



*éclairage*

Éléments  
d'éclairagisme

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

### **Eléments d'éclairagisme**

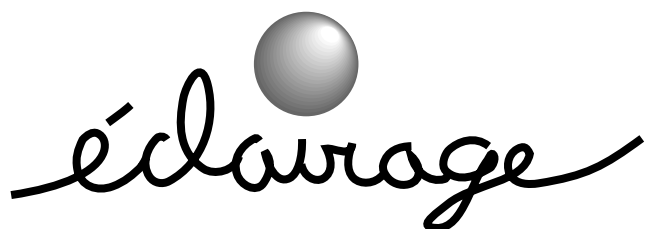
L'élaboration de projets d'éclairage est à la fois un art et une science. Elle a pour objectif de fournir des conditions d'éclairage appropriées et un environnement lumineux confortable et attrayant.

Le cours est orienté sur la pratique et concerne les domaines d'affectation les plus «gourmands» en électricité: les bureaux, l'industrie et les surfaces de vente.

Il est organisé en **trois modules distincts**, correspondant à ces thèmes et offerts au choix des participants. Ces trois modules thématiques sont précédés d'un premier **cours d'introduction** donnant un aperçu des notions fondamentales d'éclairage intérieur des bâtiments. Le présent ouvrage constitue le support de cours pour ce premier module.

ISBN 3-905233-43-6

1993, 96 pages  
N° de commande 724.329.1 f



# Éléments d'éclairagisme



■ **Direction de projet:**

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

■ **Conception et élaboration:**

B. Paule, architecte DPLG, CUEPE/Université de Genève

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

■ **Rédaction:**

D. Chuard, architecte, SORANE SA, Lausanne

B. Paule, architecte DPLG, CUEPE/Université de Genève

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

Dr. S. Simos, architecte, EIG, Genève

■ **Dactylographie:**

S. Riser, secrétaire, CUEPE/Université de Genève

■ **Crédit photographique:**

CUEPE/Université de Genève, Docuverre, Ph. Joye, LESO-PB/EPFL, OSRAM, UMTE/UNIGE

■ **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

ISBN 3-905233-43-6

Copyright © 1993 Office fédéral des questions conjoncturelles, 3003 Berne, septembre 1993.

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 724.329.1 f)

Form 724.329.1 f 09.93 1000 U13747



# Avant-propos

D'une durée totale de 6 ans (1990-1995), le programme d'action «Construction et Energie» se compose des trois programmes d'impulsions suivants:

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

Ces trois programmes d'impulsions sont réalisés en étroite collaboration avec l'économie privée, les Hautes-écoles et la Confédération. Leur but est de favoriser une croissance économique qualitative. Dans ce sens ils doivent conduire à une plus faible utilisation des matières premières et de l'énergie, avec pour corollaire un plus large recours au savoir-faire et à la matière grise.

Le programme RAVEL cherche principalement à améliorer la compétence des professionnels à utiliser l'énergie électrique à bon escient. Outre les aspects de la sécurité et de la production, qui étaient prioritaires jusqu'ici, il est aujourd'hui indispensable de s'intéresser davantage aux rendements. RAVEL a établi une matrice de consommation qui définit dans leurs grandes lignes les thèmes à traiter. Les procédés utilisés dans l'industrie, le commerce et le secteur tertiaire sont à considérer parallèlement aux utilisations de l'électricité dans les bâtiments. Dans ce contexte, les groupes-cibles concernés sont les spécialistes de tous les niveaux de formation et les décideurs qui doivent gérer les investissements en matière d'équipements et de procédés.

## ■ Cours, manifestations, publications, vidéos, etc.

Les objectifs de RAVEL sont poursuivis par des projets de recherche et de diffusion des connaissances de base, par des cycles de formation et de perfectionnement, ainsi que par l'information. Le transfert des nouvelles connaissances est orienté vers une mise en pratique dans le travail quotidien. Il repose principalement sur des publications, des cours et des réunions. Une journée d'information annuelle RAVEL permet de présenter et de discuter des nouveaux résultats, développements et tendances de cette discipline fascinante qu'est l'utilisation rationnelle de l'électricité. Les personnes intéressées trouveront dans le bulletin «Construction et Energie» de plus amples informations sur le vaste éventail des possibilités en matière de formation continue offertes aux groupes-cibles. Ce bulletin paraît trois fois l'an et peut être obtenu gratuitement en s'adressant à la Coordination romande du programme d'action «Construction et Energie», EPFL-LESO, Case postale 12, 1015 Lausanne. En outre, chaque participant à un cours, ou autre manifestation du programme, reçoit une publication spécialement élaborée à cet effet. Toutes ces publications peuvent également être obtenues en s'adressant directement à la Coordination romande du programme d'action «Construction et Energie», EPFL-LESO, Case postale 12, 1015 Lausanne.

