



éclairage

Éclairage
des surfaces de vente



Eclairage des bureaux, dans l'industrie et les surfaces de vente

Eclairage des surfaces de vente

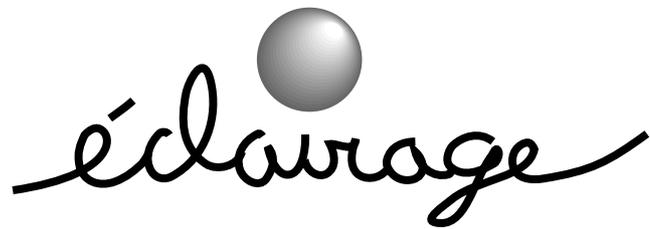
L'éclairage joue un rôle prépondérant dans les surfaces de vente: il lui incombe de créer une ambiance lumineuse stimulante et attrayante, qui soit propice aux acheteurs potentiels. Il est, de ce fait, souvent utilisé de manière abusive, les impératifs commerciaux reléguant les économies d'énergie au second rôle.

Pour une grande part des magasins, l'éclairage est responsable de plus de la moitié de la consommation d'électricité, à laquelle s'ajoute celle des installations de froid, nécessaires à l'évacuation de la charge thermique importante qui lui est associée (plusieurs centaines de kilowatts dans certains cas). Le changement de mentalité du consommateur, induit par les impératifs de sauvegarde de notre environnement et de nos ressources énergétiques, nous obligent aujourd'hui à modifier cela.

Ce manuel donne un aperçu des techniques d'éclairage naturel et artificiel, permettant d'atteindre cet objectif. Il illustre, en particulier, les possibilités d'économie d'énergie offertes par la lumière naturelle dans les grandes surfaces, ainsi que celles provenant de rénovations d'installations d'éclairage: ces économies atteignent dans les deux cas plus de 60%. Des exemples et des «check-lists» complètent cet ouvrage; ils doivent permettre de guider le praticien, désirant appliquer ces nouvelles techniques à des projets concrets.

ISBN 3-905233-46-0
Edition originale: ISBN 3-905233-50-9

1994, 108 pages
N° de commande 724.329.4f



Éclairage des surfaces de vente



Document français

■ Direction de projet :

Prof. J.-L. Scartezzini, ing. physicien EPFL, CUEPE/Université de Genève

■ Rédaction :

D. Chuard, architecte, Sorane SA, Lausanne

R. Monnard, technicien-éclairagiste de théâtre, Lausanne

B. Paule, architecte, CUEPE/Université de Genève

Prof. J.-L. Scartezzini, ing.-phys. EPFL, CUEPE/Université de Genève

Dr. S. Simos, architecte-éclairagiste, EIG, Genève

■ Dactylographie :

S. Riser, secrétaire, CUEPE/Université de Genève

■ Crédit photographique :

Amstein et Walthert, Philips, Régent, Zumtobel, LESO-PB

R. Monnard, Théâtre de Vidy

■ Associations de soutien :

ASE Association suisse des électriciens

SIA Société suisse des ingénieurs et des architectes

SLG Association suisse de l'éclairage

UTS Union technique suisse

■ Mise en page et photocomposition :

City Comp SA, Morges

Document allemand

■ Direction de projet :

Christian Vogt

■ Auteurs :

Christian Vogt, éclairagiste, Amstein & Walthert SA, Zurich

Carl-Heinz Herbst, éclairagiste, Amstein & Walthert SA, Zurich

Mario Rechsteiner, éclairagiste, Amstein & Walthert SA, Zurich

ISBN 3-905233-46-0

Edition originale: ISBN 3-905233-50-9

Copyright © 1994 Office fédéral des questions conjoncturelles, 3003 Berne, juin 1994.

Reproduction d'extraits autorisée avec indication de la source.

Diffusion : Coordination romande du programme d'action « Construction et Energie », EPFL-LESO, Case postale 12, 1015 Lausanne (Numéro de commande 724.329.4f)

Form 724.329.4f

08.94

750

U19647



Avant-propos

Le programme d'action "Construction et Energie" s'étend sur une durée de 6 ans (1990-1995) et se compose des trois programmes d'action suivants :

- PI-BAT – Entretien et Rénovation
- RAVEL – Utilisation rationnelle de l'électricité
- PACER – Energies renouvelables

Ces programmes d'action sont menés en étroite collaboration avec l'économie, les Hautes-Ecoles et la Confédération ; ils entendent promouvoir la créativité dans le domaine de l'énergie et de la construction, afin de réduire la consommation de matières premières et d'énergies non renouvelables et de diminuer l'impact sur l'Environnement par un engagement accru des praticiens.

Le programme RAVEL a pour objectif d'améliorer les compétences des professionnels en vue d'une utilisation rationnelle de l'énergie électrique. Outre les aspects de la sécurité et de la production, prioritaires jusqu'à aujourd'hui, il est devenu indispensable de prendre d'avantage en compte celui de l'efficacité d'utilisation de l'électricité. Dans le cadre de ce programme, une matrice de consommation a été élaborée qui définit, dans les grandes lignes, les domaines à considérer. Les processus dans l'industrie, le commerce et les services sont ainsi traités parallèlement aux problèmes d'utilisation de l'électricité dans les bâtiments. Dans ce contexte, le public visé par ce programme est constitué des spécialistes de formations diverses et des décideurs, qui sont amenés à gérer des investissements en matière d'équipement et de processus.

■ Activités

Les activités du programme RAVEL se composent principalement de projets d'étude et de diffusion de connaissances de base, qui se traduisent par des cycles de formation et de perfectionnement, ainsi que par de l'information. Le transfert de connaissances nouvelles est orienté principalement vers la pratique. Il repose sur des publications, des cours et des manifestations diverses. Une journée d'information annuelle permet de présenter et de discuter des nouveaux résultats et développements, ainsi que des tendances nouvelles au niveau de l'utilisation rationnelle de l'énergie.

Les personnes intéressées trouveront dans le journal "Construction et Energie" de plus amples informations sur le vaste éventail de possibilités en matière de formation continue. Cette publication paraît deux à trois fois par année et peut être obtenue sans frais auprès du LESO-PB, EPFL, 1015 Lausanne. En outre, chaque personne participant à un cours ou à une réunion recevra une publication spécialisée à cette occasion. Ces publications peuvent aussi être commandées, sans engagement, auprès de l'Office Central des Imprimés et du Matériel, 3000 Berne.

■ Compétences

Afin de pouvoir mener à bien cet ambitieux programme de formation, un concept d'organisation et d'élaboration a été adopté. Celui-ci permet de s'assurer, en particulier, de la supervision des activités du pro-



gramme par des spécialistes, ainsi que du soutien des associations professionnelles et des institutions de formation des domaines concernés. Une commission composée de représentants des associations, écoles et organisations intéressées définit le contenu du projet considéré et assure la coordination avec les autres activités du programme. Des organisations du domaine définissent les cours de formation continue souhaitables, alors qu'une équipe de direction de programme exerce le suivi de leur préparation (Direction de programme RAVEL : Dr. Roland Walthert, Werner Böhi, Dr. Eric Bush, Jean-Marc Chuard, Hans-Ruedi Gabathuler, Jürg Nipkow, Ruedi Spalinger, Dr. Daniel Spreng, Felix Walter, Dr. Charles Weinmann ainsi que Eric Mosimann, OFQC). L'élaboration des projets d'étude et de diffusion est pris en charge par des groupes de travail, qui sont appelés à résoudre des tâches spécifiques, dont le contenu, la durée et le coût sont définis.

■ Documentation

Le présent document a été soigneusement élaboré et a été diffusé après une période probatoire et une évaluation dans le cadre d'un cours-pilote. Ses auteurs ont conservé toute liberté d'apprécier et de considérer à leur gré divers points particuliers. Ils portent dans ce sens l'entière responsabilité de leur texte. Toute insuffisance mise éventuellement en évidence lors de la diffusion de ce document fera l'objet d'une correction. L'Office fédéral des questions conjoncturelles ou le directeur du cours, M. Prof. J.-L. Scartezzini, acceptent volontiers toute suggestion. Nous saisissons à cette occasion la chance de remercier ici toutes les personnes dont la précieuse collaboration a permis la parution de ce document.

Dr. B. Hotz-Hart
Vice-directeur de l'Office
fédéral des questions
conjoncturelles



TABLE DES MATIERES

■	Introduction	7
■	1. Exemples	9
1.1	Rénovation d'un grand magasin	11
1.2	Influence du type de clientèle	12
1.3	Magasin de produits alimentaires	14
1.4	Eclairage de vitrines	15
1.5	Exposition de meubles	17
1.6	Eclairage général	18
■	2. Caractéristiques globales du projet d'éclairage	21
2.1	Aspects énergétiques	23
2.2	Mise en scène lumineuse	25
2.3	Evaluation globale du projet	29
2.4	Stratégie globale du projet	34
2.5	Commande de l'éclairage	40
2.6	Choix des couleurs	41
■	3. Eclairage naturel	43
3.1	Risque d'altération des produits	45
3.2	Vitrines des magasins	47
3.3	Grandes surfaces	52
■	4. Maintenance	59
4.1	Encrassement des installations	61
4.2	Montage des luminaires	61
4.3	Remplacement des sources	61
4.4	Elimination des sources	62
■	5. Sources	63
5.1	Considérations générales	65
5.2	Choix des sources	68



■	6. Luminaires	75
	6.1 Choix des luminaires	77
	6.2 Rendement des luminaires	80
	6.3 Installations techniques	81
■	7. Appareils auxiliaires	85
	7.1 Considérations générales	87
	7.2 Ballasts pour tubes fluorescents	88
■	8. Check-list	91
	8.1 Local de vente	93
	8.2 Vitrine	94
■	9. Bibliographie	95
■	10. Répertoire alphabétique	97
■	Liste des publications RAVEL	101



1. EXEMPLES	9
■ 1.1 Rénovation d'un grand magasin	11
■ 1.2 Influence du type de clientèle	12
■ 1.3 Magasin de produits alimentaires	14
■ 1.4 Eclairage de vitrines	15
■ 1.5 Exposition de meubles	17
■ 1.6 Eclairage général	18



1. EXEMPLES

1.1 RÉNOVATION D'UN GRAND MAGASIN

L'exemple suivant, relatif à la rénovation de l'installation d'éclairage d'un magasin de produits alimentaires, montre que le choix de luminaires appropriés permet, d'une part d'économiser de l'énergie, et d'autre part de créer un éclairage plus attrayant.

Caractéristiques	Ancienne installation	Nouvelle installation
Type de luminaire	Luminaire opal 4 x 40 W	Luminaire à optique miroitée 2 x 58 W
Puissance de raccordement	12,5 kW	5,3 kW
Heures d'exploitation annuelles	2000 h	2000 h
Consommation annuelle	25'080 kWh	10'600 kWh
Eclairage	300 lux	500 lux
Coût du kWh	Fr. 0.17	Fr. 0.17
Coût énergétique annuel	Fr. 5'478. –	Fr. 2'315. –
Economie annuelle		Fr. 3'163. –

Table 1.1 : Rénovation de l'éclairage d'un grand magasin.



Fig. 1.1 : Vue de l'ancienne installation d'éclairage (luminaires opals 4 x 40 W)

Commentaires

Cette installation éclaire aussi bien le magasin de manière générale (zones de circulation, caisses, etc.), que les produits : on utilise souvent ce mode d'éclairage dans les « discounts ». En renonçant totalement à des accentuations lumineuses, ou en limitant ces dernières au strict minimum, on réduit considérablement la consommation électrique de ce type de surface de vente, en comparaison à des grands magasins ou des commerces de détail. En règle générale, l'impression ressentie dans ces locaux est monotone (du fait de l'éclairage très uniforme). Cela n'est, toutefois, pas incompatible avec la clientèle potentielle (grand public) et le genre de produits proposés (rabais de quantité, etc.).

1.2 INFLUENCE DU TYPE DE CLIENTELE

L'exemple suivant montre qu'aux différents groupes de clientèle potentielle correspondent différents modes d'éclairage. Le premier exemple est celui d'un grand magasin, axé sur des produits avantageux d'usage quotidien. Le second concerne un grand magasin situé dans un autre créneau de marché : il s'adresse à une clientèle intéressée par des articles de marque de haute qualité. Les deux magasins en question ont fait l'objet d'une rénovation, et en particulier leur installation d'éclairage.

Type d'éclairage	Discount	Articles de marque
Eclairage général	2 W/m ² /100 Lux (13W/m ² pour 650 Lux)	2.5W/m ² /100 Lux (10W/m ² pour 400 Lux)
	Sources : lampes compactes	Sources : halogénures métalliques
Eclairage mural	29 W/m. linéaire	90 W/m. linéaire
	Sources : tubes fluorescents	Sources : halogènes
Eclairage d'accentuation	4,1 W/m ²	10 W/m ²
	Sources : halogènes	Sources : halogènes

Table 1.2 : Influence du type de clientèle sur l'éclairage.



Fig. 1.2 : Vue d'un grand magasin diffusant des produits courants.



Fig. 1.3 : Vue d'un grand magasin d'articles de marque.

Observations

Dans le premier exemple, l'éclairage des locaux de vente est, en majeure partie, assuré par des tubes fluorescents. On réalise ainsi un éclairage efficace du point de vue énergétique, caractérisé par un niveau d'éclairement élevé. Les accentuations lumineuses sont réduites au strict minimum.

L'éclairage des locaux de vente du deuxième magasin est assuré par plusieurs types de luminaires et de sources. L'éclairage de base se caractérise, en l'occurrence, par un niveau d'éclairement considérablement réduit. L'éclairage mural et d'accentuation permet de mettre une multitude de points de vente en évidence. Ce mode de présentation d'articles de vente tend à créer une atmosphère agréable et personnalisée. On fera, toutefois, appel à des luminaires d'accentuation, dont le flux est intensif et bien collimaté (lampes halogènes dichroïques par ex.). Il est alors possible de mettre en évidence ces points avec un effet marqué, tout en minimisant la consommation d'énergie (une lampe dichroïque de 20W peut remplacer efficacement un « spot » de 100W). Le nombre de ces sources doit être aussi faible que possible, afin d'éviter une consommation excessive d'énergie.

1.3 MAGASIN DE PRODUITS ALIMENTAIRES

L'exemple suivant montre une installation d'éclairage de 25 ans d'âge. La surface du magasin est de 615 m² pour une hauteur sous plafond de 3 m. La puissance de raccordement des luminaires à trois tubes (3 x T 36 W) a déjà été réduite d'un tiers par le passé. Dans le cadre d'une transformation du magasin, toute l'installation d'éclairage a été assainie.

Caractéristiques	Ancienne installation	Proposition de rénovation
Type de luminaire	Luminaire en applique, tri-tube, ouvert	Luminaire en applique, mono-tube, réflecteur blanc
Type de source	Standard T 36 W	Trois bandes T 36 W
Indice de rendu des couleurs	70 - 79	80 - 89
Flux lumineux	2800 lm	3450 lm
Ballasts	Magnétiques $P_b = 10,5 \text{ W}$	Faibles pertes $P_b = 4 \text{ W}$
Eclairement horizontal	600 lx	450 lx
Puissance spécifique	env. 22 W/m ²	env. 7.2 W/m ²
Consommation annuelle	34'000 kWh	12'000 kWh

Table 1.3 : Rénovation d'un magasin de produits alimentaires.



Observations

Au cours de la rénovation, l'éclairage a été volontairement ramené à la valeur de 450 Lux. L'ancienne installation, constituée de luminaires ouverts (sans grilles paralumes), avait pour effet de rendre le plafond extrêmement clair. Les produits sur les étagères étaient, en conséquence, mal mis en valeur du fait du fort contraste induit. L'adjonction d'un réflecteur sur ces derniers a permis de corriger cela, tout en abaissant le niveau d'éclairage et en réduisant la consommation d'énergie.

1.4 ECLAIRAGE DE VITRINES

Deux tiers des vitrines sont encore éclairées, aujourd'hui, par des lampes à incandescence. A même éclairage, il est possible de réduire de près de 80 % la consommation d'électricité de ces dernières, en faisant appel à des nouvelles sources plus efficaces (lampes fluorescentes compactes) et à des luminaires de meilleur rendement (optique miroitée).

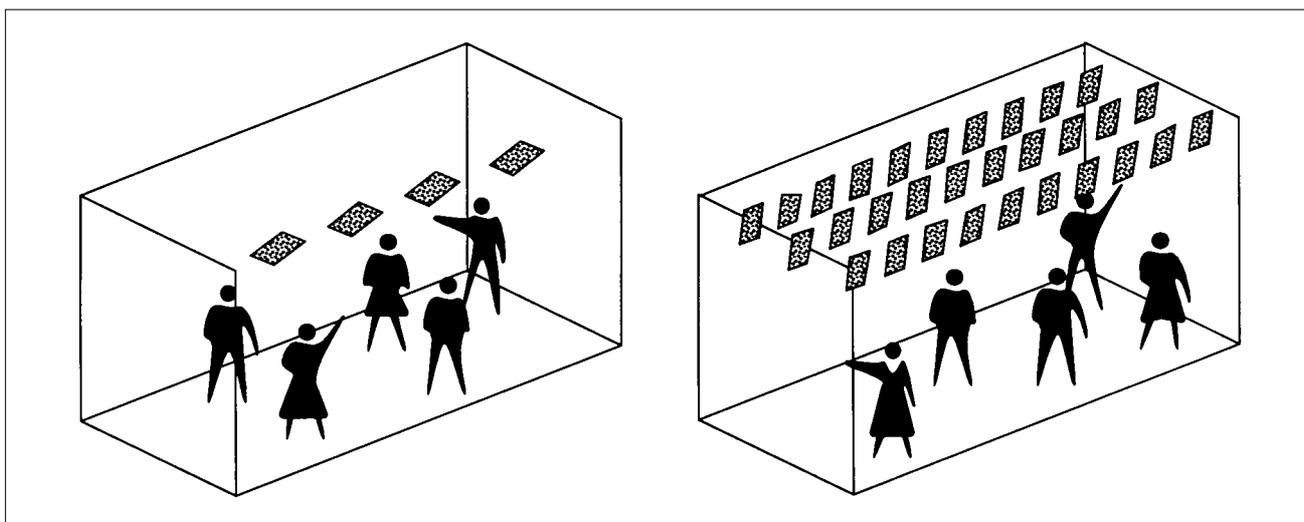


Fig. 1.4 : Illustration de l'ancien et du nouvel éclairage de vitrines.

Caractéristiques	Ancienne génération	Nouvelle génération
Type de luminaire	Spot halogène 150 W	Spot halogénures métalliques 120 W
Nombre de sources	30	4
Puissance de raccordement	3,6 kW	0,68 kW
Heures d'exploitation annuelles	2600 h	2600 h
Consommation annuelle d'énergie	9'360 kWh	1'768 kWh
Eclairage	1500 lux	1500 lux
Coût du kWh	Fr. 0.17	Fr. 0.17
Coût énergétique annuel	Fr. 2'044. –	Fr. 390. –
Economie annuelle		Fr. 1'654. –

Table 1.4 : Eclairage de vitrine d'ancienne et de nouvelle génération.



Fig. 1.5 : Vitrine munie de projecteurs « spots » PAR (ancienne génération).



Fig. 1.6 : Vitrine munie de projecteurs pour lampes à décharge HMI (nouvelle génération).



Observations

Il est possible de réaliser de substantielles économies d'énergie dans les vitrines, simultanément à une réduction des coûts d'exploitation (diminution des frais d'entretien et de maintenance). La rentabilité d'une installation ne dépend, toutefois, pas uniquement de sa consommation d'électricité : d'autres facteurs interviennent (influence sur la vente, conditions de travail, etc.).

Dans le cas des vitrines, une réduction substantielle de la consommation d'énergie et des coûts d'entretien peut être obtenue en remplaçant des lampes halogènes (lampes « spots » PAR) par des lampes à décharge (« spots » HMI). La durée de vie de ces dernières est trois fois supérieure aux premières.

On relèvera, par ailleurs, qu'à efficacité lumineuse élevée correspond une charge thermique plus faible pour les installations techniques du bâtiment [3]. L'altération des produits, provoquée par les excès de chaleur, est aussi atténuée.

1.5 EXPOSITION DE MEUBLES

Au cours des années passées ont été assainies les installations d'éclairage de plusieurs succursales d'un grand groupe, spécialisé dans le commerce du meuble. On a cherché, en l'occurrence, à réduire la consommation d'énergie grâce à des luminaires et à une commande appropriés [5].

Des lampes fluorescentes, caractérisées par un rendement d'éclairage élevée et un très bon rendu des couleurs, ont été utilisées pour l'éclairage général. Un éclairage d'accentuation, constitué de lampes halogènes basse tension, crée une ambiance agréable et dynamise l'apparence des locaux d'exposition. Grâce à des détecteurs de mouvement, la durée de fonctionnement de l'éclairage a été réduite et adaptée à la fréquence des visiteurs.

La surface éclairée est subdivisée en secteurs de 300 à 400 m². Des détecteurs de mouvement à infrarouge, placés dans ces secteurs, commandent les diverses parties de l'installation d'éclairage. Grâce à une commande programmable à mémoire, l'éclairage peut être augmenté, lorsque un visiteur se présente. Après détection du dernier mouvement et écoulement d'un certain temps, le niveau d'éclairage est réduit de 75 %. Si aucun mouvement n'est détecté pendant un deuxième laps de temps, le secteur concerné est déclenché.

Des mesures de consommation d'énergie, effectuées au cours de la première année, ont révélé qu'il était possible d'économiser approximativement 70 % d'électricité par rapport à une installation conventionnelle.

1.6 ECLAIRAGE GÉNÉRAL

Il est, en principe, nécessaire d'équiper chaque magasin d'un éclairage général. Trois types différents d'installations sont considérés, ci-après, pour le même magasin.

Caractéristiques	Variante 1	Variante 2	Variante 3
Type de luminaire	Luminaire monotube à optique miroitée matte	Luminaire bi-tube à optique miroitée matte	Downlight bi-tube à optique brillante
Rendement des luminaires	68 %	58 %	70 %
Type de source	Fluorescent trois bandes T 58 W	Fluorescent trois bandes TC-L 36 W	Fluorescent trois bandes TC-D 18 W
Indice de rendu des couleurs	80 - 89	80 - 89	80 - 89
Flux lumineux total	5200 lm	5570 lm	2300 lm
Ballast	Electronique, $P_b = 5 \text{ W}$	Electronique, $P_b = 6 \text{ W}$	Electronique, $P_b = 6 \text{ W}$
Eclairage horizontal	500 lx	500 lx	500 lx
Eclairage vertical	200 lx	180 lx	130 lx
Puissance spécifique	10 W/m ²	13 W/m ²	17 W/m ²
Puissance de raccordement	3 kW	4,0 kW	5,2 kW

Table 1.5 : Variantes d'éclairage général.



