptoir	80	3 000	500
salle à manger		85 - 90	3 000	300	
cuisine		85 - 90	4 000	500	
chambre et annexes		85	3 000	300	
cafétéria, salons		85	3 000	200 - 300	
Santé	circulation	80	3 000	150	
	salle de soins	85	4 000	300	
	laboratoire	90	5 000	500	
	chambre de malade	85	3 000 – 4 000	50 - 300	
	Services médicaux	90	4 000	300 - 750	
	salle d'opération	95	5 000 – 6 500	1 500	
	champ opératoire	> 95	spécifique	2 000 et plus	
	salle de repos	90	4 000	1 000	

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'éclairément. Le diagramme de Kruihof révèle une zone donnant le niveau d'éclairément optimal en fonction de la température de couleur de la source lumineuse (zone B de la figure ci-dessous). 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'éclairément apporté : l'ambiance sera irréaliste et trop chaude. Dans la zone C la température de couleur est trop élevée : l'ambiance paraît trop froide.

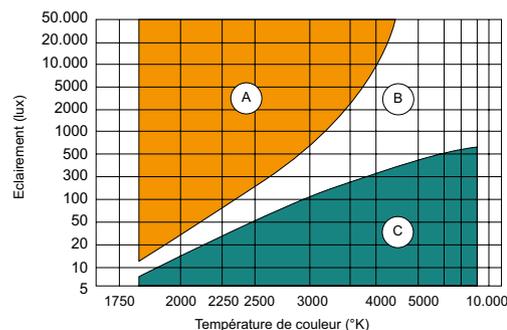


Figure 17. Diagramme de Kruihof : niveau d'éclairément en fonction de la température de couleur

3.5 Choix des ballasts

Il existe 4 types de ballasts :

- électromagnétique conventionnel ;
- électromagnétique faibles pertes ;
- électronique avec préchauffage ;
- électronique sans préchauffage.

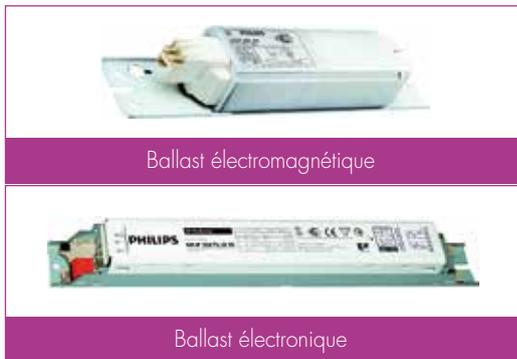
Il est plus intéressant de choisir un ballast électronique lorsque la durée d'utilisation est supérieure à 6h/jour environ. Un ballast électronique à préchauffage doit être placé dès que l'installation est susceptible d'être allumée et éteinte plus de 2 fois par jour.



Pour un taux d'utilisation inférieur à 6h/jour, l'usage du ballast électromagnétique faible perte (plus consommateur) est tolérable.

Les ballasts électromagnétiques conventionnels ont un rendement faible et ne doivent pas être utilisés.

À noter cependant que le prix des ballasts électroniques est en diminution continue et que l'utilisation des ballasts électromagnétiques de faible Efficacité Énergétique pourra être interdite à terme (c'est déjà le cas en CE).



Ballast électromagnétique

Ballast électronique

Figure 18. Différents types de ballasts pour lampes fluorescentes

Un ballast électronique implique un risque de défektivité plus grand qu'un ballast électromagnétique. Ceci est dû au nombre de composants plus élevé de ces ballasts. Il faut donc choisir des ballasts de qualité, éprouvés sur le marché.

En outre, toutes les marques de lampe ne peuvent fonctionner correctement avec tous les ballasts électroniques. Chaque ballast est conçu pour une résistance donnée des électrodes du tube fluorescent. On peut ainsi avoir un taux de défektivité important des lampes uniquement parce que la marque des tubes fluorescents utilisés n'est

pas compatible avec la marque du ballast choisi. Il est difficile de vérifier si ce problème est présent au moment de l'installation.

Remarques :

- L'utilisation des lampes T5 (16 mm) impose d'office l'emploi de ballasts électroniques ;
- dans la pratique, il n'est pas possible de différencier, de visu, un ballast électronique avec ou sans préchauffage. Il faut donc interroger le fabricant pour s'assurer du type exact du ballast fourni ;
- dans certaines situations, il est intéressant de placer des ballasts électroniques dimmables (à modulation du flux lumineux). Raccordés à un simple dimmer, ceux-ci permettent après installation d'ajuster le niveau d'éclairage en fonction des réactions des utilisateurs. On limite ainsi le surdimensionnement inévitable des nouvelles installations ;
- l'ajustement du niveau d'éclairage est intéressant dans les couloirs où le niveau d'éclairage est souvent trop important.

3.6 Choix des luminaires – Critères généraux

3.6.1 Choix en fonction du rendement lumineux

Tout en respectant les autres critères de choix, on choisira toujours les luminaires ayant le meilleur rendement lumineux.

Pour un même niveau d'éclairage, il faudra un nombre plus important de luminaires à faible rendement ce qui engendrera une surconsommation et un surinvestissement.

Les luminaires à faible rendement peuvent en outre présenter d'autres inconvénients : mauvais contrôle de l'éblouissement, faible qualité mécanique des composants, ...

Tableau 8 Caractérisation d'un luminaire

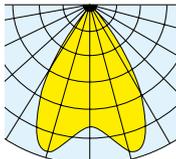
	
<p>C.I.E. = 3/ 1,5/ 2 $N_i = 0,72$ (rendement inférieur) $N_t = 0,72$ (rendement total)</p>	

Tableau 9 Rendements minimums recommandés

Luminaires directs à ventelles planes	70 %
Luminaires directs basse luminance	65 %
Luminaires directs très basse luminance	55 %
Luminaires mixtes	75 %
Luminaires indirects	65 %

3.6.2 Choix en fonction de l'assemblage, du montage et de la maintenance

Tous les luminaires doivent être construits de manière à pouvoir supporter des contraintes normales de montage et d'utilisation. Les luminaires montés en saillie ne doivent pas se tordre lorsqu'ils sont montés sur des plafonds irréguliers. Les luminaires suspendus ne doivent pas présenter de flèche entre supports ni de distorsion de ceux-ci.

Quand les plénums (espaces au-dessus des faux plafonds) ne sont pas accessibles, il faut prendre certaines précautions afin de pouvoir accéder aux boîtes de branchement électrique des circuits au travers des luminaires.

3.6.3 Choix en fonction de la structure du plafond

On peut rencontrer les trois types de luminaires suivants :



Figure 19. Types de montage des luminaires

3.6.3.1 Encastré

Lorsqu'on dispose d'un faux plafond, on peut y encastrer les luminaires. Dans le cas d'un faux plafond démontable, les dimensions des luminaires doivent s'adapter au module du faux plafond. Dans le cas de rénovation, il faut adapter le faux plafond ou les luminaires. Les fabricants offrent, lorsque le nombre de luminaires devient important (+ de 250) la possibilité d'obtenir des luminaires sur mesure pour un coût semblable à celui d'un matériel standard.

En cas d'incendie, la déformation des faux plafonds risque de provoquer la chute des luminaires. Ainsi, dans les circulations servant de chemin d'évacuation, il est recommandé de fixer les luminaires directement à la dalle, au moyen de tiges ou de câbles.

3.6.3.2 En saillie

Lorsque le plafond est en béton, ou lorsqu'on dispose d'un faux plafond fixe, on placera des luminaires en saillie.



3.6.3.3 Suspendu

Les luminaires suspendus s'installent principalement dans les locaux où la hauteur sous plafond est importante (hsp > 3,5 m). Dans ce cas, on peut avoir recours à des luminaires présentant une composante indirecte. Cela permet d'éviter la présence d'une zone très sombre au-dessus des luminaires.

Les luminaires suspendus sont également utilisés lorsque l'on désire apporter un éclairage localisé des postes de travail.

Ils sont également suspendus lorsque le plafond est incliné, de manière à avoir tous les luminaires à la même hauteur.

Le choix et le mode de montage des luminaires doivent tenir compte des effets thermiques sur l'environnement et sur les surfaces d'appui afin d'éviter les risques d'incendie.

3.6.4 Choix en fonction de la qualité acoustique

Les luminaires à faible rendement équipés de ballasts électromagnétiques sont souvent à l'origine de problèmes de bruit. En effet, un léger ronronnement peut être transmis du ballast au luminaire et être amplifié. Il faut donc utiliser certains dispositifs pour minimiser la transmission de bruit sans perturber les transferts de chaleur (petite cale...).