## ■ Compétences

Afin de maîtriser cet ambitieux programme de formation, il a été fait appel à des spécialistes des divers domaines concernés; ceux-ci appartiennent au secteur privé, aux Hautes-écoles, ou aux associations pro-



fessionnelles. Ces spécialistes sont épaulés par une commission qui comprend également des représentants des associations, des écoles techniques et des branches professionnelles concernées.

Ce sont les associations professionnelles qui prennent en charge l'organisation des cours et des autres activités proposées. Pour la préparation de ces activités, une direction de projet a été mise en place; elle se compose du Dr Roland Walthert, de M. Werner Böhi, du Dr Eric Bush, de MM. Jean-Marc Chuard, Hans-Ruedi Gabathuler, Jürg Nipkow, Ruedi Spalinger, du Dr Daniel Spreng, de M. Felix Walter, du Dr Charles Weinmann et de M. Eric Mosimann de l'OFQC. Une très large part des activités est confiée à des groupes de travail qui sont responsables du contenu, de même que du maintien des coûts et des délais.

## ■ 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. H. Kneubühler  
Directeur suppléant de l'Office  
fédéral des questions  
conjoncturelles



# TABLE DES MATIERES

■	<b>Introduction</b>	<b>7</b>
■	<b>1. Notions fondamentales</b>	<b>9</b>
	1.1 Perception de la lumière	9
	1.2 Photométrie	13
	1.3 L'oeil et les sollicitations lumineuses	15
■	<b>2. L'éclairage naturel</b>	<b>21</b>
	2.1 Considérations générales	21
	2.2 Problématique d'utilisation de la lumière naturelle	22
	2.3 Utilisation de la lumière directe	23
	2.4 Utilisation de la lumière diffuse	26
	2.5 Quelques systèmes d'ouverture	31
■	<b>3. L'éclairage artificiel</b>	<b>41</b>
	3.1 Caractéristiques des différentes sources lumineuses	41
	3.2 Caractéristiques des différents types de luminaires	49
	3.3 Systèmes de commande des luminaires	52
	3.4 Etapes du projet d'éclairage artificiel	54
■	<b>4. Aspects énergétiques</b>	<b>59</b>
	4.1 Analyse de la situation actuelle	59
	4.2 Energie et éclairage naturel	60
	4.3 Extraction de la chaleur	65
	4.4 Combinaison des éclairages naturel et artificiel	68
■	<b>5. Stratégie du projet d'éclairage</b>	<b>75</b>
	5.1 Données de base du projet	75
	5.2 Utilisation du bâtiment	78
	5.3 Coûts financiers	83
■	<b>6. Terminologie</b>	<b>89</b>
■	<b>Liste des publications RAVEL</b>	<b>93</b>



1. NOTIONS FONDAMENTALES	11
■ 1.1 Perception de la lumière	11
■ 1.2 Photométrie	13
■ 1.3 L'oeil et les sollicitations lumineuses	15





# 1. NOTIONS FONDAMENTALES

## 1.1 PERCEPTION DE LA LUMIERE

### ■ L'œil

La sensation de perception visuelle a pour cause des mécanismes aussi bien physiques que biologiques. Elle implique tout d'abord la pénétration d'un rayon lumineux (rayonnement électromagnétique de longueur d'onde particulière) dans le globe oculaire et son absorption par la rétine (voir figure 1.1).