Fig. 1.7 : Eclairage général par luminaires monotubes à optique miroitée.



La première variante est caractérisée par la plus faible puissance spécifique ; elle est donc, formellement, la plus avantageuse sur le plan énergétique.

La seconde variante se distingue par un flux lumineux mieux réparti selon les axes longitudinal et transversal (contrairement à la première variante qui diffuse le flux lumineux selon un seul axe). Sa consommation est plus élevée (13W/m^2) ; elle demeure, toutefois, raisonnable par rapport à d'anciennes installations.



Fig. 1.8 : Eclairage général par luminaires « downlights » à lampes compactes.



2. CARACTÉRISTIQUES GLOBALES DU PROJET D'ÉCLAIRAGE	21
■ 2.1 Aspects énergétiques	23
■ 2.2 Mise en scène lumineuse	25
■ 2.3 Evaluation globale du projet	29
■ 2.4 Stratégie globale du projet	34
■ 2.5 Commande de l'éclairage	40
■ 2.6 Choix des couleurs	41



2. Caractéristiques globales du projet d'éclairage

2.1 ASPECTS ÉNERGÉTIQUES

Réduire la consommation d'énergie dans les surfaces de vente est un objectif prioritaire; on assiste, trop souvent, à un gaspillage considérable d'énergie dans ces derniers, du fait d'une surenchère de dispositifs d'éclairage utilisés à mauvais escient.

La figure 2.1 montre qu'il est, par ailleurs, nécessaire d'accorder une attention toute particulière au cas des grands magasins.

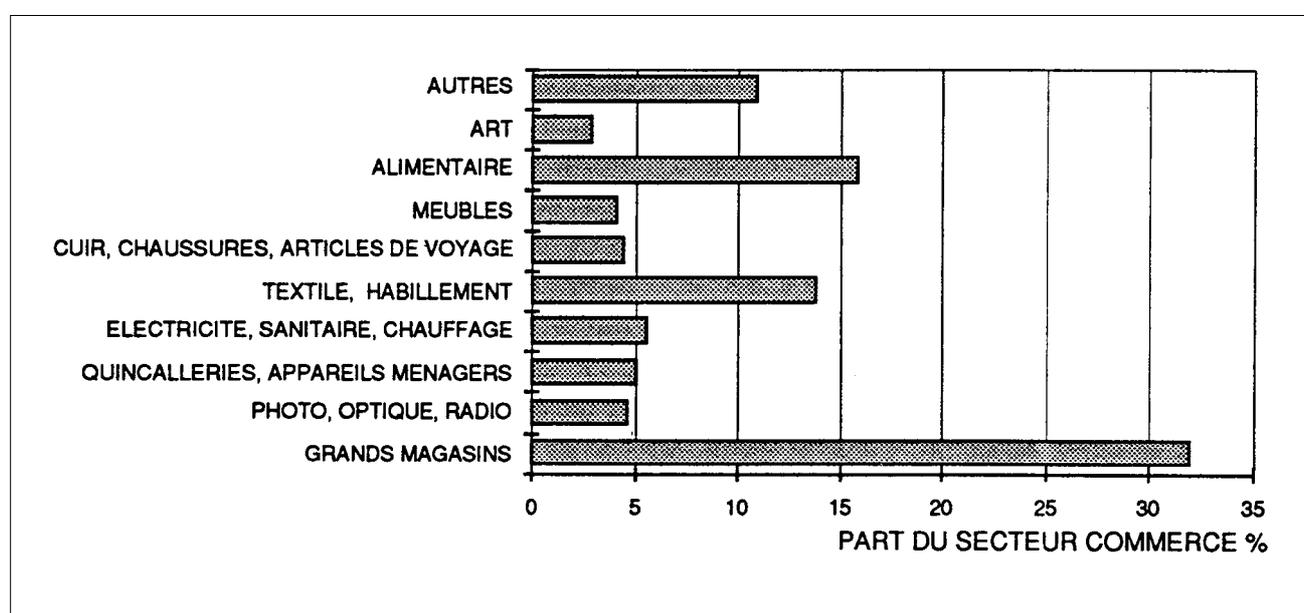


Fig. 2.1: Répartition de la consommation d'électricité des commerces dans le Canton de Genève (Statistiques cantonales, 1985).

Des contraintes majeures influencent, toutefois, le projet d'éclairage dans les surfaces de vente: elles sont liées aux impératifs commerciaux dictés par la vente de biens et de produits. Il s'agit, donc, de prendre en compte ces derniers, tout en cherchant à réduire au maximum la consommation d'électricité des installations d'éclairage. L'encadré suivant résume la démarche à adopter pour atteindre cet objectif.

Economies d'énergie dans les surfaces de vente

La conception et la réalisation d'une installation d'éclairage a pour but:

- de créer une atmosphère favorable à la vente de produits;
- d'assurer le bien-être des employés et des clients;
- de maximiser les conditions de sécurité.



Ces objectifs doivent être atteints en réduisant, autant que possible, la consommation d'énergie de l'installation.

Dans le cas des surfaces de vente, il ne suffit pas de réduire le niveau d'éclairage des produits pour réaliser des économies d'énergie. A même niveau d'éclairage, il est possible d'améliorer l'ambiance visuelle et les effets lumineux par l'éclairage, afin d'accentuer la mise en valeur des produits: cela peut être réalisé en modérant, toutefois, la consommation d'énergie.

Les mesures d'économies d'énergie doivent donc être, là plus qu'ailleurs, mûrement pensées et réfléchies. Leurs interactions, avec les critères de perception visuelle, devront être obligatoirement considérées.

Une mesure essentielle, en vue d'économies d'énergie, consiste à séparer l'éclairage de base (éclairage général) de l'éclairage d'accentuation (dirigé vers les produits).

La figure 2.2 indique les valeurs-cibles et les valeurs-limites, recommandées par la SIA 380/4 [20], en ce qui concerne l'éclairage général et l'éclairage d'accentuation. La classe du local est fonction, pour les surfaces de vente, des besoins en éclairage. On distingue les besoins:

- faibles (300 Lux, Classe 1);
- moyens (500 Lux, Classe 2);
- élevés (700 Lux, Classe 3).

Classe	Eclairage général		Eclairage d'accentuation [W/m ²]
	Valeurs-cibles [W/m ²]	Valeurs-limites [W/m ²]	
1	7	10	5
2	15	20	10
3	25	35	15

Fig. 2.2: Valeurs-cibles et valeurs-limites de la puissance spécifique installée d'éclairage dans les surfaces de vente [20].

En ce qui concerne l'éclairage général, il est recommandé d'utiliser:

- des sources à efficacité lumineuse élevée (tubes fluorescents, lampes compactes);
- des luminaires à haut rendement et à répartition intensive du flux lumineux (orientés vers les produits de vente).

Les surfaces verticales, qui apparaissent ainsi relativement sombres, seront mise en valeur par l'éclairage d'accentuation. Il est préférable, en ce qui concerne ce dernier, de faire appel à un flux lumineux bien focalisé, qui peut être réalisé à l'aide de sources de très petite taille (lampes halogènes, lampes à halogénures métalliques).

Grâce à la focalisation du flux (réflecteur parabolique miroité), de faibles puissances (20 à 50 Watts) peuvent être utilisées pour réaliser un éclairage ponctuel; la grandeur du faisceaux est dictée par la taille de l'objet à mettre en valeur.



2.2 MISE EN SCENE LUMINEUSE

Des techniques de mise en scène lumineuse permettent d'obtenir un effet visuel approprié et maximal. L'encadré suivant rappelle l'importance de ces techniques du point de vue de la consommation d'énergie; ce paragraphe décrit brièvement ces dernières, en tirant profit de l'expérience acquise dans le domaine de l'éclairage de théâtre.

Importance de la mise en scène lumineuse

L'utilisation de techniques appropriées de mise en scène lumineuse permet, à éclairage constant, d'accentuer la perception d'un objet et de réaliser des effets visuels intéressants. Le choix d'une direction judicieuse d'éclairage permet, tout en améliorant ces effets, de réduire la puissance de raccordement de l'éclairage d'accentuation de près de 70%.

■ Règles principales

Pour mettre en valeur un objet sur un étalage (ou un comédien sur une scène), il est indispensable de prendre en compte:

- la position de la source lumineuse (projecteur), ainsi que la direction et la qualité de son faisceau (intensif, extensif);
- la position et les caractéristiques physiques de l'objet éclairé;
- la position de l'observateur, la direction de son regard et ses réactions psycho-physiologiques à cette mise en scène.

La «lisibilité de la lumière» (cf. fig. 2.3) dépend de l'importance relative de deux types d'ombres différentes:

- l'ombre de l'objet sur lui-même (elle donne à ce dernier un certain relief);
- l'ombre portée par l'objet sur son entourage.

Ces deux types d'ombres peuvent être plus ou moins marquées, à l'image du mouvement expressionniste en peinture.

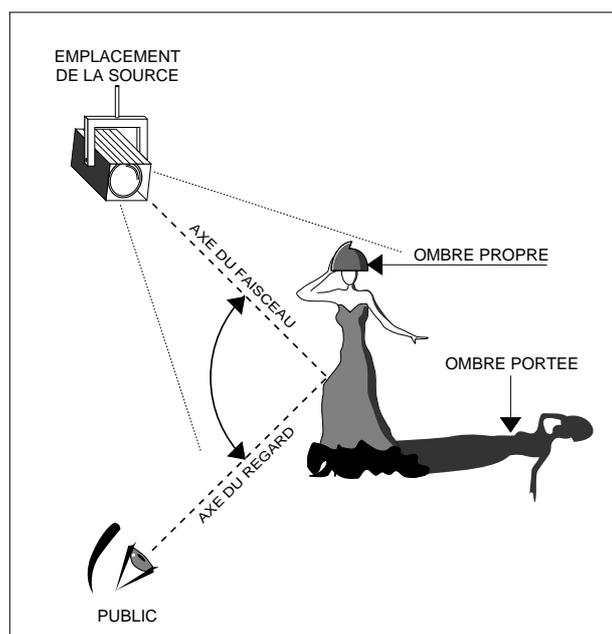


Fig. 2.3: Mise en scène lumineuse d'un objet (ou d'un comédien).



L'effet visuel causé par un projecteur dépend, en particulier, de sa position par rapport à l'objet éclairé. La figure 2.4 donne un aperçu des positions possibles et de leur désignation dans le domaine du théâtre.

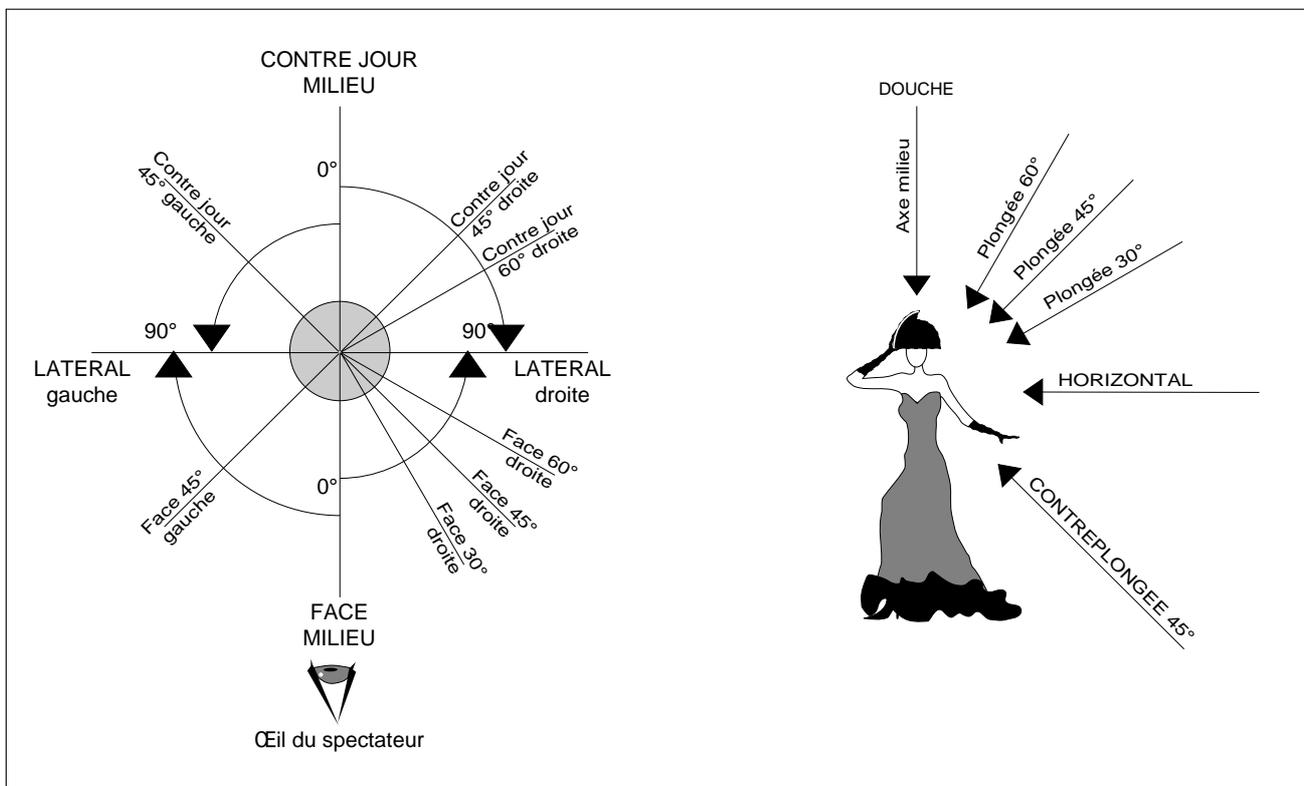


Fig. 2.4: Désignation des différentes positions de projecteurs.

■ Eclairage de face

On distingue principalement trois variantes possibles pour l'éclairage de face, illustrées à la figure 2.5:

- la plongée;
- la douche;
- la contre-plongée.

Chacune d'elles se caractérise par des effets visuels très différents.

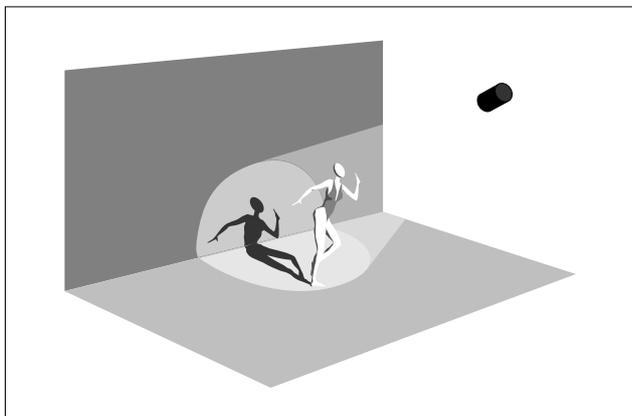
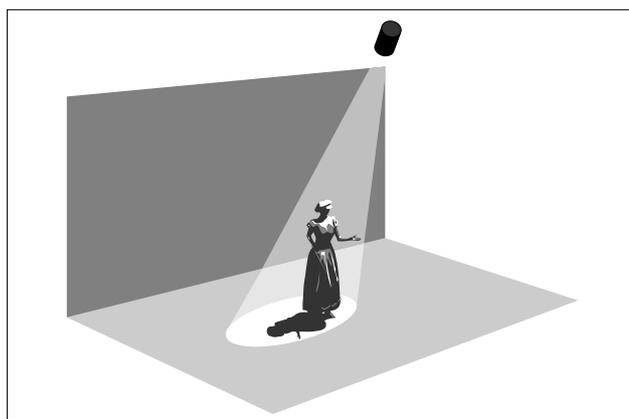


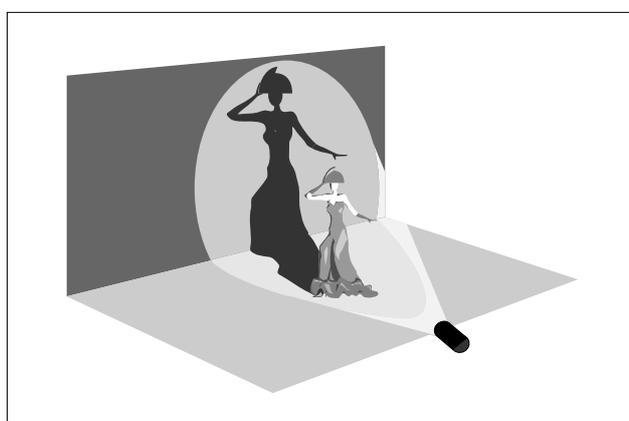
Fig. 2.5: Effet visuel provoqué par un éclairage de face
a) plongée: effacement du volume et du relief.



b) douche: visage creusé et relief marqué.



c) contre-plongée: effet dramatique.



La plongée se distingue par le fait qu'elle efface simultanément le relief et le volume de l'objet: celui-ci apparaît comme réduit en deux dimensions. L'effacement des ombres sur l'objet s'obtient même avec un faible flux lumineux. Il ne sert donc à rien d'augmenter inutilement ce dernier (économies d'énergie).

La douche permet d'obtenir un effet visuel dramatique: elle creuse le visage d'un mannequin (ou d'un comédien) et réduit l'ombre portée à son minimum.

La contre-plongée donne un effet mélodramatique très marqué sur un mannequin; elle s'avère aussi particulièrement intéressante lorsqu'il s'agit de mettre en valeur la transparence de tissus et de faire ressortir les détails d'un objet (reliefs).

■ Eclairage latéral

L'éclairage latéral (cf. fig. 2.6) a pour particularité de mettre en valeur le relief d'un objet: elle lui donne du volume. En utilisant deux projecteurs, dirigés dans des directions opposées, on peut obtenir un effet particulièrement saisissant si les faisceaux de ces derniers ne touchent pas le sol: l'objet paraît flotter dans les airs.

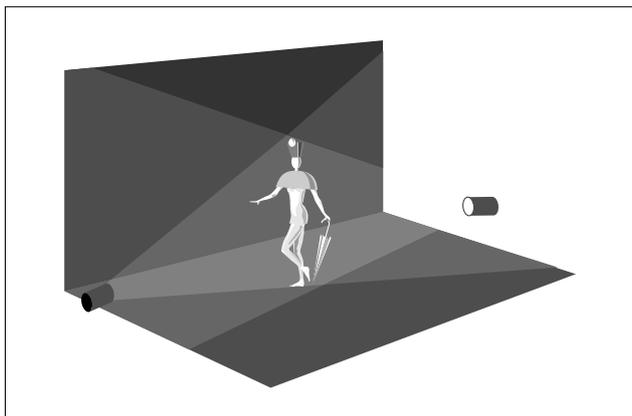


Fig. 2.6: Eclairage latéral: effet de volume.



■ Eclairage à contre-jour

Le contre-jour (cf. fig. 2.7) permet de faire ressentir, de façon très marquée, l'effet de profondeur. Il permet de détacher l'objet de son décor (fond) ou de le détacher visuellement d'autres objets (groupe de mannequins).

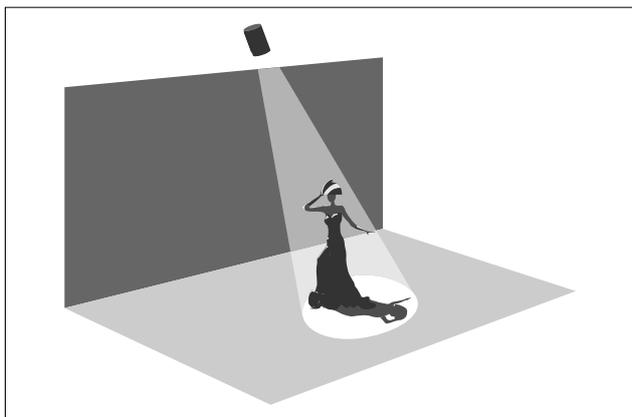


Fig. 2.7: Eclairage à contre-jour: perception de la profondeur accentuée.



On recommande en éclairage de théâtre de faire appel à 4 sources, de position et de direction différentes, pour obtenir un effet visuel optimal. Il est possible dans les surfaces de vente d'employer moins de sources pour ce même effet, en tirant profit de la lumière du jour et de l'éclairage général. Les quatre sources en question permettent:

- de produire une « lumière-clef » (éclairage principal), de direction et d'intensité fonction de la mise en scène lumineuse souhaitée;
- d'obtenir un rééquilibrage des ombres;
- d'accentuer le relief et le volume de l'objet;
- d'éclairer l'espace scénique, dans lequel s'insère l'objet (décor).

Un projecteur (source HMI par ex.) ne permettra pas à lui seul d'assurer cette mise en scène: il provoque une forte ombre portée, mais accentue aussi les ombres propres, qui deviennent alors particulièrement profondes et marquées. L'utilisation d'autres sources complémentaires permettra d'adoucir ces ombres propres et de différencier les détails.



■ Effet visuels spéciaux

La teinte du faisceau lumineux d'un projecteur (température de couleur) exerce une grande influence sur la perception des couleurs de l'objet éclairé. Il est parfois judicieux d'accentuer certaines dominantes chromatiques, en utilisant une teinte appropriée (température de couleur «chaude» pour les rouges par ex.). La projection de formes lumineuses, grâce à un filtre à découpe, permet elle de produire un effet visuel donné.

Il existe, dans le domaine de l'éclairage de théâtre, un certain nombre de filtres qui permettent d'obtenir ces effets. On répartir ces derniers selon trois catégories:

- les filtres convertisseurs, permettant de modifier la température de couleur d'un faisceau (conversion d'une couleur «chaude» à «lumière du jour»);
- les filtres colorants, permettant de reproduire les couleurs primaires ou pastelles (plus de 70 filtres disponibles);
- les filtres diffusants, permettant d'obtenir une lumière diffuse (filtre opalin strié, etc.).

Ces filtres, peu utilisés jusqu'à aujourd'hui dans les surfaces de vente, permettent d'enrichir la gamme d'effets visuels réalisables; ils contribuent à une plus grande créativité en matière d'éclairage, sans accroître pour autant la consommation d'énergie.

2.3 EVALUATION GLOBALE DU PROJET

L'influence de la lumière sur l'homme, de même que les mécanismes de perception visuelle, sont complexes. La comparaison de différentes variantes d'éclairage implique donc de prendre en compte d'autres aspects que ceux du niveau d'éclairement atteint, de la puissance installée et du coût de revient de l'installation.