Ce problème n'existe pas avec les ballasts électromagnétiques à faibles pertes et avec les ballasts électroniques.

Dans le cas où les luminaires sont utilisés pour extraire de l'air, les problèmes acoustiques doivent être étudiés encore plus attentivement.

3.6.5 Choix en fonction de la qualité électrique

Les ballasts peuvent perturber les autres appareils électriques à cause de la production de signaux en haute fréquence sur le réseau électrique.

Pour éviter cet inconvénient, les luminaires complets et/ou les ballasts doivent posséder un label de qualité.

3.6.6 Choix en fonction de la puissance des lampes

Un luminaire est conçu pour être équipé de lampes d'une certaine puissance et il est impératif de se limiter à cette puissance. En effet, la dissipation thermique doit être suffisante pour assurer une durée de vie normale de la lampe et les performances du luminaire.

De plus, tout en respectant l'uniformité d'éclairement, on a intérêt à choisir les luminaires dont la puissance installée la plus importante. Ceci réduit le nombre de luminaires et de ballasts et donc l'investissement.

Cependant, lorsqu'on dispose d'un faux plafond démontable et modulaire, la puissance unitaire des luminaires pour tubes fluorescents dépend du module du faux plafond. Exemple : si le faux plafond a un module 60 cm x 120 cm, on ne pourra pas choisir des luminaires de x fois 58 W.

De même, parmi les lampes T8, les tubes de 18 W (75 lm/w) ont une efficacité lumineuse inférieure aux tubes de 36 W (86 lm/W) ou 58 W (89 lm/W).

Exemple :

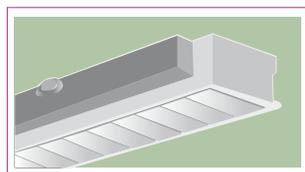
D'un point de vue énergétique, il est plus intéressant d'utiliser des luminaires de 2 x 36 W que de 4 x 18 W d'autant plus qu'ils ont des prix semblables.

Les luminaires 4 x 18 W seront utilisés dans des faux plafonds de structure carrée.

3.6.7 Choix en fonction de la climatisation

Dans les locaux climatisés, intégrer l'extraction d'air dans les luminaires permet d'évacuer jusqu'à 60 % de la puissance thermique produite (partie convective) par

les lampes et les auxiliaires. Il en résulte une diminution des frais de climatisation.



* Luminaire avec extraction intégrée vers un plénum



* Luminaire pour tubes T5 avec extraction sur les bords

Figure 20. Luminaires et climatisation

Ce mode d'extraction permet, en outre, de faire l'économie de bouches d'aspiration séparées souvent plus coûteuses.

Si les luminaires sont équipés de tubes fluorescents de type T5, l'extraction d'air au travers des lampes entraînera une chute du flux lumineux car la température de l'air autour de la lampe ne sera plus optimale. Cette extraction devra donc se faire par des canaux à l'extérieur ou sur la face latérale des armatures. Le potentiel d'évacuation de chaleur est alors nettement moindre.

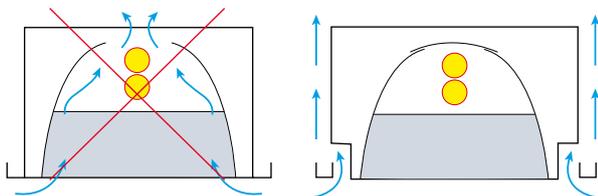


Figure 21. Extraction d'air au travers des luminaires pour lampes T5

3.6.8 Choix en fonction du prix

Le choix d'un luminaire se fera également en fonction du prix de revient de l'installation. À critère de confort égal, celui-ci dépend :

- du prix du luminaire et de son placement,
- du prix des lampes,
- de la consommation sur sa durée de vie,
- du coût de remplacement des lampes.

3.7 Règles et recommandations

Tableau 10 Rendement et espacement des luminaires

Puissance W	Rendement			Espace. Max. Unif: 0,8	
	Total	Direct	Ind.	Longitudinal	Transversal
2 x 36	0,67	0,67 B		1,50 hu	1,45 hu
2 x 18	0,62	0,62 B		1,45 hu	1,60 hu
4 x 18	0,64	0,64 B		1,45 hu	1,60 hu



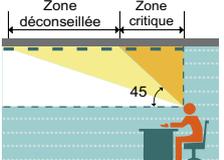
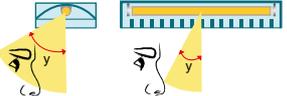
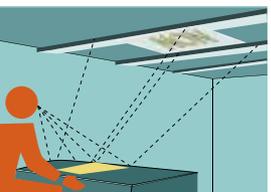
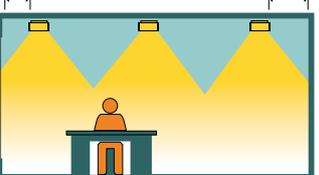
Objectif	Règles
<p>Limiter l'éblouissement direct L'éblouissement survient lorsqu'une source de luminance excessive se trouve dans le champ de vision ou qu'il existe de trop grands contrastes de luminance (dans le temps ou dans l'espace). L'éblouissement diminue la perception des objets et provoque progressivement une fatigue visuelle.</p> 	<p>Luminaires parallèles à l'axe de vision : grâce aux ventelles, l'angle de défilement transversal est souvent plus grand que l'angle de défilement longitudinal. Il est donc plus facile de prévenir l'éblouissement en plaçant les luminaires longitudinalement par rapport à l'axe de vision. Si l'axe des luminaires est perpendiculaire à l'axe de vision, il faut éviter qu'ils ne se trouvent en dessous d'un angle g de 45° par rapport à l'axe du regard. Ceci n'est pratiquement possible que dans les petits bureaux.</p>  <p>Si les luminaires sont perpendiculaires à l'axe de vision, il faut éviter qu'ils ne se trouvent en dessous d'un angle g de 45° par rapport à l'axe du regard. Ceci n'est pratiquement possible que dans les petits bureaux.</p>
<p>Limiter les réflexions sur le plan de travail</p>	 <p>Respecter une zone interdite située au-dessus du plan de travail. Cela revient souvent à placer les luminaires en rangées parallèles de part et d'autre du plan de travail plutôt qu'au-dessus.</p>
<p>Éviter les zones sombres le long des fenêtres le soir</p>	 <p>Un mur réfléchit la lumière et un vitrage l'absorbe. La rangée de luminaires le long des fenêtres doit donc être proche de celles-ci pour compenser les pertes de lumière au travers des vitrages (le placement de rideaux peut jouer un rôle semblable).</p>
<p>Assurer une uniformité correcte</p>	<p>Respecter un écartement des luminaires fonction de la hauteur de montage et de la distribution lumineuse des luminaires. Certains fabricants peuvent fournir des tableaux qui illustrent pour un luminaire donné l'uniformité moyenne obtenue en fonction du rapport e (écartement entre les luminaires) / hu (distance entre le luminaire et le plan de travail).</p>

Figure 22. Bonnes pratiques de positionnement des luminaires



4. Gestion de l'éclairage



Pour une bonne gestion de l'éclairage, il importe de distinguer :

- le principe d'action • la stratégie de contrôle • l'outil de contrôle.

4.1 Principe 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 ;
- la gradation, qui consiste à moduler le flux lumineux.

4.1.1 Commutation

La commutation ou allumage/extinction est le moyen le plus simple pour commander une source lumineuse. Elle consiste à allumer ou éteindre la lampe en fonction des besoins.

4.1.2 Gradation

La gradation consiste à moduler le flux lumineux de la lampe pour l'adapter aux besoins.

Pour les lampes à incandescence cette action consiste simplement à faire varier leur tension d'alimentation.

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 pour lampes à incandescence, si bien qu'il n'est pas possible de remplacer les lampes à incandescence sur gradateurs par des lampes fluocompactes standards. Il faut par conséquent se procurer des lampes fluocompactes spécifiques (« dimmables » ou « gradables »), dont le coût est plus élevé.

Il existe également un autre type de lampe fluocompacte (« vario ») 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 %).

4.1.3 Mode d'action

L'action sur les luminaires peut être directe, par le biais d'interrupteurs, de variateurs, de minuteries, etc.... qui alimentent directement les luminaires.