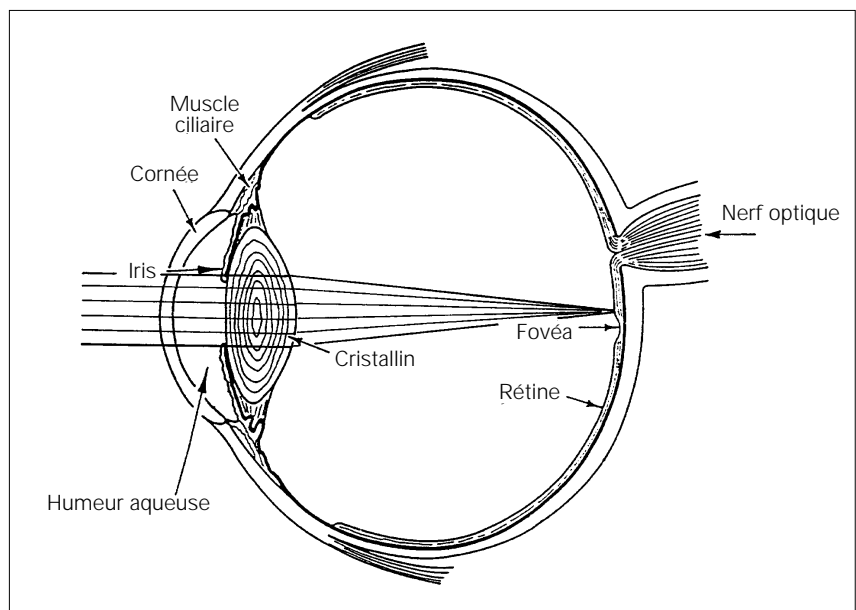


Figure 1.1: Coupe horizontale du globe oculaire humain (distance approx. cor-née-rétine: 24 mm) [1].

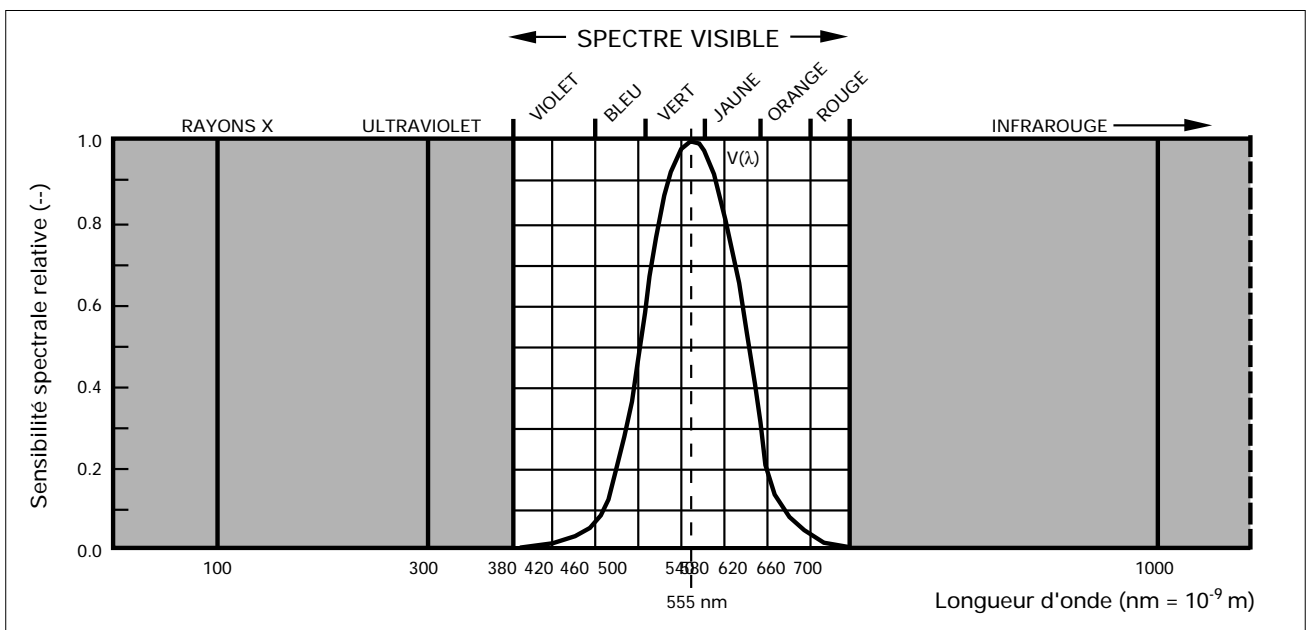


Figure 1.2: Courbe de sensibilité spectrale de l'œil humain.



Les récepteurs photosensibles qui tapissent la rétine (cônes et bâtonnets) transforment alors l'énergie lumineuse en un influx nerveux, qui est acheminé par le nerf optique jusqu'au cerveau. Celui-ci procède à l'interprétation du signal reçu et reconstitue l'image d'origine (source de la lumière).

## ■ La lumière: partie visible du rayonnement électromagnétique

Tous les rayonnements électromagnétiques, qui comprennent aussi bien les rayons X, la lumière que les ondes radio, ne sont pas perceptibles par l'œil humain. Seuls ceux dont la longueur d'onde appartient au **spectre visible** (bande de 380 à 700 milliardièmes de mètre) provoquent une sensation lumineuse.