Une grande partie des facteurs, qui influencent l'aspect promotionnel de l'éclairage, sont de nature qualitative et ne peuvent être quantifiés. Pour comparer différentes variantes, il convient donc de faire appel à une méthode d'évaluation globale du projet (analyse de la valeur utile).

Cette méthode permet de déterminer, parmi un ensemble de variantes d'éclairage possibles, celle qui est globalement la plus avantageuse.

On définit tout d'abord les critères déterminants pour l'évaluation de l'installation d'éclairage. Il est indiqué de classer ces critères par ordre hiérarchique; on définit, en l'occurrence, des termes clés qui sont détaillés en critères partiels par la suite.

Il faut cependant, et au préalable, respecter les conditions suivantes:

- prendre en compte l'ensemble des critères jugés importants pour évaluer le projet;
- utiliser des critères d'évaluation qui soient indépendants les uns des autres;
- s'abstenir de considérer des critères financiers au cours de cette évaluation.



Le déroulement d'une telle analyse est présenté à la table suivante sur la base de l'évaluation des trois variantes d'éclairage général du paragraphe 1.6.

Critères d'évaluation	Systèmes d'éclairage							
	PON	%	Variante 1		Variante 2		Variante 3	
			DS	VU	DS	VU	DS	VU
Présentation des produits								
Réflexions, brillances	4	10	3,5	35	4	40	3	30
Reconnaissance des formes Ombres	4	10	3,5	35	4	40	2,5	25
Attractivité	5	12	3	36	4,5	54	3	36
Animation du local								
Distribution de luminance dans le local	4	10	2	20	4	40	3	30
Eblouissement	4	10	4	40	3,5	35	3	30
Ambiance lumineuse	3	7	1	7	2	14	3	21
Esthétique								
Apparence des luminaires	1	2	3	6	3	6	4	8
Exploitation								
Efficacité lumineuse	4	9	4	36	3	27	2,5	23
Durée de vie	3	7	4,5	32	4	28	3,5	32
Facilité de maintenance	3	7	3,5	25	4	28	4	28
Nombre de sources	3	7	4	28	2,5	18	2	14
Total	42	100		337		357		302

PON : facteur de pondération
DS : degré de satisfaction
VU : valeur utile

$$VU = PON [\%] \times DS$$

Table 2.1: Méthode d'évaluation globale du projet d'éclairage (analyse de la valeur utile).

Dans cette table figure, en première colonne, la classification des critères spécifiques. Celle-ci contient les termes clés (en caractères gras) permettant de qualifier l'éclairage d'une surface de vente. Ces termes sont détaillés, afin de pouvoir mieux être évalués. Cette classification est trop grossière pour une application pratique; elle a volontairement été simplifiée pour des raisons didactiques.

Comme les différents critères n'ont pas tous la même importance en ce qui concerne la qualité de l'installation, il convient de les pondérer avant d'évaluer ces derniers. La manière la plus simple de procéder consiste à utiliser une échelle de pondération, comme celle donnée à la table suivante.

Importance du critère	Facteur de pondération
pas important	1
peu important	2
important	3
très important	4
extrêmement important	5

Table 2.2: Degré d'importance des critères d'évaluation.



La somme de tous les facteurs de pondération doit être égale à 100%; chaque facteur est donc normalisé à partir du total initial (2ème colonne de la table 2.1). On obtient ainsi pour la première ligne:

$$4 \times \frac{100}{42} = 10 \%$$

On examine, ensuite, dans quelle mesure les différentes variantes du projet satisfont aux différents critères. A cet effet, on définit tout d'abord une échelle de degré de satisfaction. L'échelle suivante, comprenant 6 degrés, a en l'occurrence parfaitement fait ses preuves. A l'aide de cette échelle, on établit une correspondance pour chaque critère entre une description relative à celui-ci et les différents degrés de satisfaction. La table suivante illustre cela pour les cas traités précédemment.

Condition	Degré de satisfaction
insatisfaite	0
mal satisfaite	1
insuffisamment satisfaite	2
suffisamment satisfaite	3
bien satisfaite	4
parfaitement satisfaite	5

Table 2.3: Degré de satisfaction des critères d'évaluation.

Avant d'entreprendre l'évaluation du projet, on déterminera tout d'abord les critères qui doivent absolument être satisfaits, (ceux qui doivent en tout cas atteindre le degré de satisfaction 3). On peut alors éliminer les variantes qui ne satisfont pas cela, ce qui évite du travail inutile. Le degré de satisfaction est déterminé pour chaque variante à partir de la table 2.4.

La table 2.5 résume les appréciations données à chaque variante, ainsi que les degrés de satisfaction atteints.

La valeur utile de chaque critère d'appréciation n'est autre que le produit du facteur de pondération et du degré de satisfaction obtenu. Dans notre exemple, les différentes valeurs utiles calculées figurent dans les colonnes VU. Il s'agit en l'occurrence de valeurs abstraites, dont la somme correspond à la valeur utile totale de la variante. Cette somme n'a, dans l'absolu, aucune signification; elle prend tout son importance lors de la comparaison avec d'autres variantes (valeur relative).

Il ressort de notre exemple, que la variante 2 d'éclairage général est la plus avantageuse, quand bien même elle ne figure qu'au second rang en ce qui concerne la puissance installée. Sa puissance spécifique est de 13 W/m², ce qui demeure raisonnable. On observera, toutefois, que la variante 1 permet de réduire cette puissance de près de 30%: sa puissance spécifique est de 10 W/m² pour un éclairage horizontal de 500 Lux.

Il n'est pas toujours possible d'établir des critères d'appréciation clairs et précis: l'évaluation d'un projet est donc souvent affaire de jugement et d'expérience. Cela nécessite un certain savoir-faire, qui ne peut être matérialisé que par la constitution d'une équipe de travail, comprenant toutes les personnes concernées par le projet. Il est, par ailleurs, vivement recommandé de procéder aux pondérations et appréciations des différents critères sans avoir connaissance des soumissions, de façon à exercer un jugement aussi neutre que possible.



Critères	Degré de satisfaction					
	0	1	2	3	4	5
Présentation des produits Réflexions, brillances	Réflexions et brillances insupportables. Perception visuelle des produits fortement perturbée	Réflexions et brillances intenses. Possibilité de les atténuer partiellement en modifiant l'angle de vision	Réflexions et brillances intenses, mais localisés. Possibilité de les éviter en modifiant l'angle de vision.	Réflexions et brillances localisées, atténuant la vision des produits.	Réflexions et brillances de grande surface et à faible luminance perturbant faiblement la perception visuelle.	Absence de réflexions et brillances.
Reconnaissance des formes, ombres	Ombres trop marquées. Détails imperceptibles dans les zones d'ombre. Les formes sont peu reconnaissables.	Ombres marquées. Détails imperceptibles dans les zones d'ombre. Les formes sont difficilement reconnaissables.	Ombres assez peu marquées. Petits détails imperceptibles dans les zones d'ombre.			Rapport équilibré entre la lumière directe et diffuse. Structures et formes aisément reconnaissables.
Attractivité	Pas de relief, effet visuel triste.		Faible relief, température de couleur verdâtre ou bleuâtre.	Relief modéré, température de couleur jaunâtre ou rougeâtre.		Brillance équilibrée, température de couleur agréable
Animation du local Distribution de luminance dans le local	Contrastes insupportables. Monotonie totale.	Variation perceptible de luminance, mais trop faible.				Variation harmonieuse de luminance. Perception de l'espace attrayante.
Eblouissement direct	Eblouissement direct insupportable. Luminance des luminaires au-dessus de 60° > 50 kcd/m2	Eblouissement direct gênant. Luminance des luminaires au-dessus de 60° > 20 kcd/m2	Eblouissement classe 3.	Eblouissement classe 2.	Eblouissement classe 1.	Pas d'émission lumineuse au-dessus de 50°.
Aménagement sur le plan de l'éclairage	Impossible	Possible uniquement dans certains cas		Possible avec certaines restrictions		Possible sans restrictions
Esthétique Apparence des luminaires	Les luminaires dominent l'espace.		Les luminaires accentuent l'espace.	Les luminaires accentuent l'espace.	Les luminaires influencent l'espace.	Pas d'influence sur l'espace.
Exploitation Efficacité lumineuse	< 10 lm/W	< 20 lm/W	< 40 lm/W	< 70 lm/W	< 90 lm/W	≥ 90 lm/W
Durée de vie des sources	< 1'000 h	≥ 1'000 h	≥ 2'000 h	≥ 4'000 h	≥ 8'000 h	≥ 16'000 h
Charge thermique de l'éclairage	100 %	> 80 %	> 60 %	> 40 %	> 20 %	≥ 20 %
Facilité de maintenance		Mauvaise accessibilité. Echafaudages indispensables. Sources difficiles à manier.	Accessibilité problématique. Grande échelle indispensable.	Petite échelle. Remplacement des sources possible avec outillage approprié.	Escabeau. Pas d'outillage nécessaire.	Remplacement des sources possible sans échelle et sans outillage.
Nombre de sources par dizaine de m ² de surface éclairée	> 16	≤ 16	≤ 8	≤ 4	≤ 2	≤ 1

Table 2.4: Détermination du degré de satisfaction.



Critères d'évaluation	Dispositifs d'éclairage		
	Variante 1	Variante 2	Variante 3
Présentation des produits Reflets, brillances	La luminance est assez élevée dans la direction d'émission lumineuse (effet d'optique miroitée). DS = 3,5	Le luminaire carré produit un éclairage ponctuel. Les luminaires sont très éloignés les uns des autres: l'effet est équilibré. DS = 4	Dans la zone d'émission lumineuse, la luminance est assez élevée; écartement entre les luminaires est faible. De nombreuses réflexions ne peuvent être équilibrées. DS = 3
Reconnaissance des formes ombres	Lumière très directive, émise en bandes dans l'axe longitudinal. Ombres modérées et reconnaissance acceptable des formes. DS = 3,5	Distribution lumineuse intensive, selon les principaux axes. Ombres relativement douces. DS = 4	Luminaire ponctuel. Réflecteur à répartition intensive dans toutes directions. Ombres bien marquées. DS = 2
Attractivité	Température de couleur agréable. Brillance modérée. DS = 2	Comme variante 1, mais brillance accrue. DS = 4,5	Température de couleur agréable. Brillance trop marquée. DS = 3
Animation et guidage de la clientèle Distribution de luminances	Par zones, étalement de la luminance perceptible. DS = 2	Multitude de différentes surfaces lumineuses, contraste de luminance marqué, pas gênant. DS = 4	Surface lumineuse ponctuelle, contrastes de luminance excessifs. Lumière «dure». DS = 3
Eblouissement direct	Luminaire bien protégé par l'optique miroitée à répartition intensive (classe 1). Dans les directions d'émission inférieures à 45°: luminance modérée. DS = 4	Comme variante 1; dans les directions d'émission inférieures à 45°: luminance élevée. DS = 3,5	Comme variante 1; luminance dans les directions d'émissions inférieures à 45° assez élevée. DS = 3
Aménagement sur le plan de l'éclairage	Luminaires répartis linéairement. Aménagement possible dans certains cas particuliers. DS = 1	Luminaires répartis ponctuellement. Aménagement possible dans quelques cas. DS = 2	Luminaires répartis ponctuellement. Aménagement possible par déclenchement et enclenchement de certains luminaires. DS = 2,5
Esthétique Apparence des luminaires	Répartition intensive selon l'axe longitudinal: les luminaires n'affectent pas le sentiment de spatialité. Les bandeaux lumineux confèrent au plafond une orientation nettement longitudinale. DS = 3	Lorsqu'ils sont allumés, les luminaires accentuent la présence du plafond et influencent le sentiment de spatialité. Ils sont directionnellement neutres. DS = 3	Les luminaires sont relativement compacts et bien protégés. Ils n'ont qu'une faible influence sur le sentiment de spatialité. DS = 4
Energie Efficacité lumineuse (y. c. ballast)	env. 84 Lm/W DS = 4	env. 66 Lm/W DS = 3	env. 48 Lm/W DS = 2,5
Durée de vie des sources	env. 12'000 h, à raison de 3 h d'allumage par enclenchement. DS = 4,5	env. 8'000 h, à raison de 3 h d'allumage par enclenchement. DS = 4	env. 6'000 h, à raison de 3 h d'allumage par enclenchement. DS = 3,5
Facilité de maintenance	Accessible avec une échelle normale. Pas d'outillage nécessaire. Sources encombrantes. DS = 3,5	Comme variante 1, mais lampes plus compactes. DS = 4	Comme variante 2 DS = 4
Nombre de sources par dizaine de m ² de surface éclairée	1,8 DS = 4	3,7 DS = 2,5	8,7 DS = 2

Table 2.5: Appréciation des différentes variantes d'éclairage général (exemple du paragraphe 1.6).

Si cet exercice fait surgir des divergences d'opinion qui ne peuvent être aplanies par la discussion, on procédera alors à une étude de sensibilité. Cela revient en fait à faire varier les pondérations et évaluations contestées, de façon à examiner leur influence sur la valeur utile totale du projet. L'analyse de la valeur utile peut également s'appliquer à d'autres domaines [24].



2.4 STRATÉGIE GLOBALE DU PROJET

■ Influence du type de clientèle

L'éclairage d'une surface de vente a pour objectifs:

- d'attirer et de guider le client (vers les vitrines, et à l'intérieur du magasin);
- de permettre d'évaluer les marchandises (texture, couleur, prix, etc.);
- de finaliser la vente des produits (facturation, emballage, etc.).

Il y a une étroite relation entre le mode d'éclairage d'une surface de vente et le type de clientèle auquel elle s'adresse. La consommation d'énergie électrique est, par ailleurs, grandement dépendante de ce mode d'éclairage. Il y a, d'autre part, un certain risque de porter préjudice sur le plan commercial à cette surface de vente, si ce dernier ne correspond pas à l'image souhaité par la clientèle.

Quel que soit le mode d'éclairage choisi, il recèle toujours un potentiel important d'économies d'énergie, s'il s'agit d'une installation ancienne (de plus de 10 ans). L'encadré suivant rappelle cette règle importante.

Rénovation et économies d'énergie

Les installations anciennes (d'âge compris entre 10 et 15 ans) peuvent être rénovées aujourd'hui, de façon à les rendre compatibles avec les exigences actuelles, tout en diminuant leur puissance de raccordement de 2/3: à même prestations, les économies qui en résultent sont de l'ordre de 60%.

Ces économies s'ajoutent au fait qu'une rénovation permet généralement d'améliorer la qualité de l'éclairage, de réduire la charge thermique des installations techniques du bâtiment et d'accroître le confort des usagers (employés, clients).

La «méthode du rectangle» permet de déterminer quel mode d'éclairage est le plus approprié à la surface de vente considérée [1]. Deux axes paramétriques sont définis pour cela:

- l'axe horizontal concerne l'assortiment des produits (de limité à large) et l'atmosphère de vente (impersonnelle à personnelle);
- l'axe vertical concerne la catégorie de prix pratiquée (avantageux à cher) et l'aménagement des rayons de vente (de simple jusqu'à caractère exclusif).

Le rectangle construit à partir des valeurs extrêmes de ces deux axes paramétriques permet de décrire, en toute généralité, chaque type de commerce: le mode d'éclairage est fonction de la position de ce dernier dans le rectangle. Les angles du rectangle représentent des situations typiques sur le plan commercial (points A, B, C et D). Les niveaux d'éclairage conseillés, ainsi que le rapport entre la contribution de l'éclairage d'accentuation et l'éclairage général, diffèrent pour chacun de ces points.

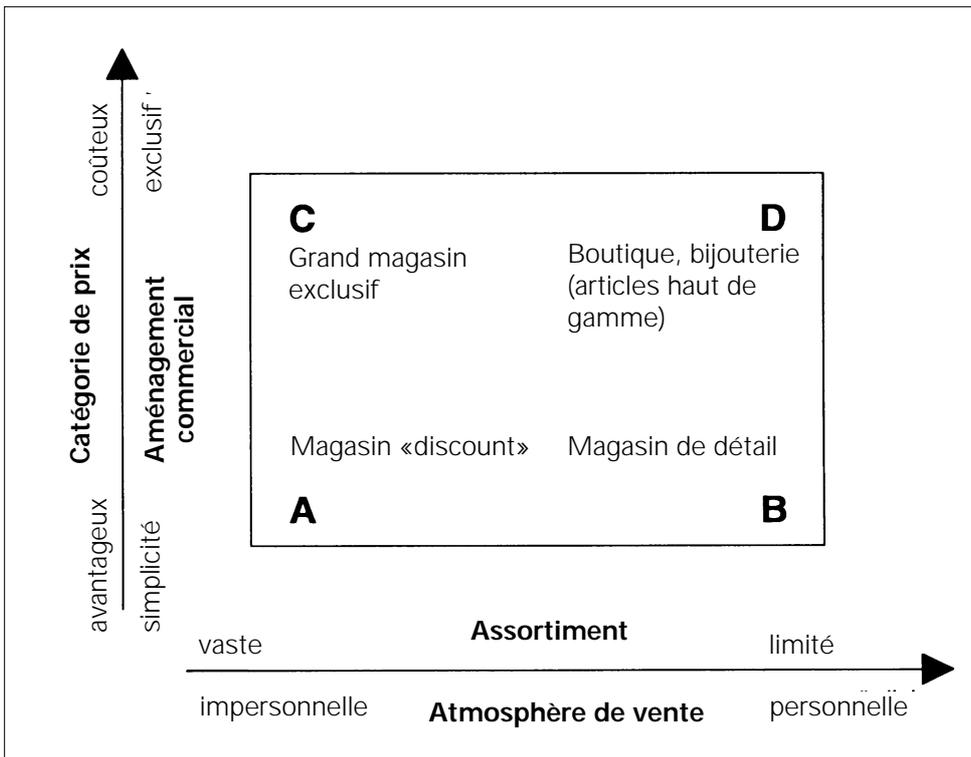


Fig. 2.8: Groupes de clientèle et types de surfaces de vente

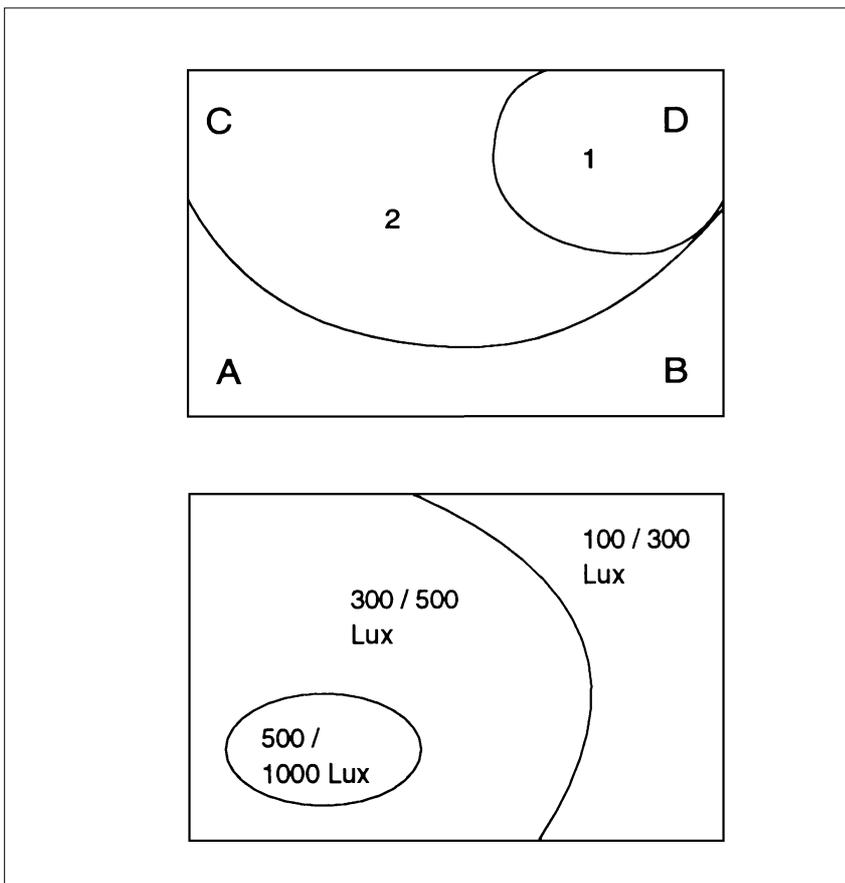


Fig. 2.9: Niveaux d'éclairage correspondants aux types de surfaces de vente.



a) Surface de vente du type A: discount



b) Surface de vente du type B: café-restaurant



c) Surface de vente du type C: magasin de souliers



d) Surface de vente du type D: boutique de mode



Le point A représente les magasins «self-service», proposant un large assortiment d'articles. Le prix de ces derniers est avantageux, ce qui est souligné par un éclairage simple. L'objectif consiste à faire comprendre immédiatement au client que les articles sont proposés à des prix bons marchés, sans assistance des vendeurs.

Le niveau de l'éclairage général est de l'ordre de 500 à 1000 Lux. On utilise généralement des tubes fluorescents (trois bandes); on renonce le plus souvent à un éclairage d'accentuation.

Le point B est caractéristique du «magasin de quartier» (boulangerie, boucherie, restaurant, etc.). L'assortiment d'articles est limité; il est proposé aux clients dans une atmosphère de vente personnalisée, associée à une clientèle d'habitues. Le niveau d'éclairage conseillé est de 300 à 500 Lux; l'ambiance générale est débonnaire, presque flegmatique.

On utilise généralement des luminaires à réflecteurs intégrés, munis de lampes fluorescentes compactes. L'éclairage d'accentuation n'est, en général, pas nécessaire.

Les magasins qui se situent dans l'angle C se distinguent par un riche assortiment d'articles de marque, généralement de haute qualité. L'atmosphère de vente est exclusive; la présentation des produits est réalisée dans le même esprit. L'éclairage général (300 à 500 Lux) est complété par un éclairage d'accentuation dynamique et attrayant.

L'éclairage général est assuré par des tubes fluorescents à indice de rendu de couleurs élevé. L'éclairage d'accentuation est réalisé à l'aide de projecteurs halogènes (max. 20 W par spot) ou par des lampes à décharge à vapeur de sodium haute pression, («sodium blanc»).

Le point D correspond à la situation d'une boutique ou d'un magasin spécialisé, proposant un assortiment de produits soigneusement sélectionnés; les boutiques de mode font partie de cette catégorie. L'éclairage général est maintenu à un niveau d'éclairage relativement faible (100 à 300 Lux): cela permet de renforcer l'effet causé par l'éclairage d'accentuation, grâce à un fort contraste de luminances.