L'action peut être indirecte par l'intermédiaire d'un bus de commande d'éclairage (DALI, KNX) qui permet la commande individuelle des lampes à condition d'utiliser des lampes et ballasts compatibles ou munies d'un auxiliaire. Dans ce cas le bus relie des organes de commande (interrupteurs, variateurs, détecteurs de présence, détecteurs de luminosité extérieure...) et des auxiliaires de



contrôle au niveau des lampes. Ce système est adapté à la commande par ordinateur dans le cadre de la GTC (gestion technique centralisée)

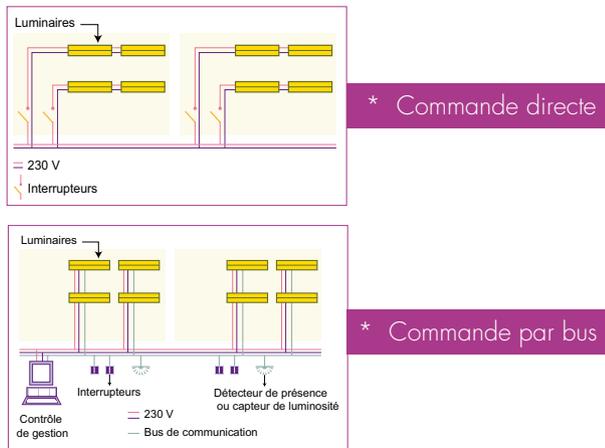


Figure 23. Commande des luminaires directe ou par bus

4.2 Choix du mode de gestion de l'éclairage

Des économies appréciables peuvent être réalisées en adaptant le "temps d'allumage" et le flux lumineux à l'occupation réelle des locaux et aux besoins effectifs en éclairage.

Le tableau 11 présente les principes de gestion en fonction du type de local. Ces systèmes peuvent être intégrés dans une gestion centralisée, qui par son coût de câblage ne peut être envisagée que dans des bâtiments neufs.

(+++ : fortement recommandé, ++ : apporte des économies mais avec un temps de retour plus long, + : à prendre avec prudence)

Tableau 11 Critères de choix du mode de gestion de l'éclairage

Bureau individuel			
Occupation variable		Occupation permanente	
Interrupteurs locaux et sensibilisation	+++	Interrupteurs locaux et sensibilisation	+++
Détection de présence	+++	Liaison avec l'éclairage naturel	++
Gestion horaire	+	Gestion horaire	+
Bureau paysager			
Gestion horaire			+++
Liaison avec l'éclairage naturel			+++
Zonage, interrupteurs locaux et sensibilisation			++
Détection de présence			+
Local à occupation intermittente			
Programmée		Occasionnelle	
Gestion horaire	+++	Interrupteurs locaux et sensibilisation	+++
Interrupteurs locaux et sensibilisation	+++	Détection de présence	+++
Détection de présence	+	Minuterie	+++

4.3 Mise en garde

Pour qu'un système de gestion de l'éclairage fonctionne bien, il faut qu'il soit parfaitement accepté par les occupants. Les utilisateurs peuvent facilement contrarier un système automatique ! Celui-ci doit donc être soit imperceptible, soit compris et accepté par les occupants. La recherche d'économie d'énergie ne doit pas faire au détriment de la liberté des utilisateurs et de la simplicité du système.

Dans les locaux de bureau, par exemple, les occupants doivent pouvoir allumer ou éteindre un luminaire, faire varier la puissance émise par un luminaire ou personnaliser leur ambiance de travail.

4.4 Zonage et sensibilisation des utilisateurs



Figure 24. Télécommande pour luminaire

Ainsi, dans les grands bureaux, il faut dans la mesure du possible donner la possibilité aux occupants de gérer l'éclairage au niveau de leur propre zone de travail.

L'utilisateur devra être sensibilisé :

- à la non-utilisation de l'éclairage artificiel général si l'éclairage naturel est suffisant ;
- à l'extinction de l'éclairage d'un local lorsqu'il quitte celui-ci.

4.5 Temps minimum d'absence avant coupure

Dans un local équipé d'un éclairage fluorescent à ballast électromagnétique ou électronique sans préchauffage, il est préférable d'éteindre lorsque l'inoccupation excède 15 à 30 minutes. Éteindre pour des absences plus courtes n'est pas économiquement rentable à cause de la diminution de la durée de vie des lampes avec l'augmentation du nombre de cycles d'allumage. Dans tous les autres cas (lampes à incandescence, fluorescentes avec ballast électronique à préchauffage), une extinction est recommandée quelle que soit la durée de l'absence.

4.6 Stratégie de contrôle

Le contrôle des systèmes d'éclairage peut se faire par les 3 méthodes standards suivantes :

- gestion temporelle
- détection de présence
- détection de lumière du jour

4.6.1 La gestion temporelle

La gestion temporelle est réalisée via une horloge qui peut 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.



Figure 25. Horloge de programmation d'éclairage

Si l'horaire de travail est fixe, une horloge peut commander l'éclairage en tout ou rien, par zone ou pour l'ensemble du bâtiment en fonction d'un horaire.

Dans les petits bureaux, On peut préconiser des systèmes qui poussent l'utilisateur à prendre la décision d'allumer ou d'éteindre la lumière à plusieurs moments de la journée, par exemple par une extinction automatique suivant un horaire.

Attention, la coupure automatique de l'ensemble de l'éclairage est dangereuse si elle plonge tout le bâtiment dans le noir alors que des personnes sont encore présentes. Une solution peut être une extinction graduelle par groupes de luminaires avec possibilité de relance. L'horaire peut intégrer le passage à un éclairage réduit pour les tâches d'entretien, par exemple la coupure de 2/3 des appareils.

4.6.2 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 sont les plus répandues :

- les détecteurs à infrarouge passif (PIR – passive infrared)



qui sont basés sur la détection du mouvement d'un corps chaud ;

- les détecteurs à haute fréquence (HF) qui mesurent l'effet Doppler (réflexion des ondes sur un corps en mouvement) à la manière d'un radar.



Dans certains cas, il est plus rentable d'investir dans un détecteur de présence que dans la rénovation de l'appareil d'éclairage. Ceci permet d'éviter un investissement important et de réaliser immédiatement des économies substantielles.

Figure 26. Détecteur de présence

La détection de présence est recommandée dans les locaux où la présence de personnes est occasionnelle, comme les salles de réunion, les locaux d'archives ou encore certains couloirs.



Figure 27. Minuterie

Dans les couloirs et les escaliers, la détection de présence peut être remplacée par une simple minuterie.

L'utilisation de ces systèmes implique une certaine prudence dans les locaux où les mouvements des occupants sont faibles comme les bureaux. Les détecteurs peu sensibles risquent de ne pas détecter les mouvements légers engendrés par le travail sur ordinateur ou la lecture.

La rentabilité d'un détecteur de présence dépend :

- du temps de coupure supplémentaire par rapport au fonctionnement normal.

- de la puissance électrique gérée par un détecteur.
- de la présence de ballasts électromagnétiques. Ceux-ci impliquent une forte diminution de la durée de vie des lampes avec le nombre d'allumages. Ceci peut être évité avec des ballasts électroniques.
- L'économie d'énergie et l'augmentation de la durée de vie des lampes permettent de récupérer l'investissement complet en 2 à 4 ans.
- Du coût du kWh.

Exemple :

Dans les sanitaires, la puissance installée est généralement très faible. Il est donc souvent peu rentable d'investir dans un détecteur de présence. Une horloge générale (pour l'ensemble du bâtiment, par exemple) sera souvent préférable pour éviter que l'éclairage reste enclenché 24 heures/24.

4.6.3 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. Ce type de gestion s'applique essentiellement à des locaux caractérisés par un éclairage naturel très important.

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. La commande marche/arrêt doit être accompagnée d'une temporisation pour éviter qu'une variation brusque de luminosité extérieure (passage d'un nuage) ne modifie l'éclairage artificiel. En effet, les variations brusques de l'éclairement artificiel sont mal acceptées par les occupants, même si ce n'est pas le cas pour les variations de l'éclairement naturel. Ce mode de commande utilise en général un capteur photosensible extérieur ;

- combinaison avec un détecteur de présence pour empêcher l'allumage lorsque personne n'est présent ;
- gradation pour maintenir un niveau d'éclairage constant sur le plan de travail. Dans ce cas, il est nécessaire d'utiliser des lampes et auxiliaires compatibles avec un gradateur. Lorsque l'éclairage naturel est important, la quantité de lumière fournie par l'installation d'éclairage est réduite, permettant ainsi de réaliser des économies d'énergie tout en conservant un bon confort visuel. Ce mode de commande utilise en général un capteur photosensible intérieur.

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...).

Une gestion du flux lumineux en fonction de l'apport en éclairage naturel peut s'appliquer aux locaux de bureau lorsque le temps d'occupation journalière est important. En effet, lorsque les locaux sont utilisés de façon intermittente, le temps de valorisation de l'éclairage naturel se réduit, la rentabilité des systèmes de variation du flux lumineux aussi.

Parmi les systèmes de gestion, il faut privilégier ceux qui modifient les caractéristiques de flux lumineux de façon imperceptible pour les occupants, c'est-à-dire la gradation en fonction d'un capteur intérieur.

Cette gestion à partir de l'éclairage intérieur peut se faire :

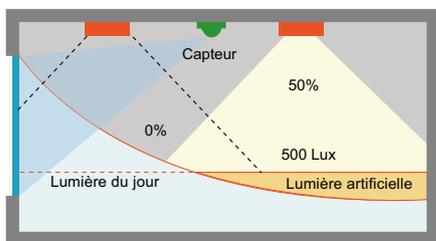


Figure 28. Gestion de l'éclairage en fonction des fenêtres

- soit à partir d'une seule mesure pour le local

On réglera alors, chaque rangée de luminaires suivant une loi de correspondance différente pour apporter plus d'éclairage artificiel en profondeur que près des fenêtres

- soit à partir d'une mesure par luminaire

Ce système s'applique très facilement à la rénovation: il ne demande aucun câblage spécial, l'équipement de chaque luminaire est indépendant. De plus, il est bon marché.

Un inconvénient de ce système est son mode de régulation purement proportionnel (à l'inverse des systèmes à régulateur central). Pour fonctionner, le système doit maintenir un écart par rapport à sa consigne. Il est donc nécessaire d'augmenter la consigne (par exemple: 650 Lux) pour obtenir l'éclairage souhaité (par exemple: 500 Lux) en absence d'éclairage naturel. Il en résulte alors toujours un suréclairage par rapport aux besoins lorsqu'apparaît la lumière naturelle. Le réglage n'est donc jamais optimum. De plus, une diminution maximum du flux de la lampe n'entraîne pas son extinction automatique, n'éliminant donc pas la consommation résiduelle du ballast.

Pour que la gradation soit totalement efficace, il convient de

- lier l'allumage à un détecteur de présence ou à une horloge ;
- ne commander que l'extinction par le régulateur en conservant un allumage manuel (commande on/off), afin d'éviter que les lampes se rallument durant la nuit, si l'occupant oublie d'éteindre les lampes quand il quitte son bureau alors qu'il fait encore clair (les lampes sont à ce moment-là dimmées au maximum).

4.6.4 Rentabilité

La rentabilité du système dépend du type de ballast existant, de l'orientation et de l'environnement des locaux, de la puissance totale gérée par unité de commande, du coût de l'énergie, de l'accessibilité pour le passage des câbles et de la présence d'une climatisation. Elle doit être calculée différemment pour des locaux neufs ou en cas de rénovation.

4.6.4.1 Type de ballast existant

Le coût principal de mise en place d'un système de gestion est le remplacement des ballasts. En effet, la gradation (dimming) nécessite l'utilisation de ballasts électroniques gradables.

Si les ballasts existants sont déjà des ballasts électroniques, l'investissement consenti pour le remplacement des ballasts n'engendra plus d'économie. Au contraire, les ballasts électroniques gradables présentent une perte légèrement supérieure aux ballasts électroniques traditionnels. Dans ce cas, l'installation du système de gestion ne sera jamais rentabilisée dans un temps raisonnable.

Si les ballasts existants sont électromagnétiques, on réalise déjà une économie d'énergie d'environ 20 % par leur remplacement, ce qui diminue le temps de retour.

4.6.4.2 Orientation et environnement des locaux

Le tableau 12 présente des mesures réelles de rentabilité apportée par une gradation individuelle des luminaires par rapport à un fonctionnement à pleine puissance avec des ballasts électroniques non gradables (fourniture de 500 lux sur le plan de travail), source : TNO.

Dimensions du local l x L	Surface de fenêtres m ²	Orientation	Économie		
			Zone fenêtre	Zone centrale	Moyenne
3,6 x 5,4	6	NO	33 %	18 %	26 %
5,5 x 5,5	12	S et O	36 %	33 %	34 %
4,0 x 5,5	4	O	29 %	22 %	26 %
3,0 x 3,6	2,4	E	30 %	8 %	19 %
3,6 x 5,4	3,3	O	29 %	16 %	22 %
3,6 x 5,0	4,5	O	41 %	19 %	30 %

L'environnement extérieur des façades influence fortement la rentabilité. Par exemple, si une façade est masquée par un autre bâtiment (rue étroite), les apports en éclairage naturel dans les premiers étages risquent d'être trop faibles pour justifier une gestion automatique mais suffisants pour les étages supérieurs.

D'une manière générale une économie de 30 % est un chiffre que l'on peut considérer comme raisonnable pour le gradage complet d'un bureau.

4.6.4.3 Puissance totale gérée par unité de commande

Le coût du système de gestion dépend en partie du coût de l'unité de commande (capteur, interface). Plus celui-ci est élevé, plus la puissance électrique totale commandée par un système devra être importante pour assurer une rentabilité suffisante.

4.6.4.4 Coût de l'énergie

4.6.4.5 Accessibilité pour le passage des câbles

Le coût de la main-d'œuvre n'est pas négligeable. L'installation d'un système de gestion sera naturellement moins onéreuse dans un bâtiment neuf que dans un bâtiment existant.

Les systèmes de gestion par luminaire ne demandent pas de recâblage externe au luminaire. Ils sont donc très bon marché et souvent les plus rentables si la puissance gérée par un ballast est importante.

4.6.4.6 Présence d'une climatisation

La diminution de la puissance de l'éclairage en fonction de l'apparition du soleil permet de diminuer les coûts éventuels d'une climatisation ou de limiter les surchauffes.



5. Optimisation de l'intensité de l'éclairage



Le niveau d'éclairage recommandé pour chaque local est donné par la réglementation.

La consommation électrique pour l'éclairage peut être évaluée en utilisant la formule très simple :

Consommation électrique (kWh)
= nombre de lampes x puissance unitaire (W) x temps (heures).

Une fois défini le niveau, 3 voies de réduction des consommations électriques sont possibles :

- réduire le nombre de sources d'éclairage,
- réduire les puissances,
- réduire le temps d'utilisation.

Les paragraphes ci après sont une synthèse des éléments présentés aux chapitres précédents.

5.1 Niveau d'éclairage recommandé

Les tableaux ci après définissent les niveaux d'éclairage recommandés pour les logements d'habitation et les locaux tertiaires.

Remarque : trop de lumière ne conduit pas à un bon confort de vision, contrairement aux idées reçues !

5.1.1 Niveaux d'éclairage moyens recommandés dans les logements d'habitation

Tableau 13 Niveau d'éclairage recommandé dans les logements d'habitation	
Local et activité	Éclairage moyen en lux
Hall d'entrée et couloirs	
hall d'entrée	100
couloir et circulation	50 - 100
escalier	100
Sanitaire	
éclairage ambiant	200
éclairage du miroir et du lavabo	300 - 500
toilettes	100
Cuisine	
éclairage ambiant	200 - 300
éclairage du plan de travail	300 - 500
Living - Salon	
zone de repos (fauteuil, etc.)	50 - 200
lecture	300
Salle à Manger	
éclairage général	100
éclairage de la table	100 - 300
Chambre	
éclairage général	100 - 200
zone de travail (repassage, bricolage, etc.)	300
Débarras, buanderies, caves, garage, etc.	
éclairage général	50 - 100
zone de travail (repassage, bricolage, etc.)	300



5.1.2 Niveaux d'éclairage moyens recommandé dans les locaux tertiaires

Tableau 14 Niveau d'éclairage recommandé dans les logements tertiaires

Local et activité	Éclairage moyen en lux
Hall d'entrée et couloirs	
salle de classe	500
tableau	600
amphithéâtre	300
laboratoire	500
salle de dessin d'art	625
bibliothèque, salle de lecture	500
Hôpitaux	
salle d'urgence	1 000
chambre de malade	50-300
salle d'attente	150
circulations	150
services généraux	300-750
laboratoire	500
Banques	
hall public	300
guichet	500
Aéroports, gares, postes	
salle des pas perdus	150
guichet	500
Magasins	
boutique	300 - 500
libre service, grande surface	500
salon de coiffure	500 - 750
circulations (galeries marchandes)	150
commerces spécialisés	300-750
Salles de spectacle	
foyer	150
amphithéâtre	100
salle de cinéma	50
salle des fêtes	300

Local et activité	Éclairage moyen en lux
Bureaux et locaux administratifs	
bureau de travaux généraux	500
dactylographie	500
salle d'informatique	500
salle de dessin (tables)	750-1 000
Hôtels	
réception, hall	300
salle à manger	300
cuisine	500
chambre (éclairage localisé)	300
salle de bains	150
Expositions, musées	
salle d'exposition publique	500
salles de sport, gymnases	
salle d'entraînement	300
salle de compétition	500-1 000
Locaux techniques	
salle de contrôle	300
salle des machines	100
salle de garde	300
réserves, entrepôts	100-300
Circulations	
couloir, escalier	100-300
ascenseur	200
locaux non occupés	20-50
Espaces extérieurs	
entrée, cour, allée	30
voie de circulation couverte	50
dock et quai	75

5.2 Réduire le nombre de lampes

Respecter le niveau d'éclairage moyen prévu pour chaque local.