L'éclairage général est assuré par des sources à haute efficacité lumineuse (lampes à décharge à vapeur de sodium haute pression ou halogénures métalliques). L'éclairage d'accentuation est réalisé au moyen de projecteurs halogènes basse tension (20 W max.) ou par des lampes à décharge à vapeur de sodium haute pression («sodium blanc»).

■ Différenciation des prestations

L'adéquation des prestations aux besoins propres de chaque partie du magasin est une condition «sine qua non»: elle permet de réduire substantiellement la consommation d'énergie, en évitant des prestations inutiles. La table 2.6 rappelle les fonctions de cet éclairage pour chaque partie considérée; la table 2.7 traduit cela en terme de niveaux d'éclairage recommandés.

Partie considérée	Fonction
Vitrines	Signaler sa présence, éveiller l'intérêt du client pour la marchandise.
Rayons, étalages	Mettre en valeur la marchandise, affirmer la politique de vente.
Circulation, caisses, cabines d'essayage, emballage	Distinguer ces zones du reste de l'espace.
Entrées, escalators, escaliers	Faciliter l'orientation et le déplacement des clients.

Table 2.6: Fonctions attendues de l'éclairage dans les différentes parties du magasin.



Type de surface	Description	Type d'activité	Eclairage (lux)	
Circulation	Surface non utilisée pour exposer des marchandises.	Intense	300	
		Moyenne	200	
		Faible	100	
Marchandises	Surfaces planes, horizontales ou verticales; produits exposés et accessibles au client.	Intense	1'000	
		Moyenne	750	
		Faible	300	
Étalages	Objet particulier utilisant un éclairage d'accentuation pour attirer visuellement le regard; mis en valeur par rapport à son entourage	Intense	5'000	
		Moyenne	3'000	
		Faible	1'500	
Vitrines			De jour	
			Général	2'000
			Accentuation	10'000
			De nuit	
			Centre ville	
			Général	2'000
			Accentuation	10'000
			Périphérie	
			Général	1'000
Accentuation	5'000			
Transactions de vente	Vérification des prix, paiement, utilisation des cartes de crédit		600	
Services annexes	Emballage, cabines d'essayage		400	

Activité intense	Marchandise disposée en quantité et groupée selon l'utilisation. Temps pour le choix et l'évaluation de la marchandise court. Présence des vendeurs minimale. (Supermarché, discount)
Activité moyenne	Client familier avec le type de marchandise proposé. Les vendeurs offrent assistance et conseils. (Grand magasin, commerce spécialisé)
Activité faible	Gamme de produits exclusive, marchandise de qualité et onéreuse. Service personnalisé, shopping sans hâte. (Boutiques de mode, bijouteries, galerie d'art)

Table 2.7: Niveaux d'éclairage dans les surfaces de vente.

Dans la mesure où les étalages et les produits d'une surface de vente sont modifiés constamment au cours de l'année, il y a lieu de vérifier périodiquement les niveaux de prestations. Ces contrôles doivent porter, en particulier, sur:

- le niveau d'activité dans le magasin (passage d'une «activité moyenne» à «faible» par ex.);
- l'emplacement des luminaires par rapport aux étalages;
- la qualité des sources et du faisceau lumineux;
- l'état des appareils auxiliaires (ballasts).



L'allumage sélectif des différentes zones, durant les différentes périodes d'exploitation (approvisionnement, nettoyage, surveillance, etc.) permet une utilisation plus rationnelle de l'électricité. Divers dispositifs permettent de réaliser cela, on mentionnera en particulier:

- les horloges programmables;
- les détecteurs de présence.

Une coordination entre le personnel chargé de l'entretien et celui responsable de la vente est nécessaire pour rendre cette gestion de l'éclairage efficace.

2.5 COMMANDE DE L'ÉCLAIRAGE

La mesure la plus efficace pour réduire la consommation d'énergie d'installations d'éclairage consiste à déclencher cette dernière lorsque elle n'est pas nécessaire. Cela est recommandé, en particulier, dans le cas où:

- il n'est pas toujours indispensable de disposer du niveau d'éclairage maximal dans le magasin (nettoyage, préparation des marchandises, etc.);
- les locaux en question ne sont occupés que de façon épisodique (stocks, entrepôts, etc.);
- la lumière naturelle est abondante (proximité des vitrines, présence d'ouvertures zénithales, etc.).

Il est, par ailleurs, indiqué de raccorder l'installation d'éclairage en plusieurs secteurs commutables séparément. En dehors des heures d'ouverture, il doit par exemple être possible de n'enclencher qu'un tiers de l'installation l'éclairage. L'éclairage obtenu suffit généralement pour effectuer des travaux de nettoyage ou pour procéder à la mise en place de la marchandise dans les rayonnages.

Une autre mesure, efficace en matière d'économie d'énergie, est la commande automatique de l'éclairage par détecteurs de présence. Ce type de commande ne convient toutefois que pour des surfaces de vente relativement peu fréquentées. Selon les circonstances, la commande supplémentaire nécessaire peut être relativement complexe, raison pour laquelle cette mesure d'économie d'énergie ne se justifie que pour de grandes installations.

Une solution intéressante consiste aussi à commuter l'éclairage des vitrines par l'intermédiaire de détecteurs de mouvement. Ce type de commutation permet d'une part d'économiser de l'énergie et d'autre part de créer un effet promotionnel. L'enclenchement soudain d'une partie de l'éclairage de la vitrine attire, en effet, l'attention des passants qui, par réflexe, ne manqueront pas de jeter un coup d'oeil aux articles présentés. Dans la plupart des cas, les frais supplémentaires occasionnés par un pareil système sont faibles.

Dans les locaux de vente qui bénéficient d'un apport de lumière naturelle suffisant pendant leurs heures d'utilisation, l'éclairage artificiel peut être commandé en fonction de ce dernier.

L'asservissement à l'éclairage naturel est réalisé, en principe, de trois façons différentes:

- par enclenchement / déclenchement;
- par commande en paliers (30%, 60%, 100%);
- par commande continue.



On préférera, généralement, une commande continue en cas d'asservissement à la lumière naturelle. Celle-ci permet d'adapter instantanément le niveau d'éclairage fourni par l'installation d'éclairage, de façon à compléter celui du à l'éclairage naturel. Cette adaptation continue n'est, en général, perçue par les clients du magasin; elle permet, par ailleurs, d'atteindre des économies d'énergie maximale dans la pratique.

Les commandes par palier ou par enclenchement/déclenchement sont, en général, perçues de façon négative par les usagers: elles ne sont donc pas recommandables.

On soulignera, par ailleurs, le fait qu'une installation qui n'est pas en service est synonyme de magasin fermé pour la clientèle; il y a donc lieu de donner un signal approprié à l'aide d'un dispositif particulier (enseigne, effet lumineux spécial, etc.), de façon à compenser cet effet indésirable.

2.6 CHOIX DES COULEURS

On accorde, en général, une grande importance au choix des couleurs dans les locaux de vente: celles-ci ont un effet psychologique considérable sur la clientèle.

D'autres facteurs, dictés par les considérations d'économie d'énergie, de sécurité et de vente, influencent le choix de ces couleurs. Ces principaux facteurs sont:

- l'emploi de couleurs claires pour les parois et le sol du local, afin de favoriser la réflexion de la lumière et réduire la consommation d'énergie (facteur d'utilisation plus élevé);
- l'identification des endroits dangereux (escaliers, cloisons vitrées) par des couleurs bien visibles;
- l'utilisation de couleurs pour identifier les différents groupes de produits et permettre au client de s'orienter plus facilement.

L'image de marque d'un commerce est déterminé, aujourd'hui plus que jamais, par son apparence: les couleurs des produits influencent fortement cette dernière. En plus de l'impression d'espace que la lumière permet de créer, celle-ci est déterminante en ce qui concerne les caractéristiques chromatiques des marchandises et des produits. L'encadré suivant résume les conséquences qu'il faut tirer de cela.

Rendu des couleurs

L'indice de rendu des couleurs doit être aussi élevé que possible, à moins de vouloir rechercher un effet chromatique particulier (teinte rosée pour une boucherie par ex.).

Les lampes à décharge, caractérisées par une efficacité lumineuse élevée (économie d'énergie), sont caractérisées aujourd'hui par un bon rendu des couleurs (halogénures métalliques, etc.). Les tubes fluorescents et les lampes compactes sont eux aussi très satisfaisants de ce point de vue.



3. ÉCLAIRAGE NATUREL 43

■ 3.1 Risque d'altération des produits 45

■ 3.2 Vitrines de magasins 47

■ 3.3 Grandes surfaces 52



3. ECLAIRAGE NATUREL

A l'occasion de l'achat d'un vêtement, qui n'a jamais éprouvé le besoin de sortir du magasin et d'aller examiner sa couleur à la lumière du jour? La lumière naturelle, de par ses qualités spectrales, est la source de «référence» autour de laquelle notre oeil s'est façonné (cf. «Eléments d'éclairagisme»).

Les sources d'éclairage artificiel doivent donc, dans la mesure du possible, posséder des caractéristiques spectrales proches de celle de la lumière du jour (indice de rendu des couleurs élevé), afin de limiter l'altération apparente des couleurs sous leur flux.

La lumière naturelle ne possède, toutefois, pas que des avantages, en particulier dans le cas de surfaces de vente. Certains inconvénients existent et nécessitent de maîtriser cette dernière; ceux-ci sont liés principalement à:

- ses propriétés d'activation sur la plan photochimique (principalement rayons ultra-violet);
- sont flux très important (100'000 Lux par ciel serein).

Ces différents aspects sont passés en revue ci-après.

3.1 RISQUE D'ALTÉRATION DES PRODUITS

La plupart des marchandises ne sont pas entièrement stables à la lumière. D'une manière générale, les matériaux organiques (pigments, teintures, tissus, bois, etc.) sont beaucoup plus sensibles aux effets photochimiques que les matériaux de nature minérale (céramiques, pierres, métaux, etc.).

A ces altérations de nature chimique (réactions à la surface des matériaux) s'ajoutent des effets de nature thermique (fissures, craquellements, etc.), imputables au flux d'énergie important caractérisant le rayonnement solaire (jusqu'à 1000 W/m²).

On rappellera que les dégradations de nature photochimique (jaunissement, décoloration, etc.) sont proportionnelles à la dose de lumière naturelle reçue (égale au produit de l'éclairement par la durée d'exposition): un objet soumis à un éclairement de 100 lux pendant 10 heures subira donc la même dégradation que s'il est soumis à un éclairement de 1'000 lux pendant 1 heure. Il donc est impératif de protéger les marchandises sensibles contre les rayons solaires directs (niveaux d'éclairements très élevés).

La table 3.1 donne les durées d'exposition admissibles pour un éclairement de 1000 Lux; les valeurs correspondant aux sources incandescentes y sont aussi indiquées. La table 3.2 indique la dose lumineuse maximale tolérable par certains produits.

Durée d'exposition admissible [heures]	
Tranches de charcuterie	env. 1 - 5
Viande surgelée	env. 20 - 110
Papier journal	env. 250 - 650
Couleurs à l'aquarelle sur papier *	env. 800 - 1000
Textiles *	env. 1000 - 20000
Couleurs à l'huile sur toile de lin *	env. 60000 - 80000

* Valeurs moyennes, obtenues à partir de quelques éprouvettes; sujettes à des écarts importants.

Table 3.1: Durée d'exposition admissible t_{adm} pour un éclairage de 1'000 lux.

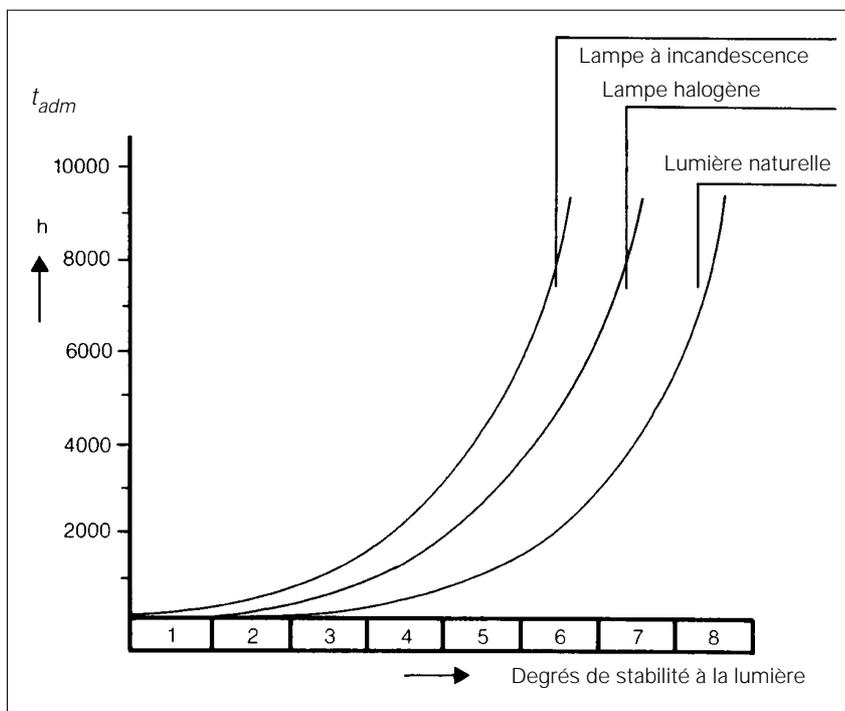


Table 3.2: Exposition tolérable par certains produits (éclairage par tubes fluorescents).

L'action photochimique est d'autant plus importante que l'énergie des photons est grande. Le rayonnement ultra-violet, bien que ne représentant qu'une faible part de la lumière naturelle, exerce, pour cette raison, une influence prépondérante sur la dégradation des produits [13], [14]. Pour les produits extrêmement sensibles à la lumière, il est donc recommandé de faire appel à des filtres à ultraviolet [15]. Un simple verre exerce déjà pratiquement cette fonction.

Ce problème prend une importance cruciale dans le cas des galeries d'art ou des musées, puisque la conservation des objets dans le temps est la principale fonction de ces lieux. Dans le cas de la plupart des commerces, les produits exposés le sont durant une courte période et les dégradations dues à la lumière restent limitées. On veillera cependant à ne pas exposer directement les marchandises les plus sensibles à la lumière naturelle. On devra être particulièrement prudent dans le domaine de l'alimentation, spécialement pour les produits d'origine animale (viande et poisson) (voir table 3.2).



3.2 VITRINES DES MAGASINS

■ 3.2.1 Disponibilité lumineuse

La plupart des magasins sont, par la force des choses, situés sur des axes de fort trafic piétonnier et donc implantés en milieu urbain. Les masques constitués par l'environnement bâti sont prépondérants. La portion de ciel «visible» depuis la vitrine représente généralement un angle solide très restreint, situé à proximité du zénith. La figure 3.1 montre la portion du ciel contribuant directement à l'éclairage de ces vitrines: la présence de balcons ou d'éléments architecturaux, placés en porte à faux sur la façade, restreint encore l'angle de «vision» du ciel depuis la vitrine.

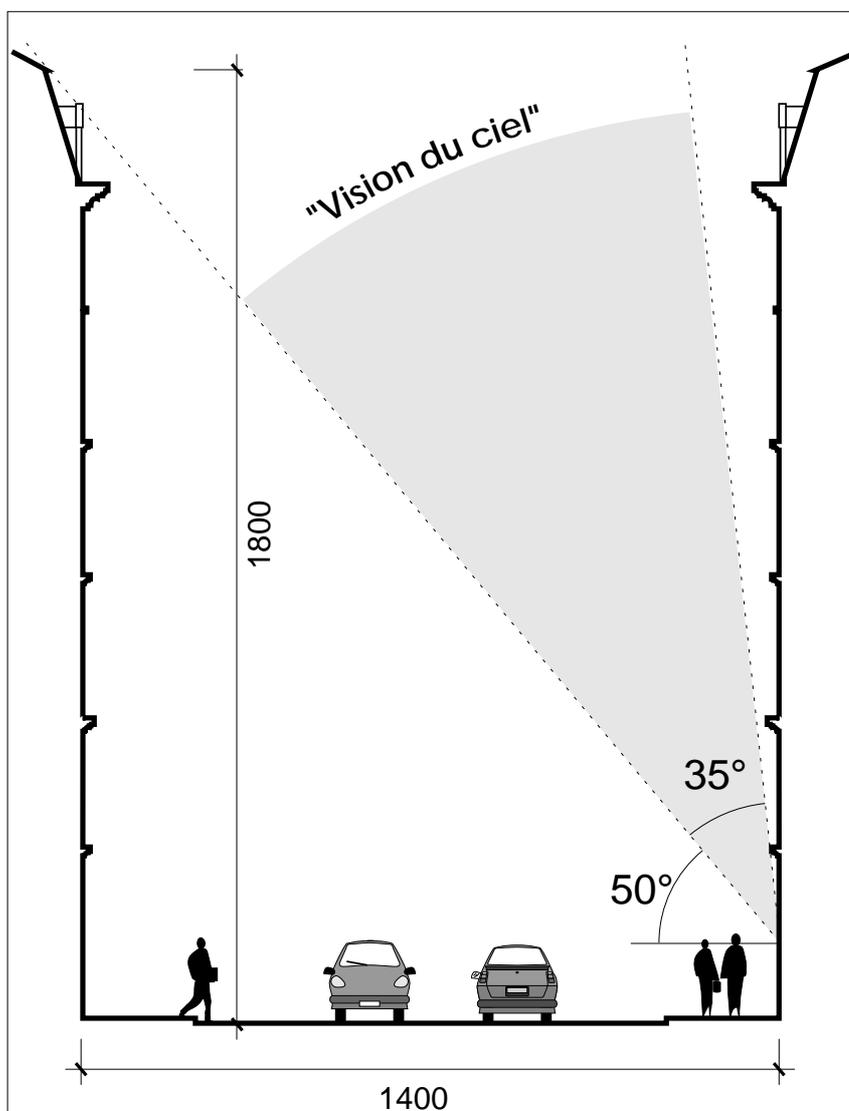


Fig. 3.1: Site urbain - disponibilité lumineuse réduite.

Il est d'autant plus difficile d'utiliser cette composante directe, que celle-ci arrive sous une incidence rasante par rapport aux vitrines. Une grande part est réfléchi vers l'extérieur et ne peut donc pas contribuer à l'éclairage de la vitrine.

3.2.2 Eléments de protection directe

De nombreux commerces disposent d'un élément de protection, destiné d'une part à protéger les passants contre la pluie, et d'autre part à éviter que les rayons directs ne viennent dégrader les marchandises exposées. La figure 3.2 montre que ces avancées, lorsqu'elles sont réalisées avec un matériau opaque, obstruent complètement la portion de ciel disponible: la composante directe du facteur de lumière du jour (cf. «Eléments d'éclairagisme») est inexistante. Seule la composante réfléchie externe (réflexion sur les bâtiments) contribue à l'éclairage des vitrines. La quantité de lumière disponible est en ce cas très faible: l'éclairage artificiel est fortement sollicité.

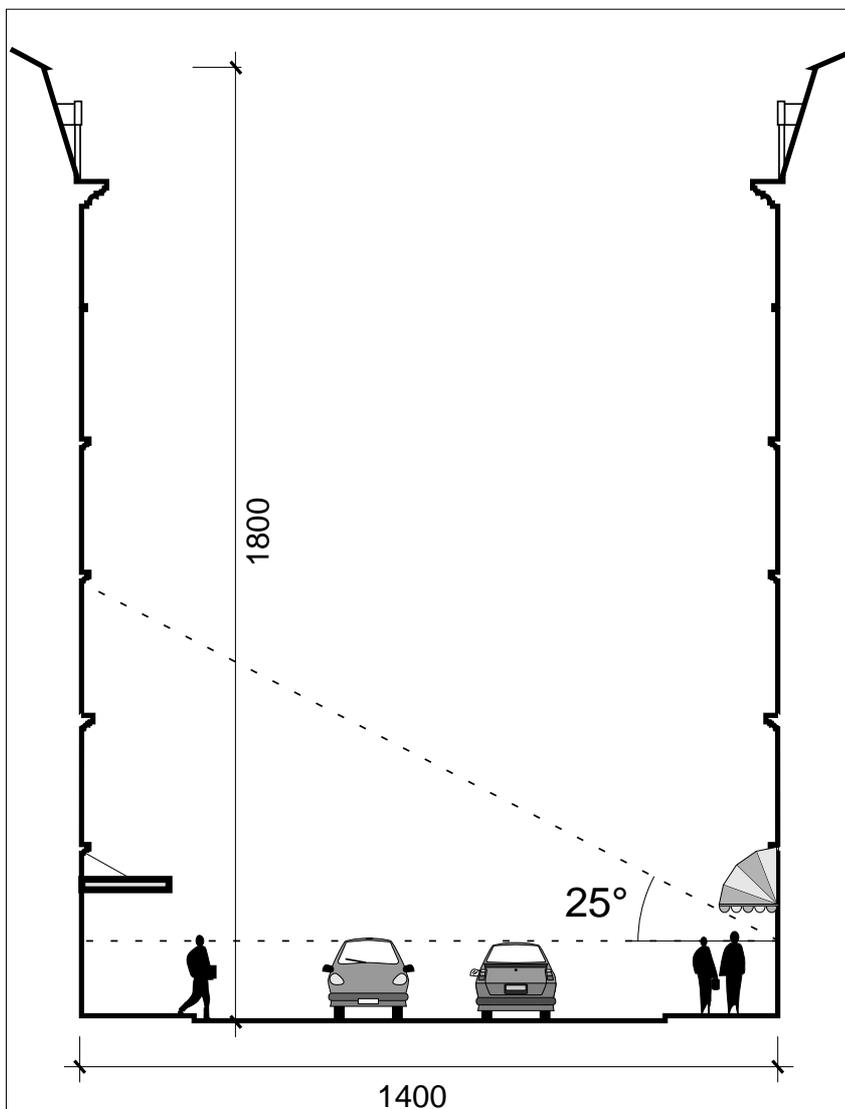


Fig. 3.2: Auvent opaque - pas de composante directe du ciel.

La mise en oeuvre de protections translucides (opaquescentes) permet d'assurer simultanément la protection contre la pluie et les rayons directs, tout en tirant profit de la portion de ciel visible (voir figure 3.3). Cette mesure permet donc de réduire la durée d'enclenchement de l'éclairage artificiel de la vitrine.