Quand c'est possible il faut remplacer les lampes par des lampes de plus grande puissance en diminuant leur nombre, le rendement augmentant en général avec la puissance : par exemple choisir un luminaire 2x36W à la place d'un 4x18W.

5.3 Réduire la puissance = choisir un équipement économique

5.3.1 Lampes fluorescentes à haute efficacité

Remplacer les lampes fluorescentes classiques (40 W) par des lampes à haute efficacité équivalente (32 W). Les lampes fluorescentes à haute Efficacité Énergétique consomment 10 à 20 % de moins que les lampes fluorescentes classiques.

5.3.2 Ballasts électroniques

Les ballasts électroniques remplacent les anciens ballasts magnétiques en consommant 20 % d'énergie en moins. Ils permettent de plus d'éviter les clignotements des tubes et ne sont pas bruyants.

5.3.3 Ampoules halogènes (en éclairage direct)

Les lampes halogènes consomment 30 % de moins que les lampes incandescentes classiques à intensité lumineuse égale. Ceci n'est cependant valable que si elles sont utilisées en éclairage direct.

5.4 Réduire le temps d'éclairage = gestion du temps

Détecteurs de présence

Ils réduisent les consommations électriques en éteignant automatiquement les lumières dans les locaux non occupés.

Système de gestion temporelle

Programmation de la mise en marche et d'arrêt de l'éclairage.

Des études ont permis d'évaluer les économies moyennes réalisables :

- dans les bureaux : de 25 à 50 % ;
- dans les salles de repos : de 30 à 75 % ;
- dans les salles de conférences : de 45 à 65 % ;
- dans les couloirs : de 30 à 40 % ;
- dans les bâtiments et aires de stockage : de 45 à 75 %.

Dans un contexte industriel ou la gestion de l'éclairage est énormément dépendante du comportement des employés, utiliser ces détecteurs peut permettre de réaliser des économies non négligeables.

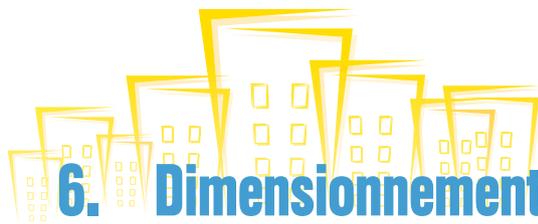
5.5 Limiter l'éclairage artificiel en fonction de l'éclairage naturel

5.5.1 Cellule extérieure qui commande différents locaux en marche/arrêt :

Ce type de gestion s'applique à des locaux caractérisés par un éclairage naturel très important.

5.5.2 Cellule(s) intérieure(s) par local et dimming de l'éclairage artificiel

Ce type de gestion s'applique à des locaux caractérisés par un éclairage naturel moins important, et dont le temps d'occupation journalière est important (le système ne serait pas rentable pour des locaux utilisés de façon intermittente).



6. Dimensionnement par la méthode de l'utilance



Cette méthode consiste à dimensionner l'éclairage en prenant en compte de façon détaillée toutes les caractéristiques du local : dimensions, coefficient de réflexion des parois, position des luminaires, vieillissement des lampes

Base de calcul pour chaque local :

- zone de calcul ;
- éclairement moyen minimum ;
- couleur et coefficient de réflexion des parois ;
- facteur de maintenance ;
- caractéristiques du luminaire ;
- Le calcul détermine ;
- Indice du local ;
- Utilance du local ;
- Nombre de luminaires et leur disposition.

6.1 Zone de calcul

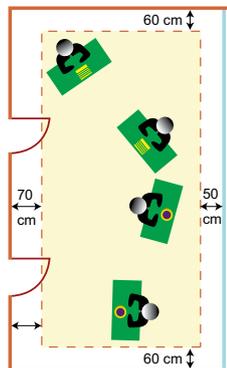


Figure 29. Zone de calcul de l'éclairage

Dans la plupart des locaux, l'éclairement moyen et l'uniformité doivent être calculés sur une surface égale à la

surface du local, de laquelle on soustrait une bande de 50 cm le long des murs sans porte et une bande de 70 cm le long des murs avec portes. En principe, aucune tâche visuelle n'est censée être exécutée dans ces zones "mortes". La surface résultante obtenue est appelée "zone de travail".

Si la totalité de la surface du local est considérée, il faudra une puissance installée plus importante pour atteindre le niveau d'éclairement moyen requis.

Dans les couloirs et sanitaires, la zone de travail est égale à la surface au sol.

6.2 Indice du local: K

L'indice K du local se déduit des dimensions géométriques, de la hauteur du plan des luminaires et de la hauteur du plan de travail.

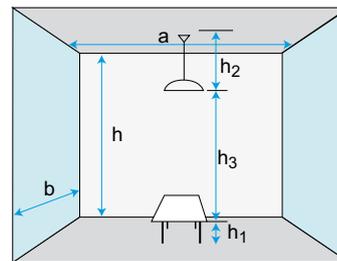


Figure 30. Dimensions du local, plan des luminaires et plan de travail

Tableau 15 Indice du local : K

$h3 = h - h1 - h2$ $K = \frac{a \times b}{(a + b) \times h3}$	<p>a : longueur du local b : largeur du local h : hauteur du local h1 : hauteur du plan de travail, en général 0,85 m h2 : hauteur de suspension des luminaires h3 : hauteur du luminaire au-dessus du plan utile.</p>
---	---

L'indice K est arrondi aux valeurs suivantes :
 0,6 - 0,8 - 1 - 1,5 - 2 - 2,5 - 3 - 4 - 5

6.3 Facteur de suspension : J

Équation :

Tableau 16 Facteur de suspension : J

$J = \frac{h2}{(h2 + h3)}$	<p>h1 : hauteur du plan de travail, en général 0,85 m h2 : hauteur de suspension des luminaires h3 : hauteur du luminaire au-dessus du plan utile.</p>
----------------------------	--

On ne retient habituellement que 2 valeurs :

J = 0 : luminaire contre le plafond

J = 0,33 : luminaire suspendu

6.4 Éclairage moyen minimum

L'éclairage moyen recommandé est déduit des tableaux 13 et 14 suivant la nature du local. Compte tenu des caractéristiques des luminaires, de leur nombre et de leur disposition, le résultat du calcul amène à faire un choix entre :

- un éclairage moyen légèrement inférieur à la valeur recommandée avec une puissance moindre ;

- un éclairage moyen légèrement supérieur à la valeur recommandée avec une puissance plus élevée.

La première solution sera préférée pour des raisons d'Efficacité Énergétique et pour limiter le surdimensionnement en début d'installation.

On peut être amené à faire un calcul plus fin pour les locaux administratifs comportant des plans de travail (bureaux), en définissant deux niveaux d'éclairage : l'un pour la zone de travail, l'autre en tout point du plan de travail. Si la position du plan de travail n'est pas connue, il faudra respecter l'éclairage minimum spécifié pour le plan de travail dans toute la zone de travail.

6.5 Uniformité

L'uniformité de l'éclairage recommandée dans la zone de travail doit être de :

$$\frac{E_{\min}}{E_{\text{moyen}}} = 0,67$$

Cette uniformité permet d'obtenir, approximativement, un niveau d'éclairage moyen de 500 lux avec un minimum de 300 lux.

Il est inutile d'exiger une uniformité plus importante car elle augmente le nombre de luminaires et l'investissement. Inversement, une uniformité moindre nuit au confort.

6.6 Coefficient de réflexion des parois

En règle générale les couleurs sont relativement claires et on peut faire les calculs pour des valeurs moyennes.

Si les couleurs des parois sont définies, et particulièrement si les parois sont de couleur foncée, les coefficients de réflexion choisis pour le dimensionnement devront correspondre à ces couleurs.



6.6.1 Plafond

La couleur du plafond joue un rôle peu important sur l'éclairage artificiel direct. Son rôle devient primordial lorsqu'il s'agit de distribuer la lumière naturelle en profondeur dans le local. La valorisation maximum de cet éclairage naturel permet une diminution des consommations électriques.

En éclairage indirect, le plafond sert de diffuseur de la lumière. Il doit toujours avoir le coefficient de réflexion le plus élevé.

6.6.2 Murs

La couleur des murs a un rôle d'autant plus important que les luminaires utilisés ont une distribution extensive. Les parois vitrées ont un rôle négligeable pour la réflexion.

6.6.3 Sol

Le plancher est rarement complètement libre et dégagé. Le mobilier représente souvent une surface importante. La couleur du sol a donc peu d'influence sur la qualité de l'éclairage artificiel.

6.6.4 Couleur du plan de travail

La clarté des tables de travail constitue un élément favorable au confort visuel. La réduction du contraste entre le support papier et la table diminue les efforts d'accommodation de l'œil à chacun de ses déplacements.

Il est conseillé d'utiliser des revêtements mats pour les parois du local et surtout pour les tables de travail pour limiter les luminances excessives et les risques d'éblouissement.

6.6.5 Codification des coefficients de réflexion

Blanc brillant	80 %
Blanc mat	70 %
Couleurs claires	50 %
Couleurs vives	30 %
Couleurs foncées	10 %
Vitrages sans rideaux	10 %

La codification s'exprime par 3 chiffres correspondant en % aux coloris : plafond, murs, plan utile. Les parois vitrées ont un rôle négligeable pour la réflexion et ne sont pas prises en compte.

Références habituelles	très clair	clair	moyen	sombre	noir
Plafond	8	7	5	3	0
Murs	7	5	3	1	0
Plan utile	3	3	1	1	0

Exemple : 751 correspond à

facteur de réflexion 70 % du plafond

facteur de réflexion 50 % des murs

facteur réflexion 10 % du plan utile

6.6.6 Facteurs de réflexion par défaut

En l'absence de données réelles, on utilise les valeurs suivantes :

Plafond	0,7
Parois opaques	0,5
Sol	0,3

6.7 Facteur de maintenance

L'installation doit fournir les niveaux d'éclairage requis durant toute sa durée de vie. Pour tenir compte de la diminution du flux lumineux avec l'âge (diminution du flux des lampes, encrassement des lampes et luminaires), le dimensionnement de l'installation doit intégrer la notion de facteur de maintenance qui surdimensionne l'installation d'origine.

6.7.1 Facteur d'empoussièrement "e"

Il tient compte de la baisse du flux lumineux dû au niveau d'empoussièrement des lampes.

Il existe trois niveaux :

Faible	1,1
Moyen	1,25
Fort	1,4

6.7.2 Facteur de dépréciation "d" :

En cours d'utilisation, le flux émis par une lampe baisse ; les causes sont diverses :

- les parois du local vieillissent et sont moins réfléchissantes.
- les lampes ont tendance à s'user et le flux lumineux produit diminue selon la maintenance, changement périodique des lampes.

Pour tenir compte de ces événements, l'Association Française de l'Éclairage (A.F.E.) indique les valeurs suivantes :

Incandescence courante	1,10
Incandescence aux halogènes	1,00
Tube fluorescent	1,20
Vapeur de mercure ballon fluorescent	1,20
Halogènes métalliques	1,35
Vapeur de sodium	1,10

6.7.3 Facteur de maintenance

Il combine le facteur d'empoussièrement et le facteur de dépréciation.

Il tient compte de la baisse du flux lumineux, du niveau d'empoussièrement des lampes et du luminaire, de l'altération des couleurs des parois du local. Il varie selon l'activité dans ce local.

À défaut de précisions, l'on pourra prendre les coefficients donnés par l'A.F.E. (Association Française de l'Éclairage).

Faible	1,25
Moyen	1,40
Fort	1,60

6.8 Classe des luminaires

Les fabricants donnent pour chaque luminaire une lettre qui définit la classe du luminaire.

Cette lettre varie de A à J.

À chaque classe est associé le rendement du luminaire h.



6.9 Détermination de l'utilance

L'utilance U_i est le rapport du flux utile (reçu par le plan de travail) au flux total sortant des luminaires.

On détermine l'utilance à l'aide de tableaux définis par

4 variables :

- la valeur de J ;

- la valeur de K ;
- les facteurs de réflexion des parois ;
- la classe du luminaire.

Exemple de tableau pour un luminaire de classe C et $J = 0$:

On détermine la valeur de l'utilance à l'intersection de l'indice du local et du facteur de réflexion, 85 % dans l'exemple, soit une utilance de 0,85

Tableau 23 Tableau de détermination de l'utilance : classe C et $J = 0$

Facteur de réflexion		873	871	773	771	753	751	731	711	551	531	511	331	311	000
Indice du local	0,60	66	61	65	60	52	50	43	38	49	42	38	42	38	36
	0,80	78	71	75	969	63	59	52	47	58	52	47	51	47	45
	1,00	86	77	83	76	71	66	60	55	56	59	54	58	54	52
	1,25	93	83	90	81	79	73	67	62	72	66	62	65	62	59
	1,50	98	86	95	85	85	78	72	67	76	71	67	70	66	64
	2,00	105	92	102	90	93	84	79	75	82	78	74	77	72	71
	2,50	110	-5	706	93	98	88	84	80	86	82	79	81	78	76
	3,00	113	79	709	96	702	91	87	84	89	86	83	84	82	79
	4,00	117	100	113	98	708	95	92	89	93	90	88	89	86	84
	5,00	120	101	116	100	111	97	95	92	95	93	91	91	89	87

6.10 Flux lumineux à fournir

Tableau 24 Flux lumineux à fournir	
$F = \frac{E \times a \times b \times e \times d}{\eta \times U_i}$	E : éclairage demandé en lux. a : longueur du local en m. b : largeur du local en m. U _i : facteur d'utilité η : rendement du luminaire e : facteur d'empoussièrément d : facteur de dépréciation le produit e.d peut être remplacé par le facteur de maintenance f _m

6.11 Nombre de luminaires

Tableau 25 Nombre de luminaires	
$N = \frac{F}{f}$	N : nombre de luminaires. F : flux lumineux total à produire en lumens. f : flux lumineux produit par un appareil.

Le calcul donne un nombre de luminaires qui sera arrondi par excès à un nombre entier de rangées et de colonnes. Le nombre obtenu permet de recalculer l'éclairage obtenu en fin de vie des lampes.

Tableau 26 Flux lumineux à fournir	
$E = \frac{f \times n \times \eta \times U_i}{a \times b \times e \times d}$	f : flux lumineux produit par un appareil. n : nombre de luminaires a : longueur du local en m. b : largeur du local en m. U _i : facteur d'utilité η : rendement du luminaire e : facteur d'empoussièrément d : facteur de dépréciation le produit e.d peut être remplacé par le facteur de maintenance f _m

6.12 Disposition des luminaires

La répartition des luminaires peut être fonction :

- de l'emplacement des postes de travail ;
- de la constitution du plafond ;

- de la présence d'obstacle (poutres apparentes, caissons, etc.)
- du nombre de point lumineux.

Les valeurs des distances entre luminaires dépendent de la classe des luminaires et de la hauteur utile h₃. Le tableau ci-dessous donne des coefficients de distance maximale entre deux luminaires, en fonction de la classe du luminaire.

Tableau 27 Coefficient d'interdistance des luminaires			
Luminaires catégorie F1		Luminaires catégorie F2	
Classe	Distance maximale entre 2 luminaires	Classe	Distance maximale entre 2 luminaires
A	DM ≤ 1 x h3	F	DM ≤ 2 x h3
B	1,1 x h3	G	2 x h3
C	1,3 x h3	H	1,9 x h3
D	1,6 x h3	I	2 x h3
E	1,9 x h3	J	2,3 x h3

Les valeurs des interdistances DM (distance entre les luminaires) sont des valeurs minimales. En bordure des murs, on prendra DM/2 de façon à ce que les angles ou le milieu du local présentent le même éclairage.

6.13 Exemple de calcul : salle de classe

6.13.1 Éclairage recommandé

Lu dans le tableau des valeurs d'éclairage : soit 425 lx.

6.13.2 Dimensions du local.

- longueur a = 7 m ;
- largeur b = 5,50 m ;
- hauteur h = 2,95 m ;
- luminaire encastré : h₂ = 0 ;
- hauteur utile h₃ = (2,95 - 0,85) = 2,10 m.