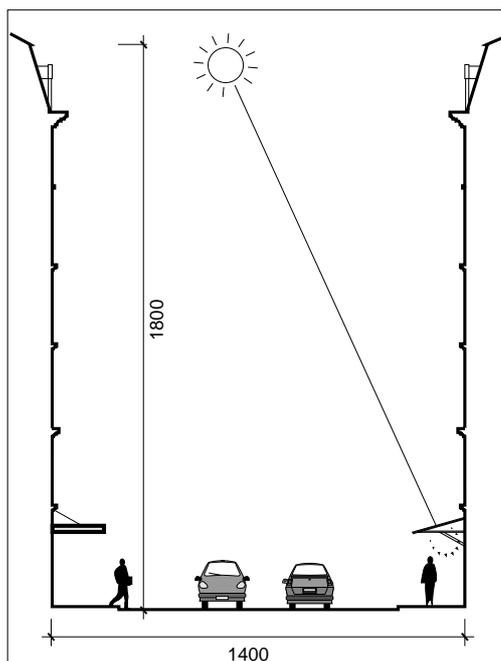


Fig. 3.3: Auvent opalescent - protection adaptée à la lumière directe (rayons solaires).

On relèvera, toutefois, le fait qu'un élément translucide se caractérise par une transmission lumineuse importante ($\tau \cong 0,4 - 0,5$) : la protection des personnes, observant la vitrine, contre l'éblouissement (luminances élevées) et l'inconfort thermique (flux d'énergie important en été) n'est donc pas assurée.

La figure 3.4 montre qu'il est possible de traiter l'élément de protection en deux parties distinctes. Dans le cas des rues étroites, la portion de l'auvent la plus éloignée de la façade ne pénalise pas la «vision du ciel» depuis la vitrine. Celle-ci peut donc être constituée d'un matériau opaque sans que cela ne réduise de façon significative la quantité de lumière provenant directement du ciel et éclairant la vitrine. Cette mesure a pour avantage de porter ombre sur les passants et sur les produits, protégeant ces derniers des rayons solaires directs.

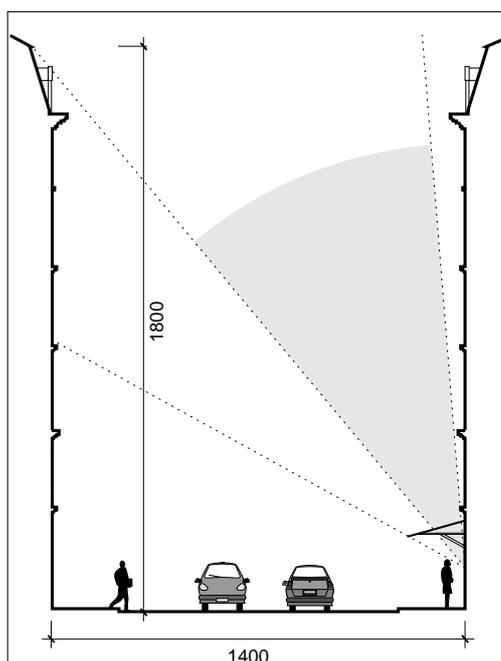


Fig. 3.4: Auvent semi-opaque - composante directe du ciel privilégiée.

■ 3.2.3 Reflets gênants

Les reflets sur les vitrines de magasin sont un problème majeur, puisqu'ils diminuent grandement la perception des produits exposés dans la vitrine, vus de l'extérieur (éblouissement, diminution du contraste, etc.). Ces reflets ne sont pas sans conséquences du point de vue de la consommation d'énergie: afin de permettre une meilleure perception des produits, on suréclaire généralement ces derniers à l'aide d'un éclairage d'accentuation (voir figure 3.5).



Fig. 3.5: Suréclairage d'une vitrine destiné à composer des reflets gênants.

Les reflets sont particulièrement importants en période estivale, puisque les niveaux d'éclairage en lumière naturelle sont importants. Cette surenchère d'éclairage conduit généralement à une surchauffe des vitrines (inconfort thermique) et à une nécessaire évacuation de la chaleur dégagée par les sources (climatisation).

Une solution, souvent utilisée pour les musées, consiste à incliner le plan de la vitrine vers l'avant: l'image réfléchi par la surface du verre est celle du sol. Etant donnée la couleur sombre de ce dernier (bitume), la luminance des reflets est fortement diminuée, ce qui facilite la perception des marchandises en vitrine. Le niveau d'éclairage artificiel peut alors être réduit.

L'inclinaison de la devanture présente cependant un inconvénient. La plus grande part des rayons lumineux disponibles provenant de la partie haute du ciel, ceux-ci vont alors frapper le vitrage incliné avec une incidence rasante: le flux réfléchi par la surface du verre devient alors très important. A titre d'exemple, on retiendra qu'un flux lumineux frappant un vitrage avec une incidence de 75° est réfléchi et absorbé à raison de 60% [16]: 40% seulement de ces derniers franchira donc le vitrage (voir figure 3.6).

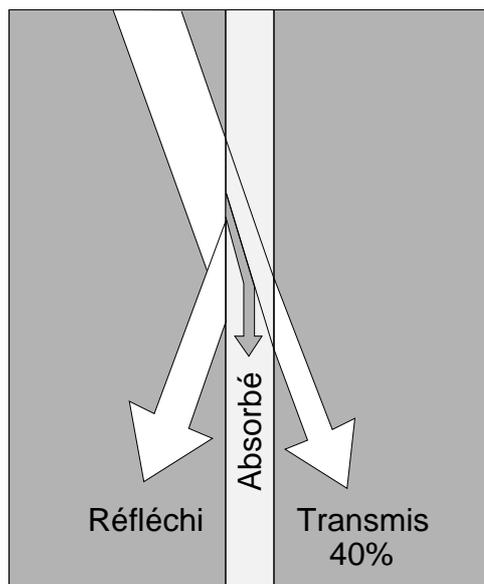


Fig. 3.6: Atténuation de la transmission lumineuse à incidence rasante.

La figure 3.7 montre que pour bénéficier des avantages de la vitrine inclinée, sans réduire la quantité de lumière disponible dans le magasin, il est nécessaire de placer celle-ci en dehors de la façade. La vitrine en partie haute est constituée d'un vitrage qui fait face à la portion de ciel visible. L'incidence des rayons lumineux est favorable, ce qui augmente de façon sensible les pénétrations lumineuses. On remarque que ce type de vitrine permet de placer des sources lumineuses à l'extérieur du magasin (dégagements de chaleur à l'extérieur de la vitrine).

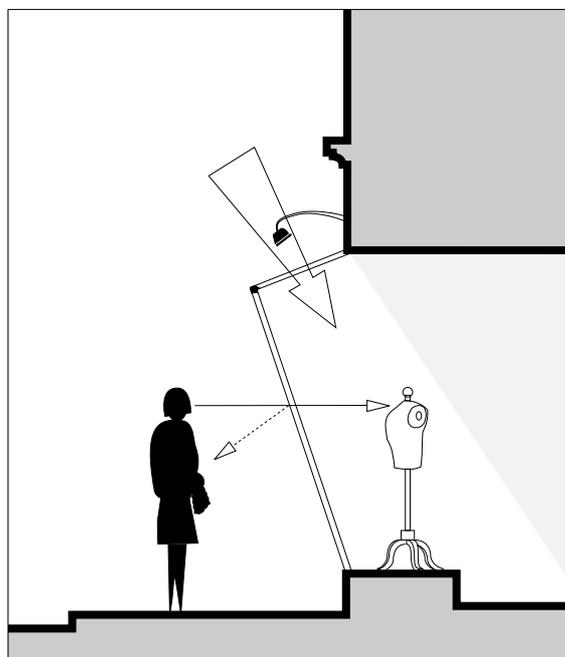


Fig. 3.7: Optimisation de la géométrie d'une vitrine.

Si l'on désire protéger la marchandise contre les rayons solaires (lumière directe), il est possible de mettre en oeuvre un vitrage opalescent. Il est important que le vitrage supérieur de la vitrine soit exposé à la pluie, afin d'assurer son «auto-nettoyage». Dans le cas contraire, les salissures dues à la pollution urbaine auront tôt fait d'opacifier ce vitrage, le rendant ainsi pratiquement inopérant.

La figure 3.8 montre la combinaison d'une vitrine inclinée avec un auvent opaque, placée dans la partie la plus éloignée de la façade.

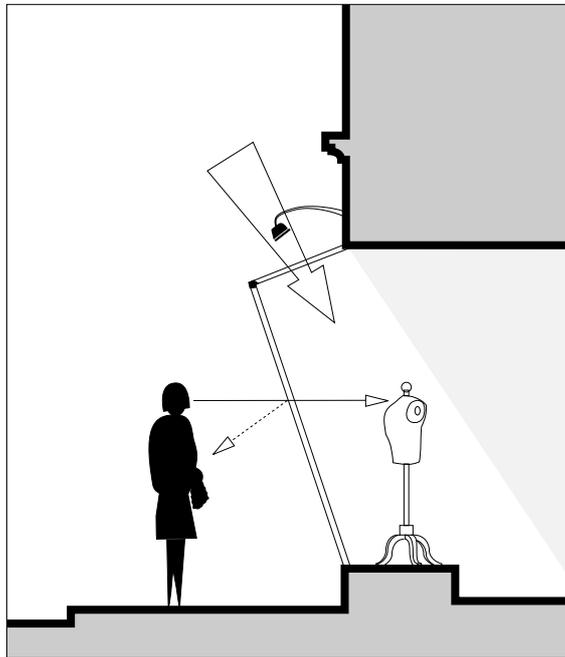


Fig. 3.8: Combinaison avec un auvent.

3.3 GRANDES SURFACES

Une enquête, réalisée en 1991 auprès de responsables des services d'exploitation de grandes surfaces françaises (hypermarchés), a permis de dégager certaines tendances intéressantes du point de vue de l'éclairage naturel [17]. Il ressort de cette étude que:

- une grande majorité des personnes interrogées (plus de 80%) considère la lumière naturelle indispensable (principalement pour des raisons d'agrément);
- plus de la moitié d'entre-elles considère que la pénétration de lumière naturelle est insuffisante (faible indice d'ouverture);
- ces dernières sont particulièrement sensibles aux désordres thermiques estivaux (mauvaise protection solaire, dégagement excessif de chaleur, etc.).

Il est impératif, pour ces raisons, d'aboutir à une meilleure utilisation de l'éclairage naturel dans les grandes surfaces.

■ 3.3.1 Disponibilité lumineuse

La plupart des grandes surfaces du type «hypermarché» est organisée selon un plan extensif, illustré à la figure 3.9. Contrairement à d'autres grands magasins, elles ne possèdent généralement qu'un niveau, ce qui rend l'utilisation de la lumière naturelle plus aisée.

Les murs périphériques de ces grandes surfaces sont généralement opaques; des rayonnages y sont adossés. Le contact visuel vers l'extérieur est, par ailleurs, rendu impossible par la présence de nombreux



locaux techniques qui entourent ces dernières. Les possibilités d'accès à la lumière naturelle se limitent donc à des percements en toiture (ouvertures zénithales).

On rappellera, toutefois, que les grandes surfaces sont munies généralement d'un nombre important d'installations techniques (gaines de ventilation, luminaires suspendus, etc.) et de signalétiques (affiches, décoration, etc.). Une part significative de la lumière naturelle est absorbée par cette dernière: un dimensionnement approprié des ouvertures zénithales doit donc être effectué en conséquence.

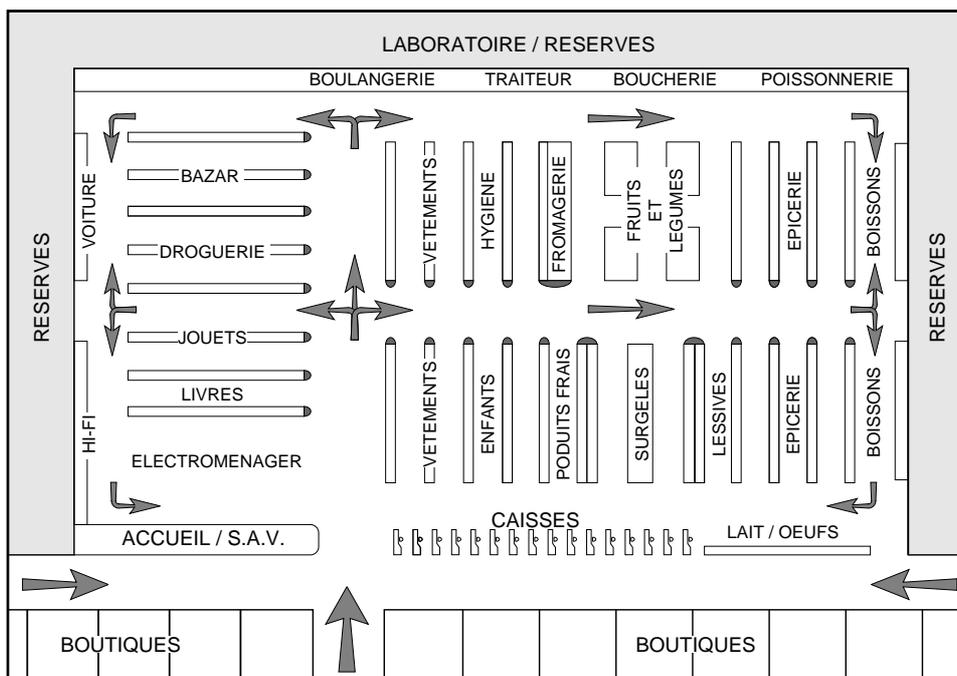


Fig. 3.9: Plan type d'une grande surface (hypermarché)

3.3.2 Eclairage naturel en nappe

Une variante d'éclairage naturel consiste à répartir régulièrement des ouvertures zénithales («skydome»), de façon à garantir un couvremnt de toute la surface de vente [19].

Une opération de rénovation (création d'ouvertures en toiture dans un local de vente aveugle) a été réalisée en 1986 dans un hypermarché, situé dans le sud de la France [18]. Celle-ci a montré qu'il est possible, avec un indice d'ouverture inférieur à 8%, de réaliser de substantielles économies d'énergie.

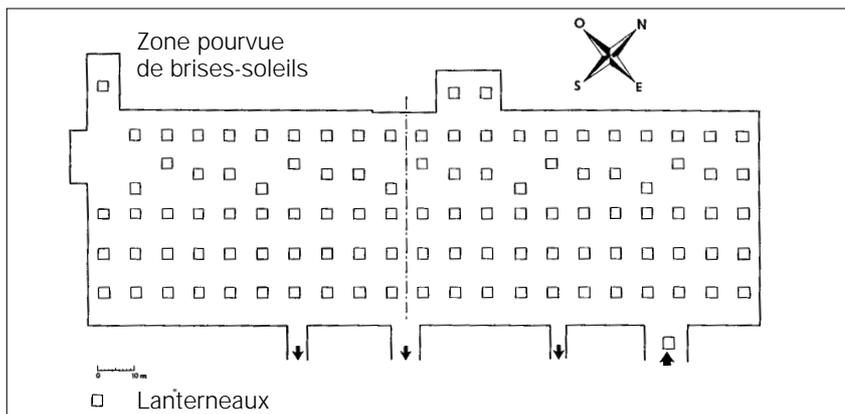


Fig. 3.10: Emplacement des lanterneaux dans une grande surface (rénovation)

La figure 3.10 montre la répartition des lanterneaux, équipant cet hypermarché. Une description détaillée des mesures de rénovation entreprises en éclairage naturel et artificiel est donnée ci-après.

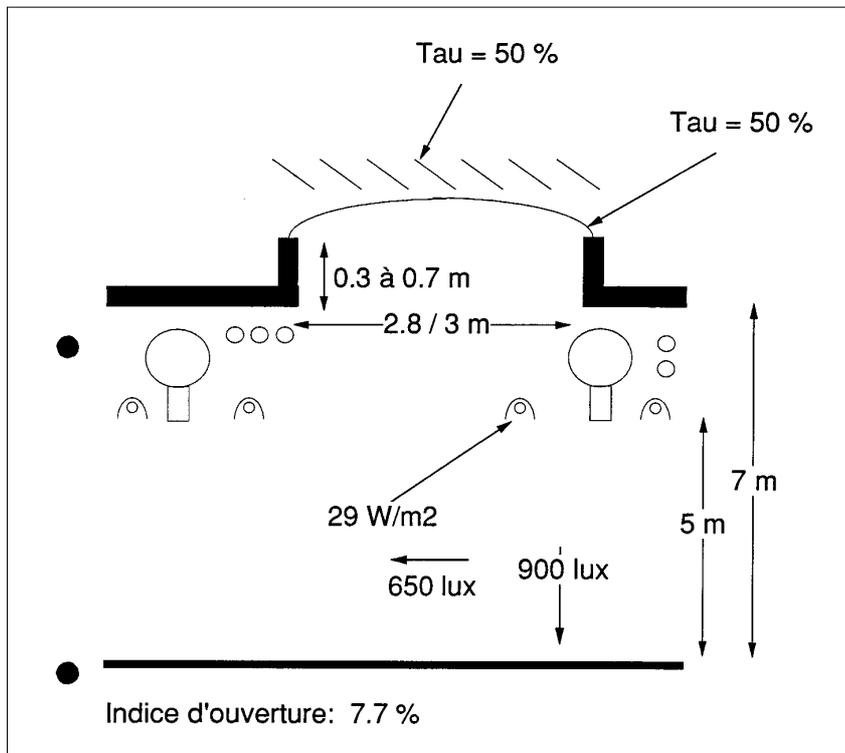


Fig. 3.11: Principales caractéristiques des systèmes d'éclairage naturel (lanterneaux) et artificiel (éclairage général).

■ Mesures de rénovation

Eclairage naturel

- Percement de 105 lanterneaux en toiture (3.0 x 2.8 m), correspondant à un indice d'ouverture de 7.7% (surface du magasin: 11'500 m²)
- Pose d'une protection solaire fixe (lames brise-soleil) sur 50 lanterneaux (zone des produits frais) et d'une coupole opalescente en méthacrylate de méthyle ($\tau \approx 0,5$)
- Eclaircissement de la couleur du sol et du plafond ($\rho_p = 0,7$, $\rho_s = 0,6$).

Eclairage artificiel

- Remplacement des tubes fluorescents D 38 mm par des tubes D 26 mm (efficacité lumineuse de 40 Lm/W passant à 77 Lm/W, 19 rangée de 120 luminaires bi-tubes, puissance de raccordement: 330 kW).
- Pose d'une commande d'éclairage asservie à la lumière naturelle et fractionnable par quart (une rangée de luminaires sur quatre commutable).

La table 3.3 montre les économies d'énergie électrique obtenues grâce à cette rénovation. Ces dernières ont pu être établies grâce au suivi expérimental de la surface de vente (mesures d'éclairage et de consommation électrique), entrepris durant la période de juillet à décembre (tranche horaire: 9 h 00 à 21 h 40).



	Consommation	
	Local aveugle [kWh]	Local rénové [kWh]
Juillet	4'260	495
Août	4'260	680
Septembre	4'260	830
Octobre	4'260	1'595
Décembre	4'260	2'740
Total période	417'660	148'640

Table 3.3: Economies d'énergie électrique obtenues grâce à la rénovation (tranche horaire: 9 h 00 - 21 h 40) [6].

L'économie d'énergie électrique, mesurée sur 6 mois d'exploitation, est de 65%. On relèvera que l'éclairage horizontal prévu (900 Lux) n'a pas toujours été atteint pendant la durée d'exploitation du magasin (éclairage atteint pendant 57% du temps). Cela n'a, par contre, pas été jugé insatisfaisant par les usagers.

Une évaluation de l'influence de ces mesures de rénovation sur les besoins hivernaux en chauffage (augmentation des pertes par la toiture) et les besoins estivaux de rafraîchissement (diminution des dégagements thermiques internes, augmentation des apports solaires) a été réalisée par extrapolation des résultats obtenus.

L'influence de ces mesures de rénovation, pour un climat océanique (côte atlantique), peut être estimée comme suit:

Consommation énergétique	Hiver	Eté
Eclairage électrique	- 102 MJ / m ²	- 163 MJ / m ²
Chauffage	+ 89 MJ / m ²	---
Rafrâichissement	---	0

Table 3.4: Influence des mesures de rénovation sur la consommation d'énergie globale (chaleur et lumière): extrapolation des mesures par un climat océanique (côte atlantique).

Observations

L'évaluation du bilan global d'énergie (chaleur et lumière) indique une diminution globale de consommation pour ce type de climat (climat océanique). La diminution importante des charges thermiques internes dus à l'éclairage compense les apports solaires supplémentaires en été: l'emploi de protections solaires extérieures sur toute la surface du magasin est toutefois recommandée pour le Plateau suisse (transmission énergétique des coupes proche de 50%!). L'augmentation des besoins de chaleur hivernaux peut être réduite par l'utilisation d'isolations translucides ($k \cong 1,3 \text{ W/m}^2\text{K}$) en lieu et place de matériaux synthétiques ($k = 2,9 \text{ W/m}^2\text{K}$).

Cet exemple illustre les bénéfices que l'on peut attendre de ce type de solution. On notera que pour un indice d'ouverture de 8%, l'économie réalisée se situe aux environs de 30%. Il faut, en effet, souligner le fait que les économies potentielles sont non seulement liées au mode de commande des luminaires (asservissement à la lumière du jour), mais surtout, à la politique de vente et à la motivation du gestionnaire.

Dans la plupart des cas, on constate que la lumière naturelle est malheureusement souvent utilisée comme un éclairage d'accentuation (supplément de lumière gratuite), plutôt que comme possibilité de substitution à l'éclairage artificiel. Son emploi est généralement subordonné aux impératifs commerciaux, plutôt qu'à des préoccupations d'économie d'énergie.

L'éclairage naturel en nappe présente l'inconvénient d'être relativement peu «visible». La nécessité d'éviter des rayons solaires directs sur certains produits, ainsi que celle de réduire les risques d'éblouissement et d'inconfort thermique (structures légères), nécessite l'utilisation de matériaux diffusants et de protections solaires efficaces: les ouvertures zénithales se comportent alors comme de «grands luminaires». Les installations d'éclairage artificiel et les panneaux de signalétique rendent ces dernières peu perceptibles par l'utilisateur. A cela s'ajoute le fait que la lumière naturelle éclaire plus le sol (éclairage horizontal) que les rayonnages verticaux: la mise en valeur des produits n'est donc pas optimale. Il n'est possible de tirer le meilleur parti de l'éclairage naturel, qu'avec la motivation de la part des clients comme du gestionnaire (information, création d'une conscience écologique, etc.).

3.3.4 Eclairage naturel des circulations

Une autre variante d'utilisation de l'éclairage naturel, applicable principalement aux centres commerciaux (groupe de magasins), et dans une certaine mesure aux grandes surfaces, consiste à implanter des verrières sur les principales zones de circulation: la figure 3.12 montre l'importance de ces dernières dans le cas d'un hypermarché.

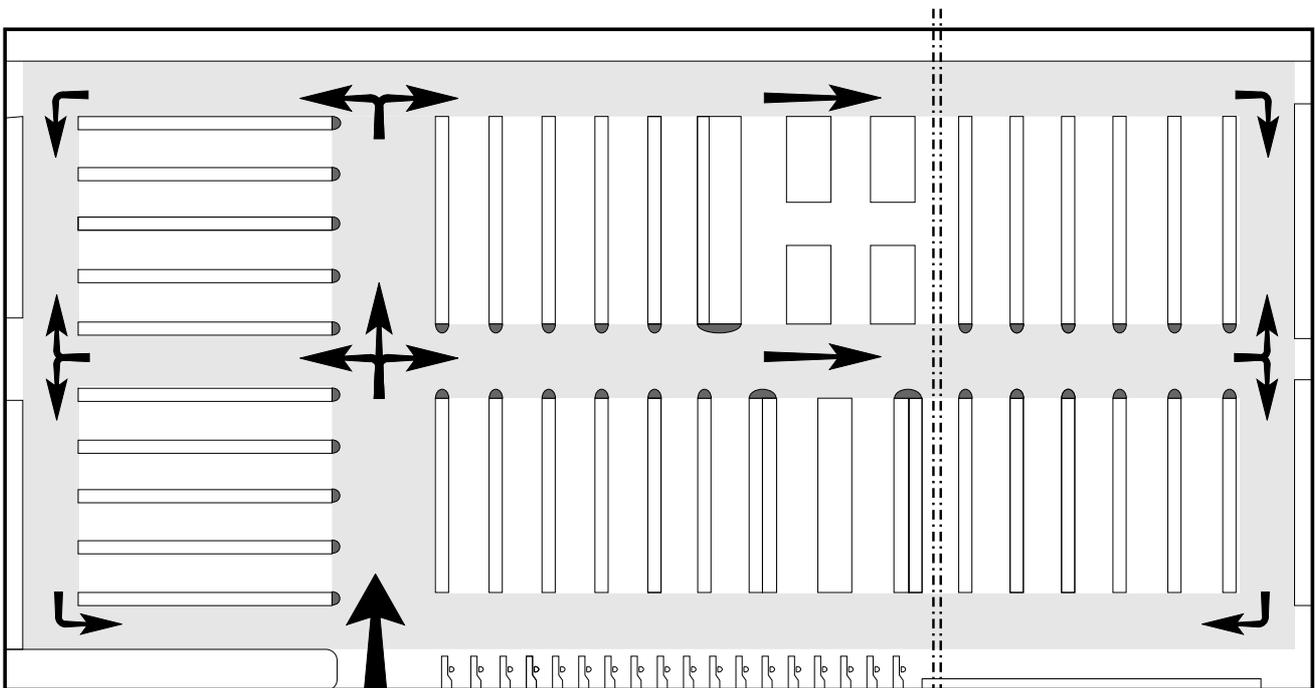


Fig. 3.12: Représentation schématique de la surface impartie aux circulations principales (en gris) dans un «hypermarché».

Les zones de circulation ne demandant qu'un niveau d'éclairage modéré (100 à 200 Lux), une autonomie importante en éclairage naturel peut y être atteinte (jusqu'à 90% de la durée d'ouverture). Une commande de l'éclairage artificiel, asservie à la lumière naturelle, permet donc d'atteindre des économies d'énergie électrique de l'ordre de 30% pour l'ensemble du magasin.



Les centres commerciaux, caractérisés par des zones de circulation plus importantes (cf. figure 3.13), présentent des possibilités d'utilisation de la lumière naturelle encore plus avantageuses. Des verrières sont ainsi généralement installées au-dessus des «escalators»; des puits de lumière munis de couvertures vitrées éclairent le coeur du bâtiment.

Des réalisations de ce type ont déjà été mises sur pied aux Etats-Unis. Les figures 3.13 et 3.14 montrent le cas d'un important centre commercial, situé dans la banlieue de Los Angeles



Fig. 3.13: Vue d'un centre commercial américain, éclairé de façon intensive par la lumière naturelle (Montebello Town Center, surface du bâtiment: 8300 m²).

L'évaluation de l'économie d'énergie électrique par rapport à un bâtiment aveugle ($IDE_{\text{éclairage}} = 185 \text{ MJ/m}^2 \cdot \text{an}$, $IDE_{\text{condition.}} = 383 \text{ MJ/m}^2 \cdot \text{an}$) indique une réduction de la consommation pour l'éclairage de 63% ($IDE_{\text{éclairage}} = 70 \text{ MJ/m}^2 \cdot \text{an}$) [19]. La puissance appelée maximale (pic estival) est réduite de 500 kW à 265 kW (réduction de 47%); les besoins en énergie pour le conditionnement des locaux (princ. rafraîchissement estival) sont réduits de 10%.

L'emploi de lampes à décharge à grande efficacité lumineuse (diminution de la charge thermique des installations) explique principalement cela. La puissance spécifique installée est de 13 W/m²; la commande de l'éclairage artificiel est de type «enclenchement/déclenchement».

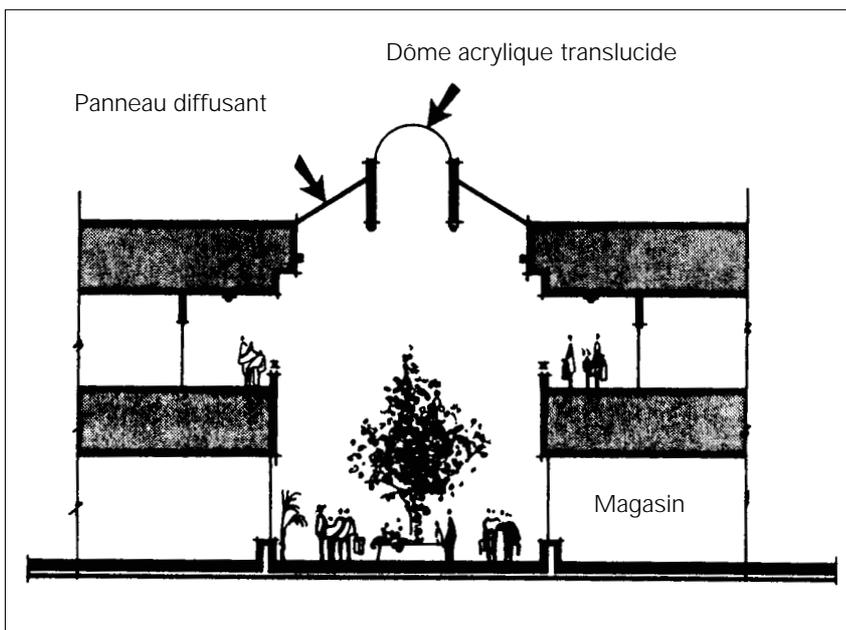


Fig. 3.14: Section verticale du bâtiment (verrière et coupole réalisée en matériaux acryliques).

Cette variante d'utilisation de la lumière naturelle dans les grandes surfaces nécessite vraisemblablement des investissements plus importants que la précédente. Elle véhicule cependant une autre image de la surface de vente, ayant ainsi pour avantage:

- de différencier plus agréablement l'espace de vente;
- de favoriser certains circuits au travers de cet espace;
- de donner une autre dimension architecturale à ces bâtiments.



4. MAINTENANCE	59
■ 4.1 Encrassement des installations	61
■ 4.2 Montage des luminaires	61
■ 4.3 Remplacement des sources	61



4. MAINTENANCE

4.1 ENCRASSEMENT DES INSTALLATIONS

L'encrassement des sources, des luminaires et des parois des locaux, sont responsables de la diminution constante et régulière du flux lumineux: l'éclairage devient, en conséquence, plus faible. On veillera donc à nettoyer périodiquement ces derniers.

Il est dans la plupart des cas recommandé de prévoir un nettoyage systématique bi-annuel. Un nettoyage effectué dans les règles de l'art permet d'augmenter l'éclairage de 30%. Une telle opération contribue, par ailleurs, à maintenir un rendement lumineux élevé pour l'installation: elle permet donc d'économiser de l'énergie.

Règle importante

Il est d'autant plus difficile de redonner à un réflecteur sa propreté originelle, que l'intervalle entre deux nettoyages est long.

Si cet intervalle est suffisamment court, l'utilisation de chiffons secs suffit [32]. Le nettoyage par voie humide ne donne généralement pas, dans ce cas, de meilleurs résultats.

4.2 MONTAGE DES LUMINAIRES

Lors de la réalisation d'une installation d'éclairage, on veillera à ce que tous les luminaires soient facilement accessibles: les opérations de maintenance et de remplacement des sources s'en trouvent facilitées (réduction des coûts d'exploitation).

Il vaut donc généralement la peine d'accorder une attention particulière au dispositif de fixation des luminaires.

Dans les surfaces de vente, équipées d'un éclairage général (grandes surfaces, discount, etc.), les rails d'alimentation, sur lesquels on fixe les luminaires, sont recommandés: ils permettent de déposer et d'adjoindre aisément de nouveaux luminaires.

Des luminaires modulables permettent, par ailleurs, de modifier les réflecteurs et paralumes. Une flexibilité élevée peut ainsi être atteinte en ce qui concerne l'organisation des rayons de vente.

4.3 REMPLACEMENT DES SOURCES

Dans la plupart des cas, il est recommandé de procéder à un remplacement des sources par groupe: cela permet de réduire les coûts de maintenance et de tirer parti de la durée de vie des sources, connue de façon précise par les fabricants.



4.4 ELIMINATION DES SOURCES

Conformément à une ordonnance de l'Office fédéral de la protection de l'environnement, des forêts et du paysage, les lampes à décharge (donc aussi les tubes fluorescents) sont considérés comme des déchets spéciaux. Ils ne doivent pas être éliminés dans les installations d'incinération des ordures.

De faibles quantités de sources usagées sont reprises directement par les fournisseurs. Des quantités plus importantes sont reprises par des entreprises spécialisées dans leur recyclage. Les adresses de ces entreprises peuvent s'obtenir auprès des offices cantonaux compétents en la matière.



5. SOURCES	63
■ 5.1 Considérations générales	65
■ 5.2 Choix des sources	68



5. SOURCES

5.1 CONSIDÉRATIONS GÉNÉRALES

Les performances lumineuses des sources peuvent être évaluées sur la base des critères suivants:

- Efficacité lumineuse
- Flux lumineux
- Affaiblissement du flux lumineux du au vieillissement
- Température et rendu des couleurs
- Gammes de puissance disponibles
- Durée de vie
- Contraintes d'utilisation
- Prix de revient
- Coûts d'exploitation

La table 5.1 donne un aperçu des différents types de source et de leur dénomination dans le code international.

Types de sources	
Lampe à incandescence	A
Lampe halogène - forme tubulaire - forme tubulaire avec double culot - avec réflecteur - avec réflecteur dichroïque	Q QT QT-DE QR QR-CB
Tubes fluorescents - D 26 mm - D 38 mm - circline	T T 26 T 38 T-R
Lampes fluorescentes compactes - avec tube quadruple - carré - long, D 17,5 mm - avec ballast magnétique: - verre de protection - en forme de globe - avec ballast électronique: - à tube quadruple - en forme de globe - en anneau	TC TC-D TC-DD TC-L TC-SB TCG-SB TC-DSE TC-SE TC-SR
Lampe à vapeur de mercure - ampoule ellipsoïdale luminescente - ampoule en forme de globe - avec réflecteur	HM HME HMG HMR
Lampe à lumière mixte - ampoule ellipsoïdale - avec réflecteur	HM-SB HME-SB HMR-SB
Lampe aux halogénures métalliques - ampoule ellipsoïdale - forme tubulaire, mono-culot - à double culot - lampe avec réflecteur	HI HIE HIT HIT-DE HIT-R
Lampe à vapeur de sodium haute pression - ampoule ellipsoïdale - forme tubulaire, mono-culot - à double culot	HS HSE HST HST-DE
Lampe à vapeur de sodium basse pression	LST

Table 5.1: Désignation standard des sources.

■ Efficacité lumineuse

L'efficacité lumineuse des sources dépend du mode de production de la lumière (type de source) et de leur puissance; celle-ci peut également être influencée par les caractéristiques de température et de rendu des couleurs.

Cette caractéristique des sources est prépondérante, en ce qui concerne leur consommation d'énergie: une efficacité lumineuse élevée signifie un flux lumineux plus important pour une consommation électrique donnée (cf. «Eléments d'éclairagisme»). Certaines sources, utilisées souvent de façon abusive dans les surfaces de vente (lampes halogènes par ex.), sont caractérisées par une efficacité lumineuse très faible (10 à 20 Lm/W): leur utilisation et leur durée d'enclenchement doivent donc être limitées au strict minimum.

D'autres sources à efficacité lumineuse élevée (jusqu'à 80 Lm/W) sont aussi employées dans les surfaces de vente (lampe à décharge aux halogénures métalliques par. ex.): la diminution de leur taille et de leur puissance permet d'utiliser celles-ci en lieu et place des lampes à incandescence. C'est le cas, en particulier, des lampes à décharge au sodium haute pression («sodium blanc»).

Remarque importante

Les catalogues de fabricants indiquent, en règle générale, l'efficacité lumineuse des sources (important du point de vue de la consommation d'énergie). Il faut, toutefois, dans la pratique, prendre aussi en compte les pertes énergétiques des appareils auxiliaires (ballasts, transformateurs). La comparaison du rendement de deux installations d'éclairage n'est possible que si l'on considère leur consommation globale.

■ Durée de vie

L'encadré suivant rappelle les différentes distinctions nécessaires, en ce qui concerne la notion de durée de vie des sources.

Notion de durée de vie

On distingue trois interprétations possibles de la notion de durée de vie des sources:

- **Durée de vie moyenne**

Intervalle de temps à partir duquel plus de 50% de l'ensemble des sources ont cessé de fonctionner

- **Durée de vie économique**

Intervalle de temps pour lequel un remplacement des sources est indiqué, pour des raisons de coût d'exploitation, par suite de l'encrassement et du vieillissement des sources

- **Durée de vie garantie**

Durée pendant laquelle le remplacement des sources, en cas de défaillance, est garanti par le fabricant.



La durée de vie de certaines sources dépend de leur fréquence d'enclenchement (lampes à décharge, tubes fluorescents). Les indications, données par le fabricant, se rapporte généralement à un temps de fonctionnement minimal entre deux commutations (3 h pour des tubes fluorescents, 5 à 10 h pour les lampes à décharge haute pression).

■ Température et rendu des couleurs

L'indice de rendu des couleurs rend compte de la qualité de la restitution des couleurs d'un objet, éclairé par une source lumineuse, par rapport à une source de référence de même température de couleur (corps noir, lumière du jour). Il revêt donc un aspect particulièrement important pour ce qui concerne l'apparence et la mise en valeur des produits de vente.

Le document d'introduction «Eléments d'éclairagisme» donne des valeurs caractéristiques de cet indice pour différents types de sources. L'indice de rendu des couleurs est classé selon 6 catégories définies par la norme DIN 5035.

La table 5.2 donne une définition de ces catégories; ces dernières sont utilisées dans le cadre de l'analyse de la valeur utile d'une installation (voir paragraphe 2.3).

Classe	Concordance avec un corps noir de même température de couleur.	Indice de rendu des couleurs Ra	Type de source
1A	très bonne	90...100	Lampes à incandescence, lampes halogènes, tubes fluorescents (De Luxe)
1B	très bonne	80...<90	Tubes fluorescents (trois bandes), lampes aux halogénures métalliques, lampes à induction
2A	bonne	70...<80	Tubes fluorescents, lampes aux halogénures métalliques
2B	bonne	60...<70	Tubes fluorescents, lampes aux halogénures métalliques, lampes à vapeur de sodium haute pression (SDW-T)
3	suffisante	40...<60	Tubes fluorescents, lampes aux halogénures métalliques, lampes à vapeur de mercure haute pression, lampes à vapeur de sodium haute pression (De Luxe), lampes à lumière mixte
4	médiocre à mauvaise	20...<40	Lampes à vapeur de sodium haute pression, lampes à vapeur de sodium basse pression

Table 5.2: Indice de rendu des couleurs de différentes sources.



On rappellera que l'indice de rendu des couleurs (Ra) est lié à la température de couleur de la source considérée. La lumière d'une source à incandescence est donc taxée d'une valeur maximale de 100 (comme la lumière naturelle), même si les températures de couleur de ces deux sources lumineuses sont très différentes (2700 K et 6500 K resp.). C'est la raison pour laquelle les couleurs d'un même objet apparaissent très différentes sous ces deux sources lumineuses.

Cette propriété de l'indice de rendu des couleurs provient de sa définition (cf. document «Eléments d'éclairagisme»); la source de référence est fonction de la température de couleur de la source considérée (source de référence = lumière naturelle au-delà de 4000 K).

L'indice de rendu des couleurs n'est donc que partiellement approprié à l'évaluation objective des propriétés spectrales d'une source. Des aspects subjectifs liés au mécanisme de perception des couleurs ont, par ailleurs, pour effet de rendre plus agréable, à faible éclairage, une température de couleur «chaude» ($T_c \cong 3000$ K) qu'une température «froide» ($T_c \cong 5000$ K), même si l'indice de rendu des couleurs est plus défavorable. Cela n'est vrai, toutefois, que pour les valeurs d'éclairage que l'on rencontre dans les bâtiments (300 à 2000 Lux); l'abaque de Kruthof illustre cet aspect psychologique de la perception des couleurs (cf. «Eléments d'éclairagisme»).

5.2 CHOIX DES SOURCES

Les différents types de sources sont décrits de manière détaillée dans le document consacré aux notions d'éclairagisme. Nous nous contenterons donc d'aborder ici certaines caractéristiques spécifiques de ces dernières: la table 5.3 donne un aperçu des sources les plus couramment utilisées dans les surfaces de vente.

Types de sources	Applications
Lampes à incandescence	Pour éclairages d'ambiance, en cas de faible durée d'enclenchement
Lampe à incandescence avec réflecteur	Pour éclairages d'accentuation. Pour production d'effets de brillance et la mise en évidence de structures de surface. Comme complément à un éclairage général.
Lampe à incandescence à réflecteur dichroïque (cool-beam)	Pour articles sensibles à la chaleur (denrées alimentaires). Evacuation de la chaleur nécessaire.
Lampes halogènes	Pour éclairage d'accentuation. Pour éclairage de parois et rayonnages (locaux de vente à caractère exclusif).
Tubes fluorescents	Pour éclairage général dans les grandes surfaces et atténuation des réflexions des vitrines. Pour l'éclairage de parois, rayonnages et vitrines.
Lampes fluorescentes compactes	Pour éclairages d'ambiance et général (en lieu et place des lampes à incandescence).
Lampes à vapeur de mercure haute pression (type De Luxe)	Pour éclairage de plantes. Lampe à décharge compacte avec différentes gammes de puissance.
Lampes à vapeur de sodium haute pression	Pour l'éclairage de vitrines, l'éclairage d'accentuation et éclairage général. Lampe à décharge compacte, à grande efficacité avec différents gammes de puissance
Lampes aux halogénures métalliques	Lampe à décharge compacte, à grande efficacité, offrant différentes gammes de puissance. Pour éclairage de vitrines, éclairage d'accentuation et éclairage général.

Table 5.3: Choix des sources en fonction de leur utilisation.



■ Lampes à incandescence et lampes halogènes

Ce type de sources est caractérisé par une faible efficacité lumineuse: leur emploi doit donc être limité à des faibles puissances (max. 20 W) et à des durées d'enclenchement limitées.

Ces sources sont des radiateurs thermiques (corps noir à plus de 3000 K): elles rayonnent dont près de 90 % de l'énergie consommée sous forme de chaleur. La charge thermique des installations, qui en résulte, n'est donc pas négligeable.

Ces sources possèdent, toutefois, un certain nombre d'avantages en cas d'utilisation dans les surfaces de vente:

- très bon rendu des couleurs ($R_a \cong 100$);
- teinte blanc chaud (perçue favorablement);
- installation simple;
- prix avantageux.

■ Lampes à incandescence avec réflecteur

Ces lampes sont généralement des lampes à incandescence munies d'une ampoule de verre partiellement métallisée. Grâce à une forme spéciale, la lumière peut être dirigée efficacement sans luminaires spéciaux, ni réflecteurs externes.

Les lampes halogènes de faible puissance à basse tension (20 W) remplacent avantageusement des projecteurs à incandescence de puissance supérieure (PAR 100 W par ex.). De par une meilleure focalisation du faisceau lumineux, elles permettent d'atteindre les mêmes effets lumineux sur les objets éclairés.

Leurs principales caractéristiques sont les suivantes:

- faisceau lumineux intensif directionnel;
- dimensions réduites;
- gamme variée de puissance;
- pas de luminaire spécial nécessaire;
- température importante sur l'ampoule et le culot.

■ Tubes fluorescents

Les tubes fluorescents sont des sources appropriées à un éclairage général: leur efficacité lumineuse est raisonnable et leur souplesse d'utilisation avantageuse.

Dans les plages de puissance de 36 à 58 W, les tubes fluorescents sont plus efficaces que des lampes fluorescentes compactes. Par rapport à des lampes à incandescence, ils permettent de réaliser une économie d'énergie de l'ordre de 80 %.

Pour la plupart des anciennes installations, il existe un potentiel d'économie d'énergie de 5 à 10% qui peut être mis à profit en remplaçant simplement les anciens tubes fluorescents (diamètre 38 mm) par de nouveaux tubes (diamètre 26 mm); la table 5.4 illustre cela.

Puissance du tube D 26 mm [W]	Puissance du tube D 38 mm [W]	Longueur [mm]
18	20	590
36	40	1200
38	42	1045
58	65	1500

Table 5.4: Comparaison des puissances de tubes fluorescent d'ancienne et de nouvelle génération (flux lumineux comparable).

On relèvera, toutefois, les points importants suivants:

- l'augmentation du flux lumineux, qui résulte du remplacement des tubes, peut contribuer à accentuer l'effet d'éblouissement direct pour certaines installations (tubes sans paralumes, luminaires mal placés);
- l'utilisation de nouveaux tubes D 26 mm est impossible avec certains ballasts d'ancienne génération.

Il est recommandé de procéder à un essai préalable avec un seul luminaire.

Les tables 5.5 et 5.6 montrent la variété de tubes fluorescents disponibles, tant en puissance qu'en qualité de rendu des couleurs.