6.13.3 Facteurs de réflexion du local :

- plafond = blanc clair soit 70 % = 7
 - murs = clairs soit 50 % = 5
 - plan utile = clair soit 30 % = 3
- Soit coefficient. de réflexion 753

6.13.4 Calcul de l'indice K du local :

Équation : se référer au Tableau 15

$$K = \frac{7 \times 5,5}{2,10(7+5,5)} = \frac{38,50}{26,25} = 1,466 \text{ arrondi à } 1,5$$

6.13.5 Calcul de l'indice J du local

$$J = \frac{0}{0+2,1} = 0$$

6.13.6 Choix du luminaire :

type ZETA EAS 418 C

tubes utilisés : 4 de 1 350 lm (H.R.) = 5 400 lm

rendement = 0,62 classe C.

6.13.7 Détermination de l'utilance U_i :

Se référer au Tableau 23

À l'intersection de la colonne 753 et de la ligne indice $K = 1,5$, lire la valeur de l'utilance $U_i = 0,85$ (85 %).

6.13.8 Facteur de maintenance

On prend un facteur de maintenance f_m de 1,25 (tube fluorescent et bureau avec peu d'empoussièrement).

6.13.9 Flux lumineux à fournir

Équation : se référer au Tableau 24

$$F = \frac{(425 \times 7 \times 5,5 \times 1,25)}{(0,62 \times 0,85)} = 38811$$

6.13.10 Calcul du nombre d'appareils "N" :

Équation : se référer au Tableau 25

$$N = \frac{38811}{5400} = 7,2 \text{ soit } 8 \text{ appareils}$$

6.13.11 Implantation

2 rangées de 4 appareils dont les entraxes sont espacés :

- dans la largeur de 2,75 m :
(soit $1,37 + 2,75 + 1,37$) = 5,50 m
- dans la longueur de 1,75 m
- (soit $0,88 + 1,75 + 1,75 + 0,88$) = 5,26 m

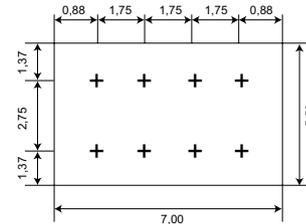


Figure 31. Disposition des luminaires

6.13.12 Uniformité

Se référer au Tableau 27

Pour les appareils de classe C, $DM \leq 1,3$

Vérification :

- uniformité transversale : $\frac{2,75}{2,10} = 1,30$: bonne
- uniformité longitudinale : $\frac{1,75}{2,10} = 0,83$: excellente

6.13.13 Éclairage réel total obtenu

Équation : se référer au Tableau 26

Éclairage en fin de vie des lampes

$$E = \frac{5400 \times 8 \times 0,62 \times 0,85}{7 \times 5,5 \times 1,25} = 473 \text{ lux}$$

Éclairage en début de vie des lampes

$$E = E \times 1,25 = 591 \text{ lux}$$



7. Dimensionnement par la méthode de la puissance



Cette méthode de dimensionnement est basée sur la puissance électrique en W des dispositifs d'éclairage. Elle consiste à calculer la puissance installée et à la comparer à la puissance admissible qui est déterminée par voie réglementaire ou par les bonnes pratiques.

PIEI : puissance électrique installée pour l'éclairage intérieur.

La PIEI est calculée en tenant compte des pertes par les ballasts et en incluant à la fois les installations fixes d'éclairage et les installations additionnelles constituées par les lampadaires.

PAEI : puissance électrique admissible pour l'éclairage intérieur du bâtiment :

Elle est déterminée

- soit par la méthode générale définie au paragraphe 8.2
 - soit par la méthode simplifiée définie au paragraphe 8.3
- La puissance installée pour l'éclairage intérieur est conforme lorsque :

$$PIEI < PAEI \text{ (Eq 6.1)}$$

7.1 Coefficient de majoration de la puissance installée pour l'éclairage intérieur

7.1.1 Définitions :

Pour chaque zone particulière dont l'éclairage est commandé par un des dispositifs visés au Tableau 30, la puissance admissible installée pour l'éclairage intérieur peut être affectée d'un coefficient de majoration (Cm).

Tableau 28 Pertes maximales des ballasts

Puissance nominale de la lampe	Type de lampe	Type de ballast	Perte maxi (W) 2013	Perte maxi (W) 2016
≤ 40 W	fluo standard	EM (*) faible perte	8	5
	fluo haute fréquence			
> 40 W			10	7

(*) Électromagnétique

Tableau 29 Puissance maximale d'entrée des circuits ballast-lampe

Puissance de la lampe		Puissance maximale d'entrée des circuits ballast-lampe
50 Hz	HF	
15 W	14 W	18 W
18 W	16 W	21 W
30 W	24 W	33 W
36 W	32 W	38 W
38 W	32 W	40 W
58 W	50 W	60 W
70 W	60 W	72 W



Cette majoration de puissance autorisée est destinée à prendre en compte les contraintes spécifiques de mise en œuvre de ces dispositifs (qualité de l'éclairage, pertes des dispositifs de commande et de régulation)

Les valeurs du C_m sont définies dans le tableau suivant :

Tableau 30 Valeur du coefficient de majoration (C_m)	
Dispositifs de commande	C_m
(1) Commande photosensible (CP), tout ou rien	1,15
(2) Horloge programmable, tout ou rien	1,15
(3) Détecteur de présence (DP), tout ou rien	1,40
(4) Gradateur manuel du niveau d'éclairage	1,10
(5) Gradateur manuel et horloge programmable	1,15
(6) CP, gradateur à seuils automatique	1,30
(7) CP, gradateur continu automatique	1,50
(8) CP, tout ou rien et horloge programmable	1,15
(9) CP, gradateur à seuils et horloge programmable	1,50
(10) CP, gradateur continu et horloge programmable	1,80
(11) DP et gradateur manuel	1,50
(12) DP et horloge programmable	1,50
(13) DP, CP, tout ou rien	1,60
(14) DP, CP et gradateur à seuils	1,80
(15) DP, CP et gradateur continu	2,00

7.1.2 Conditions d'application :

L'application du C_m est limitée à l'espace spécifiquement contrôlé par le dispositif de commande ;

Les C_m ne sont pas cumulatifs pour une zone ou un luminaire donné ;

Les dispositifs de commande automatique doivent être installés en série avec les luminaires et en série avec les interrupteurs manuels éventuels ;

Lorsque la lumière du jour est suffisante, les dispositifs à commande photosensible doivent pouvoir réduire la puissance appelée d'éclairage de la zone considérée d'au moins 50 % (de façon continue ou par paliers) ;

Les dispositifs photosensibles doivent concerner tous les luminaires qui assurent plus de 50 % de l'éclairage des zones périphériques ;

Les détecteurs de présence situés dans les zones périphériques doivent être installés conjointement avec un interrupteur manuel ou un interrupteur photosensible ;

Les horloges programmables utilisées en relation avec le Tableau 30 doivent pouvoir :

- programmer différentes séquences pour les périodes d'occupation ou d'inoccupation ;
- être accessibles de façon à pouvoir être temporairement mis hors-service par les usagers des zones, locaux ou postes de travail concernés, avec retour automatique à la programmation initiale ;
- disposer d'une réserve de marche d'une durée minimale de 4 heures en cas de coupure de l'alimentation électrique.

7.2 Méthode générale de calcul de la puissance électrique admissible pour l'éclairage intérieur (PAEI) (Méthode déterministe)

7.2.1 Règles générales :

La puissance admissible pour l'éclairage (paei) de chaque local ou chaque espace intérieur est déterminée comme suit :

$$PAEI = DPEI \times s \times C_m \text{ (Eq 1)}$$

Tableau 31 Calcul de la DPEI	
DPEI	densité de puissance admissible pour l'éclairage du local (W/ m ²), déterminée par le graphique Figure 32, à partir du niveau d'éclairage minimal requis indiqué dans le Tableau 13 Tableau et 14 et en fonction de l'indice du local (K) défini comme suit:
	$h3 = h - h1 - h2$ $K = \frac{a \times b}{(a + b) \times h3} \quad (\text{Eq Tableau 15})$
	où :
K	longueur du local
b	largeur du local
h	hauteur du local
h1	hauteur du plan de travail, en général 0,85 m
h2	hauteur de suspension des luminaires
h3	hauteur du luminaire au-dessus du plan utile.
Cm	coefficient de majoration éventuel pour utilisation de dispositifs de contrôle d'éclairage tel que défini en 8.1.1

La puissance électrique admissible pour l'éclairage intérieur (PAEI) du bâtiment est la somme des paei calculées pour chaque local, et se définit comme suit :

$$PAEI = \sum PAEI (i) \quad (\text{Eq 2})$$

où :

PAEI (i) = puissance admissible pour l'éclairage du ième local, déterminé suivant l'équation 1 (W)

7.2.2 Dispositions particulières :

Locaux et usages non répertoriés : pour les locaux ou des usages non définis dans le tableau, on prendra les valeurs correspondant à des locaux ou des usages similaires.