Tubes	Flux lumineux	Rendu des couleurs	Prix
Standard	1	médiocre	1
Trois bandes	1,1	bon	env. 2
Multibandes (De Luxe)	0,7	très bon	env. 2,3

Table 5.5: Catégories de tubes fluorescents.

Domaine d'utilisation	Température de couleur								
	tw blanc «froid»		nw blanc «neutre»			ww blanc «chaud»			
	11	12	21	22	76	31	32	41	
Osram	86	95	84	94	-	83	93	82	
Philips	186		184	194	175	183	193	182	
Sylvania									
Denrées alimentaires		X				X		X	
Articles de boulangerie						X		X	
Produits surgelés	X		X						
Viandes et charcuterie					X				
Textiles, articles de cuir	X	X	X	X		X	X	X	
Meubles, tapis						X	X	X	
Articles de sport, jouets, papeterie			X	X		X	X		
Photos, horlogerie, bijouterie	X	X	X	X		X	X		
Cosmétiques			X	X		X	X	X	
Fleurs		X		X			X		
Grands magasins, supermarchés			X	X		X	X	X	

Table 5.6: Domaine d'utilisation des tubes fluorescents.



Dans de nombreux cas, les tubes à 3 bandes, plus coûteux, sont toutefois plus rentables à long terme. Le choix d'un équipement auxiliaire approprié (ballasts faibles pertes ou électroniques) conduit à des économies d'énergie substantielles. Celles-ci atteignent jusqu'à 30% en cas de remplacement de ballasts magnétiques d'ancienne génération (10 à 15 ans) par des ballasts électroniques à haute fréquence.

■ Lampes fluorescentes compactes

Grâce à leurs petites dimensions et à leur bon indice de rendu des couleurs, ces sources conviennent très bien aux locaux de vente.

De par leur taille, les lampes fluorescentes compactes constituent une excellente alternative aux lampes à incandescence: elles permettent d'atteindre, à même niveau d'éclairage et même durée d'enclenchement, jusqu'à 80 % d'économies d'énergie.

Leur coût plus élevée est compensé par la réduction des coûts énergétiques qui en résulte: leur temps de retour correspond approximativement à la moitié de leur durée de vie (jusqu'à 8000 h).

■ Lampes à vapeur de mercure

Bien que possédant une efficacité lumineuse acceptable ($\cong 60 \text{ Lm/W}$), les lampes à vapeur de mercure haute pression ne sont plus utilisées, aujourd'hui, dans les surfaces de vente (à l'exception de l'éclairage des plantes). La modification aléatoire de leur température de couleur, qui survient généralement en cours de fonctionnement, pose de sérieux problèmes sur le plan esthétique: teintes rosâtre ou bleuâtre, disparité dans un même lot de sources, etc.

Pour de faibles puissances (jusqu'à 125 W), les lampes fluorescentes compactes représentent une excellente alternative. On optera, dans les autres cas, pour des lampes à halogénures métalliques ou des lampes à vapeur de sodium haute pression.

Les lampes à vapeur de mercure se distinguent, toutefois, par un certain nombre de caractéristiques:

- longue durée de vie (jusqu'à 8000 heures);
- grand choix de puissances électriques différentes;
- température de couleur «blanc chaud» à «blanc neutre»;
- tendance marquée au scintillement;
- important affaiblissement du flux lumineux en cours d'exploitation;
- réflecteurs de grande taille nécessaires.

■ Lampes à halogénures métalliques

Les lampes à halogénures métalliques de faible puissance (35 à 150 W) sont compactes: leur flux lumineux peut donc être aisément focalisé. Elles représentent en termes d'énergie une excellente alternative aux lampes à incandescence et halogènes, lorsqu'il s'agit de disposer d'un flux lumineux élevé (éclairage ponctuel).

Ces lampes d'efficacité élevée ($\eta \cong 90 \text{ Lm/W}$) peuvent être avantageusement utilisées dans les vitrines, en lieu et place des «spots» conventionnels à incandescence. Leur usage dans les locaux de vente est recommandé par les mêmes raisons.



Les principales caractéristiques de ces sources sont:

- une efficacité lumineuse élevée (90 Lm/W);
- une gamme de température de couleur allant du «blanc chaud» à la lumière du jour (5700 K);
- un très bon rendu des couleurs;
- une bonne possibilité de focalisation.

■ Lampes à vapeur de sodium haute pression

Des progrès considérables ont été réalisés, en ce qui concerne les lampes au sodium haute pression:

- leur dimensions ont été considérablement réduites (jusqu'à 15 cm env.);
- leur indice de rendu des couleurs a été considérablement amélioré ($Ra \cong 60$);
- la gamme de puissance disponible a été significativement élargie (disponible à partir de 50 W).

Ces développements techniques, alliés à une excellente efficacité lumineuse (env. 90 Lm/W), rendent cette source appropriée à l'éclairage des surfaces de vente. Un résultat, particulièrement intéressant, peut être obtenu sur le plan de la teinte du flux lumineux, en combinant cette source ($T_c \cong 2000K$) avec une lampe à halogénures métalliques ($T_c \cong 4500 K$). On satisfait, ainsi, les critères de l'abaque de Kruithof (préférence pour les teintes «chaudes» en éclairage intérieur).

Les principales caractéristiques de ces sources sont:

- efficacité lumineuse élevée (jusqu'à 90 Lm/W);
- grande gamme de puissance disponible;
- source appropriée à l'éclairage des vitrines et des rayonnages (remplacement des halogènes);
- durée de vie importante (jusqu'à 8000 K).

■ Economie d'énergie

Les impératifs d'économie d'énergie doivent inciter les éclairagistes et les responsables commerciaux de magasins, à reconsidérer les techniques d'éclairage utilisées dans les surfaces de vente: elles sont parmi les plus gourmandes du bâtiment ($IDE_{\text{électricité}} \cong 500 \text{ MJ/m}^2.\text{a}$).

L'encadré suivant résume, uniquement en ce qui concerne les sources, quelles sont les dispositions qui peuvent être prises pour réduire substantiellement la consommation d'énergie électrique pour l'éclairage dans les surfaces de vente.

Mesures d'économie d'énergie recommandées

Eclairage général

Remplacement des tubes fluorescents d'ancienne génération (D 38 mm) par des nouveaux tubes (D 26 mm): potentiel d'économie de 5 à 10 % à prestations identiques.



Eclairage d'accentuation

Remplacement des lampes à vapeur de mercure de faible puissance (jusqu'à 125 W) par des lampes fluorescentes compactes.

Pour des puissances supérieures, on optera pour des lampes à halogénures métalliques ou des lampes au sodium haute pression (jusqu'à 50 % d'économie potentielle).

Remplacement des lampes à incandescence (conventionnelles et halogènes) par des lampes fluorescentes compactes (jusqu'à 80 % d'économie d'énergie possible) ou par une combinaison des lampes à halogénures métalliques et sodium haute pression.

Utilisation des lampes halogènes dichroïques (20 W maximum) limitée à des effets visuels spéciaux (en lieu et place de spots incandescents de 100 W et plus) et pour des durées de fonctionnement réduites.



6. LUMINAIRES	75
■ 6.1 Choix des luminaires	77
■ 6.2 Rendement des luminaires	80
■ 6.3 Installations techniques	81



6. LUMINAIRES

6.1 CHOIX DES LUMINAIRES

L'éclairage des surfaces de vente est généralement dicté par la recherche d'effets visuels spéciaux, destinés à mettre en valeur les produits de vente: c'est le cas, en particulier, pour l'éclairage d'accentuation et des vitrines. L'utilisation de luminaires («spotlights», projecteurs, etc.), permettant d'obtenir un faisceau lumineux intensif (cf. «Éléments d'éclairagisme»), est donc fréquente. Même lorsqu'il s'agit d'un éclairage général, l'effet provoqué par un tel éclairage est souhaitable.

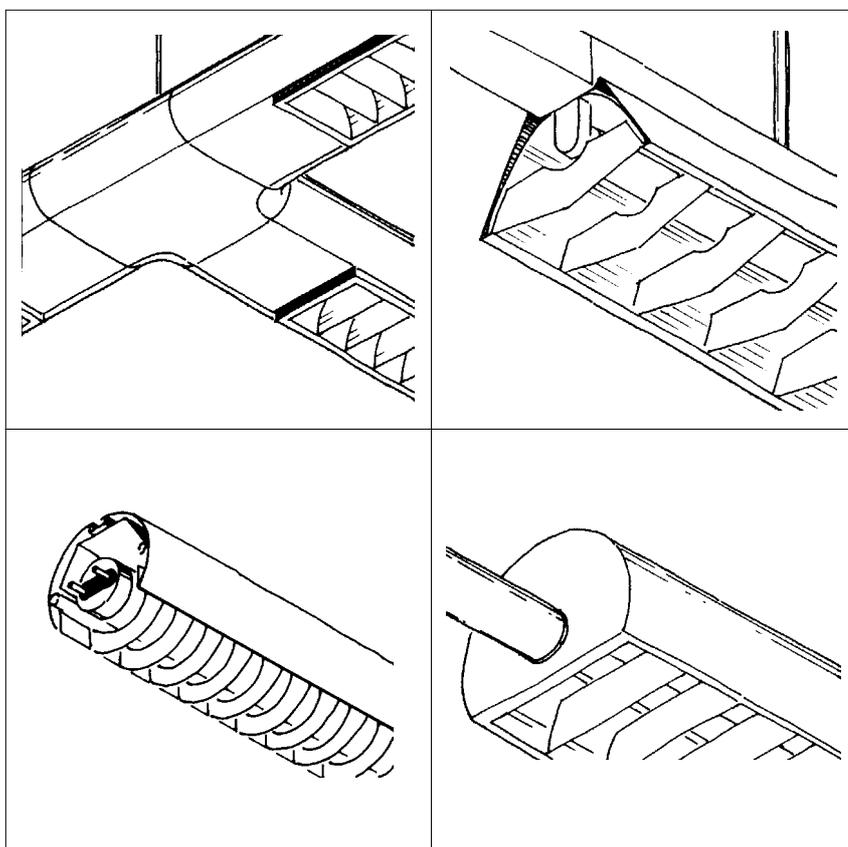
Le choix du luminaire diffère, toutefois, en fonction de la nature de cet éclairage:

- l'éclairage général peut être réalisé à l'aide d'appareils et de luminaires de grande taille;
- l'éclairage d'accentuation et des vitrines requiert généralement des luminaires de petites dimensions.

L'ensemble de ces luminaires est passé en revue ci-après.

■ Luminaires à grilles

Ce type de luminaire convient pour tous les locaux de vente, et plus particulièrement aux grandes surfaces. Il peut être équipé de tubes fluorescents ou de lampes compactes et constitue une solution efficace sur le plan énergétique. La figure 6.1 illustre quelques-uns des luminaires disponibles sur le marché.



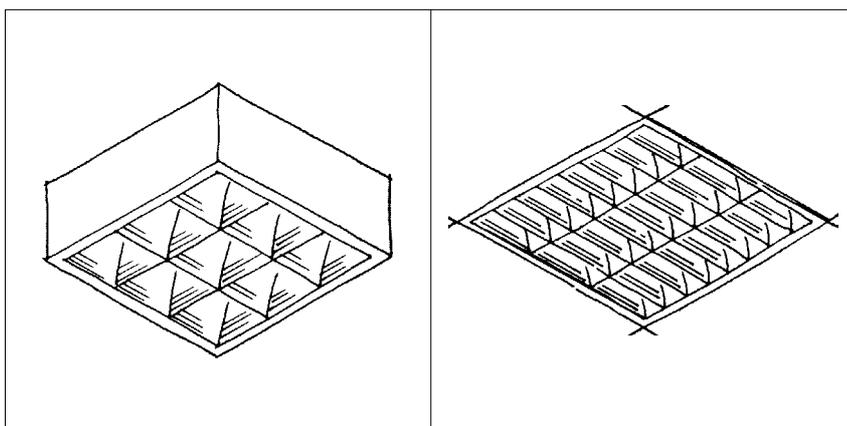


Fig. 6.1: Luminaires à grille de protection pour surfaces de vente.

La plupart d'entre eux sont munis d'optique miroitée, permettant d'obtenir un meilleur rendement de luminaire (80 % dans le meilleur des cas).

■ Projecteurs muraux

Les projecteurs muraux sont des luminaires spéciaux qui s'utilisent principalement pour l'éclairage des parois et de rayonnages. Pour obtenir un éclairage relativement uniforme, on veillera à ce que l'écart entre les luminaires soit égal à la distance entre le luminaire et la paroi éclairée.

L'éclairage dans le plan vertical est très régulier: il est plus important en haut qu'en bas. Associés à des locaux de parois claires, ces luminaires augmentent donc la sensation d'espace dans ces locaux. Ils peuvent être équipés de tubes fluorescents, de lampes compactes ou de lampes à décharge (halogénures métalliques, sodium haute pression). La figure 6.2 illustre certains d'entre eux.

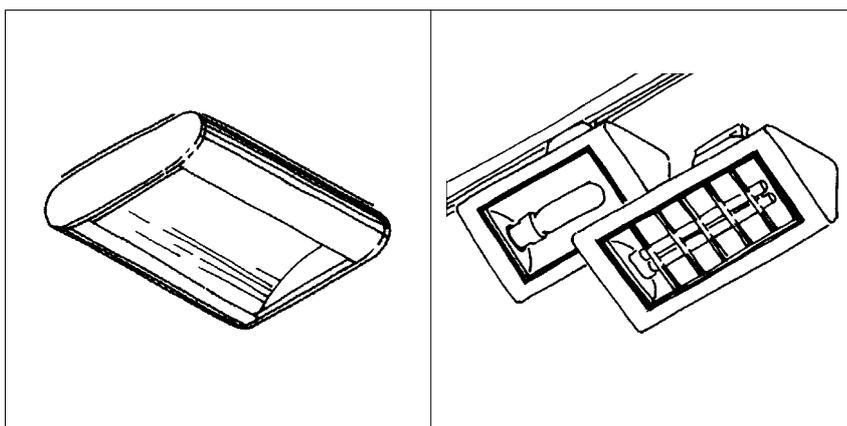


Fig. 6.2: Projecteurs muraux de grands magasins («spots»).

■ Downlights

Ce type de luminaire fait partie de la famille des plafonniers encastrés. Il s'utilise principalement comme éclairage général dans des magasins et boutiques d'articles de marque. La pose de ces luminaires s'effectue lors de la construction du plafond et de l'installation des autres équipements techniques.

La disposition des «Downlights» doit être aussi régulière que possible, si l'on souhaite obtenir un éclairage horizontal homogène.



Moyennant une densification de ces luminaires, il est également possible de réaliser des éclairages d'accentuation.

Il faut relever, par ailleurs, que ces luminaires «Downlights» sont équipés de lampes fluorescentes compactes (cf. figure 6.3).

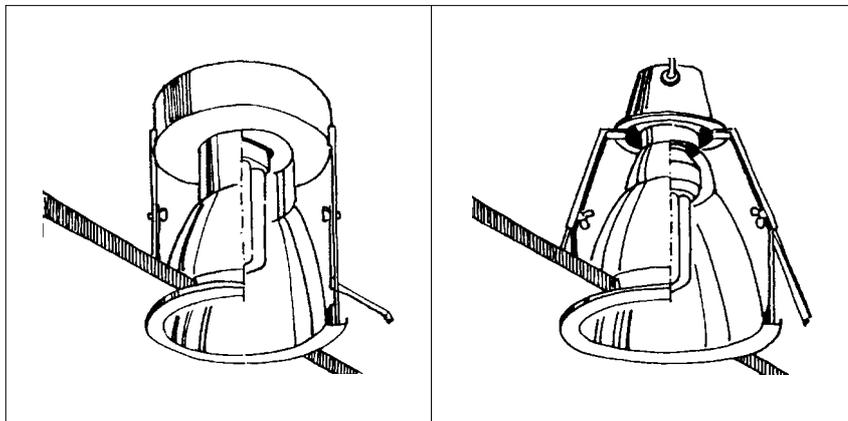


Fig. 6.3: Luminaires «downlights» à lampes compactes.

■ Luminaires montés sur rails

Il est impossible de concevoir, aujourd'hui, un éclairage moderne de vitrines et de locaux de vente sans rails d'alimentation.

Les différentes variantes d'application (modèles encastrés, modèles en applique ou éléments intégrés de forme tubulaire) garantissent une base idéale pour de multiples solutions.

Ces rails sont livrables en système monophasé et triphasé pour des tensions de 6 - 230-400 V.

Ces rails d'alimentation électrique n'ont pas encore fait l'objet d'une normalisation: ils ne permettent donc pas de combiner des luminaires provenant de divers fabricants. La figure 6.4 illustre un type de rail d'alimentation.

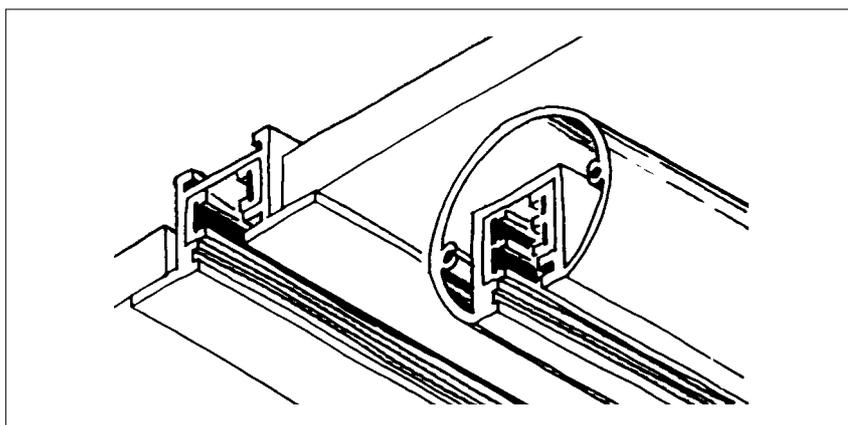


Fig. 6.4: Luminaires montés sur rails.

■ Projecteurs pour rails d'alimentation

Une très large gamme de projecteurs pour rails d'alimentation est aujourd'hui disponible: elle permet à l'utilisateur de donner libre cours à sa fantaisie.

Il est toutefois possible, aujourd'hui, de satisfaire cette créativité, sans nuire pour autant aux impératifs d'économie d'énergie. Deux types de sources à efficacité lumineuse élevée peuvent, aujourd'hui, être intégrés à ces projecteurs:



- les lampes à halogénures métalliques ($\eta \cong 80$ Lm/W);
- les lampes au sodium haute pression ($\eta \cong 90$ Lm/W).

La combinaison de ces deux sources permet d'obtenir des teintes lumineuses extrêmement favorables.

■ Luminaires de décoration

Ces luminaires s'utilisent dans des locaux de vente qui doivent se distinguer par une atmosphère particulière (luminaires Art déco, High-Tech, etc.).

Lors du choix de pareils éléments d'éclairage, on veillera également à utiliser des lampes à faible consommation d'énergie (lampes fluorescentes compactes).

Leur emploi doit, toutefois, être limité autant que possible: d'autres moyens permettent d'obtenir les mêmes effets de façon plus économique (plexiglas dopé, fibres optiques, etc.).

6.2 RENDEMENT DES LUMINAIRES

Le rendement d'un luminaire indique la proportion du flux lumineux, émis par la source, qui quitte effectivement ce dernier (cf. document «Eléments d'éclairagisme»). Un rendement supérieur à 80% est qualifié de «très élevé»; un rendement inférieur à 50% de «faible».

Critères de choix des luminaires (rendement lumineux)

Les caractéristiques constructives suivantes des luminaires permettent d'augmenter leur rendement et donc de réduire, à niveau d'éclairage constant, leur consommation électrique:

- **Composants optiques**

Des surfaces réfléchissantes de qualité optique élevée permettent d'atteindre des facteurs de réflexion importants (réflecteurs, grilles paralumes): cela favorise la réflexion de la lumière.

L'emploi de matériaux translucides de bonne qualité optique (verres, éléments protecteurs) permet de réduire les pertes lumineuses au travers de ces derniers et augmente d'autant la quantité de lumière émise dans le local.

- **Surfaces d'émission lumineuse**

Les petits luminaires «enveloppent» généralement de façon excessive les sources de lumière. Les luminaires à réflecteur parabolique se caractérisent, d'autre part, par une face latérale de hauteur importante.

Il est, pour ces raisons, préférable de faire appel à des luminaires dont la surface d'émission est grande, afin de réduire l'importance des pertes induites par ces effets (pertes lumineuses dans le luminaire).



- **Ecartement entre les sources**

Les luminaires, pourvus de plusieurs sources, se caractérisent par une absorption importante du flux lumineux par les sources elles-mêmes, à l'intérieur du luminaire (les sources ne sont pas réfléchissantes). L'écartement entre ces dernières doit donc être suffisamment important, sous peine de diminuer le rendement du luminaire.

6.3 INSTALLATIONS TECHNIQUES

La plupart des locaux de vente sont borgnes: leur aération ne peut pas être réalisée par l'intermédiaire d'ouvrants. Des dissipations importantes de chaleur y ont lieu, par ailleurs, provenant des usagers (80 W par personne) et de l'éclairage. Même s'il est possible, aujourd'hui, de réduire considérablement l'apport de chaleur dû à ce dernier par l'emploi de nouvelles sources, celui-ci n'en demeure pas moins très important (330 kW de puissance de raccordement dans l'exemple du paragraphe 3.3).

Une ventilation mécanique des locaux est donc indispensable; leur rafraîchissement est, malgré la diminution de la chaleur dissipée, souvent nécessaire. Celui-ci sera réalisé à l'aide de techniques énergétiquement performantes de production de froid (tour à évapo-transpiration, source d'eau froide, etc.), de préférence à des groupes frigorifiques (compresseurs, etc.).

On recommande, en général, de combiner luminaires et prises d'air vicié. L'aspiration de ce dernier au travers du luminaire permet de réduire la charge thermique du local, en évacuant directement les gains internes de l'éclairage et en améliorant son rendement. L'utilisation d'une ventilation par lac d'air froid permet de réduire la charge des installations de froid.

On distingue aujourd'hui cinq systèmes de ventilation différents, applicables aux surfaces de vente. Les figures suivantes illustrent ces derniers.

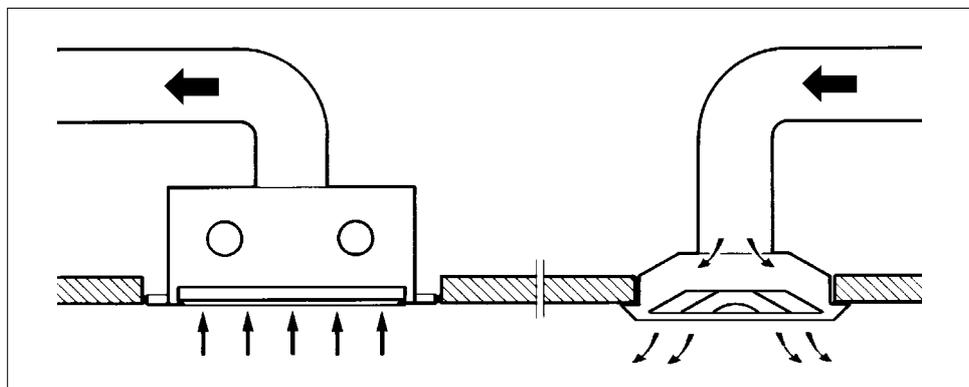


Fig. 6.5: Ventilation par canaux séparés (système 1).

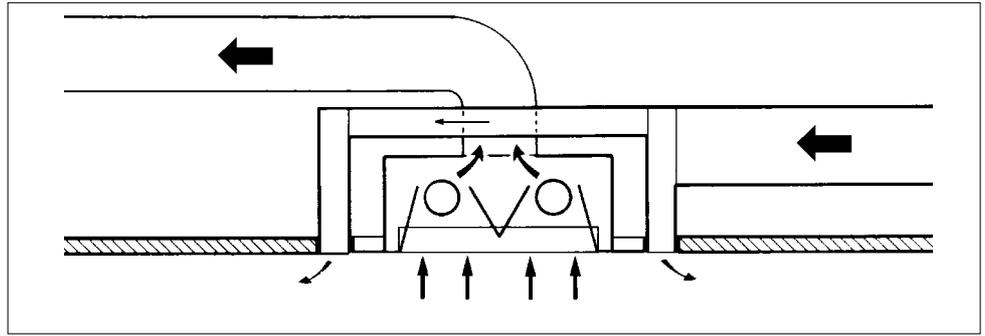


Fig. 6.6: Ventilation par canaux séparés (système 2).

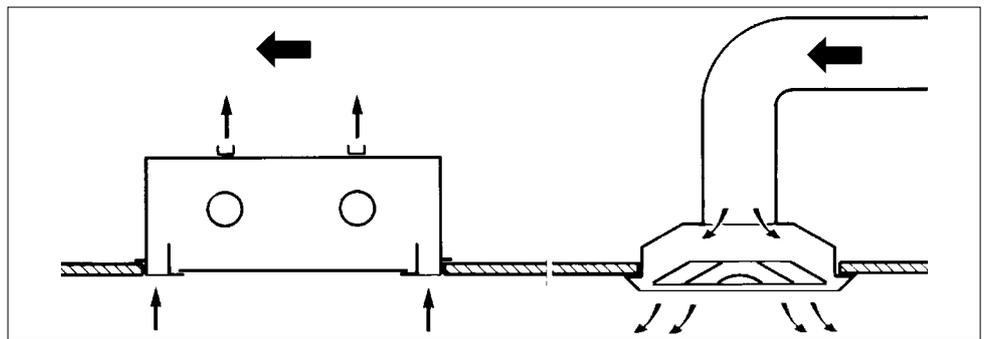


Fig. 6.7: Ventilation par dépression (système 3).

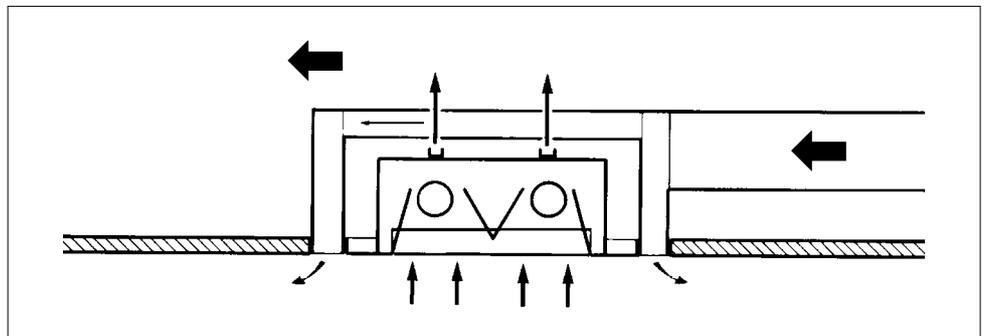


Fig. 6.8: Ventilation par surpression (système 4).

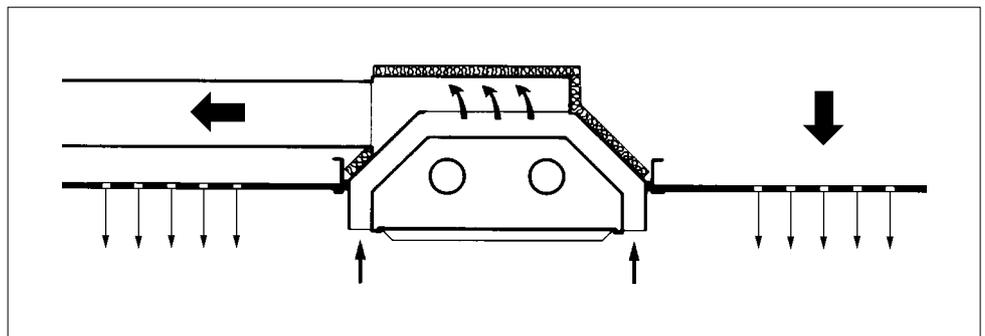


Fig. 6.9: Ventilation par surpression (système 5).



■ Système 1

Injection d'air neuf et évacuation d'air vicié réalisés par des chemins séparés. L'évacuation de l'air vicié s'effectue à travers le luminaire, alors que l'admission d'air neuf a lieu par des bouches d'aération montées séparément.

■ Système 2

Injection d'air neuf et évacuation d'air vicié réalisés par des chemins séparés. L'évacuation de l'air vicié s'effectue à travers le luminaire. Le dispositif d'admission d'air neuf est combiné avec le luminaire.

■ Système 3

L'air vicié est évacué par dépression au travers du luminaire dans le plafond. L'air neuf est amené par des canaux séparés, munis de distributeurs.

■ Système 4

L'air vicié est évacué par dépression au travers du luminaire. L'air neuf est amené par des canaux combinés dans le luminaire.

■ Système 5

L'air vicié est évacué par dépression à travers les luminaires. L'air neuf est amené par surpression dans le plafond.

On veillera, en utilisant ces techniques de ventilation, aux points suivants:

- l'ensemble des gains internes, produit dans le local, doit être évacué au travers des luminaires;
- le volume d'air renouvelé doit être contrôlable;
- l'encrassement des luminaires par l'air vicié doit rester acceptable (pas de sources de poussière excessives).
- les sifflements produits par le flux d'air ne doivent pas être perceptibles (débit modéré);
- la conception du circuit de ventilation doit être exempte de problèmes acoustiques (ronflements, etc.).



7. APPAREILS AUXILIAIRES	85
■ 7.1 Considérations générales	87
■ 7.2 Ballasts pour tubes fluorescents	88



7. APPAREILS AUXILIAIRES

7.1 CONSIDÉRATIONS GÉNÉRALES

Un grand nombre de sources requiert un équipement auxiliaire pour son fonctionnement (starter, ballast, etc.). Cet appareillage électrique se caractérise par une consommation électrique propre (pertes énergétiques). Lorsque l'on compare différentes installations d'éclairage, il est indispensable de prendre en compte la puissance électrique consommée par cet équipement. Celle-ci n'est en rien négligeable dans le cas d'anciennes installations (30% de consommation due aux ballasts magnétiques pour les tubes fluorescents).

Le comportement en termes de consommation énergétique de différents appareils auxiliaires est passé en revue ci-après.

■ Lampes halogènes basse tension

Les lampes halogènes basse tension nécessitent un transformateur (conversion du courant alternatif 220V en basse tension): celui-ci se caractérise par des pertes énergétiques non négligeables. Les dispositifs électroniques de dernière génération se caractérisent par une plus faible consommation que les transformateurs conventionnels: ils permettent généralement de réduire ces pertes. La table 7.1 donne à titre de comparaison la consommation des transformateurs d'ancienne et de nouvelle génération (transformateurs électroniques). Leur installation, après le commutateur d'éclairage sur le circuit, est nécessaire pour éviter des pertes parasites (sous tension en permanence).

Caractéristiques	Type de lampe	Puissance de la source	Pertes transformateur conventionnel	Puissance totale	Pertes transformateur électronique
Lampe halogène, 12 V	50 W	50 W	13 W	63 W	3 W
Lampe halogène, 12 V	75 W	75 W	15 W	90 W	4 W
Lampe halogène, 12 V	100 W	100 W	20 W	120 W	6 W

Table 7.1: Comparaison des consommations des transformateurs de lampes halogènes basse tension.

■ Lampes à décharge haute pression

Les ballasts propres à ce type de sources (limiteurs de courant de décharge) s'orientent de plus en plus vers l'électronique. Outre leur consommation spécifique généralement plus faible, les ballasts électroniques se caractérisent par:

- un réallumage possible à chaud;
- un fonctionnement sans scintillement.



La consommation spécifique de ces ballasts est donnée à la table 7.2.

Type de lampe	Type de lampes	Pertes ballast	Puissance totale consommée	Efficacité lumineuse globale [lm/W]
Lampe à halogénures métalliques	35 W	13 W	48 W	50
Lampe à halogénures métalliques	70 W	18 W	88 W	57
Lampe à halogénures métalliques	150 W	20 W	170 W	65
Lampe à halogénures métalliques	250 W	25 W	275 W	73
Lampe à halogénures métalliques	400 W	40 W	440 W	80
Lampe à vapeur de sodium haute pression (De Luxe blanc)	35 W	10 W	45 W	41
Lampe à vapeur de sodium haute pression (De Luxe blanc)	70 W	16 W	86 W	54
Lampe à vapeur de sodium haute pression (De Luxe blanc)	150 W	20 W	170 W	74
Lampe à vapeur de sodium haute pression (De Luxe blanc)	250 W	25 W	275 W	84
Lampe à vapeur de sodium haute pression (De Luxe blanc)	400 W	50 W	450 W	85

Table 7.2: Consommation des ballasts pour lampes à décharge.

7.2 BALLASTS POUR TUBES FLUORESCENTS

Il existe trois types fondamentaux de ballasts pour tubes fluorescents:

- les ballasts magnétiques conventionnels (KVG: konventionelle Vorschaltgeräte);
- les ballasts à faibles pertes (VVG: verlustarme Vorschaltgeräte);
- les ballasts électroniques (EVG: elektronische Vorschaltgeräte).

Leurs caractéristiques de consommation très différentes sont rappelées ci-après.

■ Ballasts à faibles pertes (VVG)

Les ballasts à faibles pertes se composent, comme les ballasts conventionnels, d'une bobine magnétique (self) ou d'un enroulement de fil de cuivre autour d'un noyau de fer doux. La conception de ces éléments est toutefois optimisée (réduction des fuites magnétiques); ils présentent de ce fait des pertes spécifiques plus faibles que les ballasts conventionnels (5 à 7 W au lieu de 12 à 15 W).

■ Ballasts électroniques (EVG)

Outre une réduction importante de consommation, en comparaison des ballasts conventionnels (3 à 5 W au lieu de 12 à 15 W), les ballasts électroniques offrent les avantages suivants:



- amélioration de l'efficacité lumineuse des tubes fluorescents;
- fonctionnement exempt de scintillement (excitation à plus de 20 kHz);
- contrôle continu du flux lumineux (de 0 à 100%);
- augmentation de la durée de vie;
- facteur de cosinus proche de 1 (pas de correction nécessaire);
- utilisation simultanée possible avec deux tubes fluorescents (couplage).

Dans le cas de luminaires bi-tubes, ce dernier point a pour avantage de réduire le surcoût relatif des ballasts électroniques par rapport aux ballasts conventionnels (ballasts KVG et VVG).

La table 7.3 donne un aperçu de la consommation des différents ballasts par rapport à celle propre aux tubes fluorescents: elle n'est pas négligeable, en particulier, pour ce qui concerne les ballasts conventionnels.

Ballast	Type de tube	Puissance du tube	Consommation du ballast	Consommation du système
conventionnel	T 36 W	36 W	10,5 W	46,5 W
à faibles pertes	T 36 W	36 W	6 W	42 W
à très faibles pertes	T 36 W	36 W	4 W	40 W
électronique	T 36 W	36 W	4 W	36 W
conventionnel	T 58 W	58 W	15 W	73 W
à faibles pertes	T 58 W	58 W	9 W	67 W
à très faibles pertes	T 58 W	58 W	5,5 W	63,5 W
électronique	T 58 W	58 W	5 W	55 W

Table 7.3: Consommation des tubes fluorescents et de leurs appareils auxiliaires (ballasts).

■ Interférences radio

Les ballasts électroniques se distinguent par la fréquence extrêmement élevée avec laquelle sont excités les tubes fluorescents (excitation de la décharge électronique). Cette excitation de plusieurs dizaines de kiloHertz (20 à 40 kHz en général) se traduit par une génération de perturbations électromagnétiques (ondes radio) qui peuvent avoir une influence sur:

- les dispositifs de commande par infrarouge;
- les dispositifs de recherche de personnes («beep»).

Moyennant une planification soignée et rigoureuse [10], il est toutefois possible d'éviter ces inconvénients.



8. CHECKS-LIST

91

■ 8.1 Local de vente

93

■ 8.2 Vitrine

94



8. CHECKS-LIST

8.1 LOCAL DE VENTE

Points importants du point de vue des économies d'énergie

Critères	Oui	Non
<p><input type="checkbox"/> Sources</p> <p>L'image de marque du magasin peut-elle être améliorée par l'utilisation d'un éclairage à faible consommation spécifique (éclairage général: 10 W/m²; accentuation: 5 W/m²)?</p> <p>A-t-on remplacé des spotlights incandescents ou halogènes (PAR 100 W) par des lampes halogènes dichroïques de faible puissance (20 W)?</p> <p>Utilise-t-on des projecteurs à lampes fluorescentes compactes ou à lampes à décharge (halogénures métalliques, sodium haute pression)?</p> <p>A-t-on remplacé des tubes fluorescents D 38 mm par des tubes D 26 mm?</p> <p>Les lampes fluorescentes à 3 bandes sont-elles nécessaires?</p> <p>Les sources sont-elles compatibles avec la sensibilité des produits à la lumière?</p> <p>Utilise-t-on des ballasts électroniques?</p>	<p><input type="checkbox"/></p>	
<p><input type="checkbox"/> Luminaires</p> <p>Si l'installation est de plus de 15 ans, a-t-elle été renouvelée?</p> <p>L'installation est-elle nettoyée régulièrement?</p> <p>A-t-on envisagé une installation de valeur utile comparable, moins gourmande en énergie?</p>	<p><input type="checkbox"/></p> <p><input type="checkbox"/></p> <p><input type="checkbox"/></p>	
<p><input type="checkbox"/> Commande</p> <p>Peut-on réduire la durée d'exploitation de l'éclairage?</p> <p>Une exploitation accrue de la lumière naturelle est-elle possible (asservissements de l'éclairage par ex.)?</p>	<p><input type="checkbox"/></p> <p><input type="checkbox"/></p>	

8.2 VITRINE

Points importants du point de vue des économies d'énergie

Critères	Oui	Non
<p>Sources</p> <p>A-t-on remplacé des spotlights incandescents ou halogènes (PAR 100 W) par des lampes halogènes dichroïques de faible puissance (20 W)?</p> <p>Utilise-t-on des tubes fluorescents de nouvelle génération (D 26 mm) ou des lampes fluorescentes compactes?</p> <p>Fait-on appel pour les projecteurs à des lampes à décharge aux halogénures métalliques ou au sodium haute pression?</p> <p>Utilise-t-on des ballasts électroniques?</p>	<p><input type="checkbox"/></p> <p><input type="checkbox"/></p> <p><input type="checkbox"/></p> <p><input type="checkbox"/></p>	
<p>Luminaire</p> <p>Le rendement des luminaires est-il suffisamment élevé?</p> <p>A-t-on envisagé une installation de valeur utile comparable moins gourmande en énergie?</p>	<p><input type="checkbox"/></p> <p><input type="checkbox"/></p>	
<p>Commandes</p> <p>Utilise-t-on suffisamment la lumière naturelle pour mettre en valeur les produits exposés?</p> <p>La durée d'enclenchement de la vitrine (en particulier la nuit) peut-elle être réduite?</p> <p>L'enclenchement de la vitrine par un détecteur de présence ne permet-il pas d'accroître son impact sur les passants?</p>	<p><input type="checkbox"/></p> <p><input type="checkbox"/></p> <p><input type="checkbox"/></p>	



9. BIBLIOGRAPHIE

- [1] Harst P., «Licht gezielt einsetzen», Philips Workshop, Zurich, 1998.
- [2] Fördergemeinschaft Gutes Licht, «Informationshefte zur Lichtanwendung», Francfort.
- [3] OSRAM, «Wie Sie Schaufenster und Verkaufsräume ins rechte Licht setzen», brochure, 1988.
- [4] SLG, «Handbuch für Beleuchtung», ecomed-Fachverlag, Landsberg, 1992.
- [5] SLG, «Wegleitung für die Wahl von Fluoreszenzlampen und Betriebssystemen», documentation No 250/92, Berne, 1992.
- [6] Rinza P., Schmitz H., «Nutzwert-Kosten-Analyse - eine Entscheidungshilfe», VDI-Verlag, Dusseldorf, 1992.
- [7] Frieling H., «Licht und Farbe am Arbeitsplatz», Verlagsgemeinschaft für Wirtschaftspublizistik, Bad Wörishofen, 1982.
- [8] OFEN, ATAL, «Ballasts électroniques pour lampes fluorescentes, caractéristiques et données de planification», série de publications de l'Office fédéral de l'énergie, étude No 49, Office central fédéral des imprimés et du matériel, Berne, 1991.
- [9] Fischer U., «Tageslichttechnik», Verlagsgesellschaft Rudolf Müller, Cologne-Braunsfeld, 1982.
- [10] OFEN, ATAL, «Ballasts électroniques pour lampes fluorescentes, caractéristiques et données de planification», série de publications de l'Office fédéral de l'énergie, étude No 49, Office central fédéral des imprimés et du matériel, Berne, 1991.
- [11] Regent, «Beleuchtungstechnik», brochure d'entreprise, Bâle, 1988.
- [12] Füglistner E., «Sanieren von Beleuchtungsanlagen», analyses électriques et énergétiques, Zurich, 1990.
- [13] D. Chalancon, V Tournery, «L'éclairage naturel dans les musées», LASH-ENTPE, Vaulx en Velin, France, 1990.
- [14] «La lumière et la protection des objets et spécimens exposés dans les musées et les galeries d'art», International Council Of Museums 1971, Paris.
- [15] J.-J. Ezrati, M. O. Staniforth, «Propriétés anti-UV des films de sécurité», Comité de l'ICOM pour la conservation, 1987, vol.3
- [16] American Society of Heating, Refrigerating and Air-conditioning Engineers Inc., ASHRAE Handbook 1981, Fundamentals, 1791 TULLIE CIRCLE, Atlanta, GA 30329, USA.
- [17] Agence pour la Maîtrise de l'Énergie et des Charges dans le Commerce, «Environnement lumineux des grandes surfaces de vente», étude réalisée par le bureau d'études GIRUS, 1991.



- [18] M. Perreaudeau, «Utilisation de l'éclairage naturel dans les hypermarchés : Mesures in-situ à Auchan Le Pontet», 3rd International congress on Building Energy Management, EPF Lausanne, 1987.
- [19] Southern California Edison, «Daylighting: performances and Design», Los Angeles, CA, 1985.
- [20] Recommandation SIA 380/4, «L'énergie électrique dans le bâtiment», Société Suisse des Ingénieurs et Architectes, Zurich, 1992.



10. REPERTOIRE ALPHABETIQUE

Mot-clé	Page
Absorption	81
Accentuation	24
Accessibilité	61
Affaiblissement du flux lumineux	61
Air vicié	81, 82
Air neuf	81, 82
Analyse de la valeur utile	30
Ballasts à faibles pertes (VVG)	88, 89
Ballasts conventionnels (KVG)	88, 89
Ballats électroniques (EVG)	88, 89
Chaleur dissipée	81
Charge thermique	81
Check-list	93
Commande	40
Commutation	40
Consommation d'énergie	23
Coût annuel de l'éclairage	11, 18
Degré de satisfaction	31
Désignations des sources	65
Disposition des luminaires	76
Downlights	78
Durée de vie	66
Eblouissement	32
Eclairage d'accentuation	68
Eclairage de plantes	68
Eclairage de vitrines	68
Eclairage général	
Economie d'énergie	72
Elimination	62
Encrassement	61
Entretien	61
Exposition de meubles	17
Extraction de l'air vicié	82
Flux lumineux	65
Indice de rendu des couleurs	67
Interférences radios	89
Jaunissement	45



Lampes à décharge haute pression	71
Lampes halogènes basse tension	69
Lampes aux halogénures métalliques	71
Lampes à vapeur de sodium haute pression	72
Lampes à lumière mixte	65
Lampes à vapeur de mercure	71
Lampes à incandescence	69
Lampes PAR	69
Lanterneaux	53
Lumière naturelle	45
Luminaires	77
Luminaires à grille	77
Luminaires de décoration	80
Magasins de produits alimentaires	14
Maintenance	59
Montage des luminaires	79
Nettoyage	61
Pertes des transformateurs	87
Plafond à dépression	82
Plafond à surpression	82
Potentiel d'économie d'énergie	23
Projecteurs	25
Promotion des ventes	25
Puissance spécifique consommée	11, 18
Qualité de l'éclairage	30
Rails d'alimentation	79
Réallumage à chaud	87
Réflexion	80
Régulation du flux lumineux	54
Remplacement par groupe	61
Rendement des luminaires	80
Rendu des couleurs	70
Rénovation	54
Résistance à la lumière	45
Stabilité à la lumière	45
Surfaces d'émission lumineuse	77
Température des couleurs	67
Temps d'exposition	45
Transformateurs	87
Tubes fluorescents	69
Valeur maximale d'exposition	45
Vitrines	50

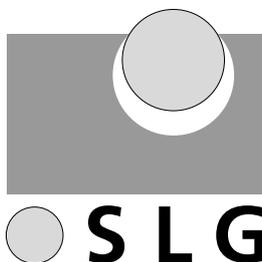
Associations de soutien

ASE

Association suisse
des électriciens

Sia

Société suisse
des Ingénieurs et des Architectes



Association suisse de l'éclairage



Union technique suisse