7.2.2.1 Locaux à usage polyvalent :

Des équipements complémentaires d'éclairage, avec des commandes indépendantes, peuvent être installés pour l'éclairage des locaux à usage polyvalent.

La puissance installée de ce système complémentaire ne devra dépasser 50 % de la PAEI calculée conformément à l'équation 1.

Exemple de locaux à usage polyvalent :

salles de banquets, de réunion, de conférences et d'expositions, etc.

7.2.2.2 Fonctions simultanées :

La PAEI dans les locaux où s'exercent simultanément plusieurs activités est la puissance moyenne pondérée par les surfaces correspondant à chaque activité.

Exemple de local à fonctions simultanées :

grand bureau abritant à la fois de la comptabilité et du dessin.

7.2.2.3 Salles de sport :

On considère que l'activité sportive dans les salles de sport affecte une surface maximale débordant de 3 m des limites de l'aire de jeux.

Toutefois, cette surface ne peut empiéter sur la surface occupée par les tribunes.



7.2.3 Compensations :

Les compensations entre les puissances installées d'éclairage de chaque local sont autorisées à condition que la somme de ces puissances installées n'excède pas la PAEI du bâtiment.

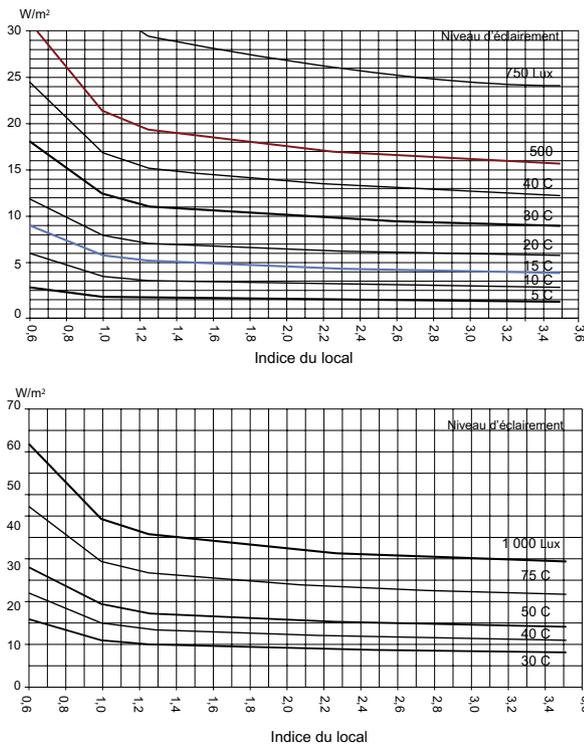


Figure 32. Densité de puissance d'éclairage en fonction de l'indice du local et du niveau d'éclairément

note: graphique établi sur la base d'un luminaire de rendement 0,54 classe D et de lampes fluorescentes d'un rendement lumineux de 95 lm/W.

7.3 Méthode simplifiée de calcul de la puissance électrique admissible pour l'éclairage intérieur (PAEI) (Méthode statistique)

Cette méthode est applicable aux bâtiments dont la puissance électrique admissible pour l'éclairage intérieur (PAEI) du bâtiment est inférieure à 25 kW.

7.3.1 Règles générales :

La puissance électrique admissible pour l'éclairage intérieur (PAEI) du bâtiment se calcule suivant la fonction principale du bâtiment, comme suit :

$$PAEI = DMPEI \times SEI \text{ (Eq 3)}$$

où :

DMPEI = densité moyenne de puissance électrique admissible pour l'éclairage intérieur, pour la fonction principale du bâtiment (W/m^2), choisie dans le Tableau 32.

SEI = surface totale éclairée intérieure du bâtiment (m^2).
On appelle fonction principale une activité occupant au moins 90 % de la surface totale éclairée intérieure du bâtiment.

7.3.2 Dispositions particulières :

7.3.2.1 Facteur correctif applicable aux petits bâtiments :

Pour les bâtiments de surface comprise entre 200 et 1 000 m^2 , le résultat obtenu par la méthode statistique peut être majoré de 15 %.

Pour les bâtiments de surface inférieure ou égale à 200 m^2 , le résultat obtenu par la méthode statistique peut être majoré de 25 %

7.3.2.2 Fonctions multiples :

Lorsqu'il existe plusieurs fonctions dans le bâtiment dont aucune n'est une fonction principale, la méthode précédemment définie est appliquée à chaque fonction du bâtiment.

La puissance électrique admissible pour l'éclairage intérieur (PAEI) du bâtiment est la somme des PAEI calculées pour chaque fonction.

Exemples de fonctions multiples :

parkings, entrepôts, magasins dans un immeuble de bureaux ou d'habitation.

7.3.2.3 Fonctions non répertoriées :

Pour les locaux ou des fonctions non répertoriées dans le tableau, on prendra les valeurs correspondant à des locaux ou fonctions analogues

Tableau 32 Densité de puissance électrique admissible pour l'éclairage intérieur des bâtiments	
Bâtiments et usages type	Densité moyenne d'éclairage (W/ m ²) 2013
Immeubles de bureau	13
banques	18
Établissements scolaires	
maternelles, primaire	12
lycées/ enseign.tech./université	14
maternités	15
lieux de culte	12
réceptifs hôteliers	
chambres (1)	10
parties communes	9
salle de banquet et exposition	18
Restaurants	
type cafétéria	12
type restaurant de luxe	13
bar et réception	13
Magasins	
boutiques et étalages (2)	18
galeries marchandes	11
salon de coiffure/soins de beauté	18
appartements	17
entrepôts et magasins	3
parkings / garages	2
locaux non occupés	2

Note :

(1) un supplément d'éclairage peut être admis pour les postes de travail

(2) s'applique à toute l'installation d'éclairage, y compris les spots décoratifs et les projecteurs

7.4 Puissance électrique admissible pour l'éclairage extérieur (PAEE)

7.4.1 Règles générales

La puissance électrique à installer pour l'éclairage extérieur ne doit pas excéder la puissance électrique admissible pour l'éclairage extérieur (PAEE) calculée à partir des densités de puissance admissibles (dpee) indiquées dans le tableau suivant :

Tableau 33 Densité de puissance électrique admissible pour l'éclairage extérieur des bâtiments	
Description du lieu	dpee
Entrée principale	
sans auvent	25 W par ml d'ouverture
avec auvent	20 W par ml d'ouverture
passage dense (magasin, hôtel, aéroport, théâtre, etc.)	100 W/ m ² de surface d'auvent
passage léger (hôpital, bureau, école, etc.)	40 W/ m ² de surface d'auvent
entrée de service	15 W par ml d'ouverture
porte de chargement	15 W par ml d'ouverture
quai de chargement	3 W/ m ²
surfaces extérieures des bâtiments /façades	2W par m ² de surface à illuminer
aires de stockage et de travail	2,2 W/ m ²
(Hors activités manufacturières)	
autres aires pour activités occasionnelles, jardins aménagés	1,1 W/ m ²
allées de circulation privées	1,1 W/ m ²
allées de circulation publiques	1,6 W/ m ²
aire de parking privé	1,3 W/ m ²
aire de parking public	1,9 W/ m ²

7.4.2 Compensations

Pour le calcul de la puissance admissible pour l'éclairage extérieur, les règles de compensation suivantes peuvent être appliquées :

- les compensations entre la puissance admissible pour l'éclairage intérieur (PAEI) et la puissance admissible pour l'éclairage extérieur (PAEE) du bâtiment ne sont pas autorisées ;
- les compensations entre les puissances installées pour l'éclairage de chaque différente aire extérieure sont autorisées, pour autant que la somme des puissances installées pour l'éclairage extérieur n'excède pas la somme des PAEE ;
- pour une installation desservant plusieurs bâtiments, les compensations entre les puissances installées pour l'éclairage extérieur de chaque bâtiment sont autorisées.

Conclusion

Ce manuel technique d'éclairage aborde les technologies existantes en termes de luminaires, ainsi que les concepts de choix, de dimensionnement et de gestion des équipements d'éclairage.

Ce guide est un outil d'utilité considérable pour les professionnels dans leurs projets de construction ou de rénovation, puisqu'il permet une optimisation des choix d'éclairage et une meilleure gestion des installations.

Les professionnels du bâtiment sont ainsi encouragés par l'ADEREE à suivre les enseignements de ce guide afin de garantir des installations alliant, confort de l'utilisateur, optimisation de la facture énergétique et de l'impact sur l'environnement.



contact@aderee.ma

www.aderee.ma



 Imprimé sur papier recyclé