Cette particularité est liée à la sensibilité des photorécepteurs de la rétine qui diffère pour chaque longueur d'onde  $\lambda$ . La **courbe de sensibilité spectrale**  $V(\lambda)$  reflète cette propriété; la figure 1.2 représente cette courbe qui se superpose naturellement à la bande de longueurs d'onde visibles. Cette courbe joue en quelque sorte le rôle d'un filtre qui attribue à chaque longueur d'onde  $\lambda$  un poids proportionnel à la sensation visuelle provoquée par cette dernière; ce poids est égal à zéro pour les longueurs d'onde qui se trouvent à l'extérieur de la bande visible du spectre.

La perception d'une couleur dépend de la longueur d'onde du rayon lumineux en question. Le spectre des couleurs perçues s'étend du violet au rouge dans le sens croissant des longueurs d'onde. Le jaune vert, correspondant à la longueur d'onde de 555 nm (1 nm = 1 milliardième de mètre), est la couleur la mieux perçue par l'œil humain (sensibilité spectrale maximale)

## ■ Le champ visuel

De par sa forme géométrique, l'œil possède aussi des limites sur le plan de la perception spatiale. Bien qu'il soit différent pour chaque individu (taille du nez et de l'arcade sourcilière), le **champ visuel** binocu-

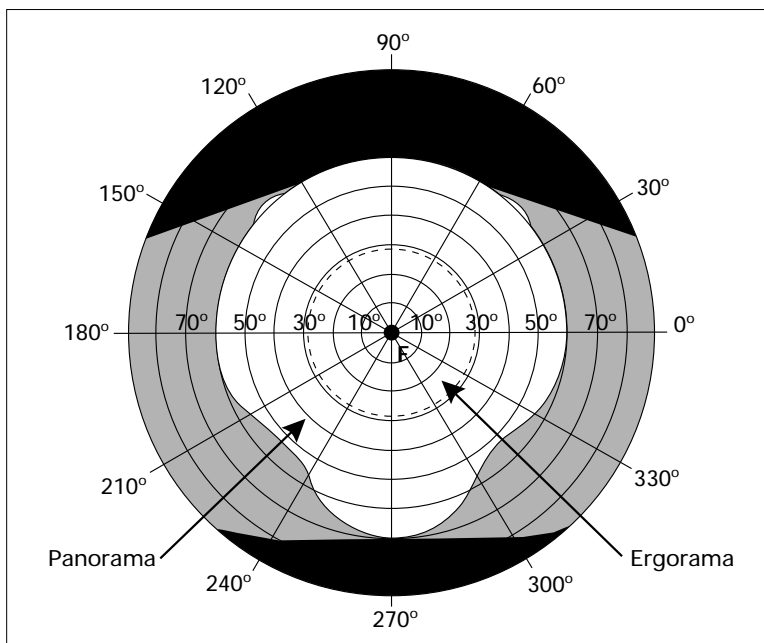


Figure 1.3: Champ visuel humain [1]; en blanc: champ vu simultanément par les deux yeux; en gris: champ vu par un seul œil; F: champ central (fovea).



laire correspond approximativement au domaine illustré à la figure 1.3: il est de  $2 \times 60^\circ$  sur les côtés, et de  $60^\circ$  et  $70^\circ$ , respectivement, vers le haut et vers le bas.

La capacité de l'œil à saisir une information visuelle dépend de sa position relative dans le champ visuel:

- les détails ne peuvent être perçus que dans le champs central (domaine de  $1^\circ$  d'ouverture centré sur l'axe de la vision);
- les formes peuvent être perçues dans l'ergorama (domaine de  $2 \times 30^\circ$  d'ouverture);
- seules les mouvements sont perceptibles dans le panorama (domaine de  $2 \times 60^\circ$  d'ouverture).

## ■ Les mécanismes de rétroaction de l'œil

L'œil possède des mécanismes de rétroaction qui lui permettent, autant que possible, d'assurer la saisie de l'information:

- le diamètre de la pupille varie en fonction de quantité de lumière (mécanisme d'adaptation);
- la forme du cristallin dépend de la distance de l'objet observé (mécanisme d'accommodation);

Ces mécanismes se dégradent avec l'âge du sujet et deviennent de moins en moins performants (hypermétropie, sensibilité grandissante à l'éblouissement).

# 1.2 PHOTOMÉTRIE

## ■ Principales grandeurs photométriques

La photométrie est la science qui a trait à la mesure de la lumière [1-3]. Elle ne s'intéresse qu'à la partie du rayonnement électromagnétique qui conduit à la sensation visuelle (partie visible du spectre). Les grandeurs photométriques les plus usitées sont:

- l'éclairement (mesuré en Lux);
- l'intensité lumineuse (mesurée en Candelas);
- la luminance (mesurée en  $\frac{\text{Candelas}}{\text{m}^2}$ ).

De ces trois grandeurs, seule la luminance peut être perçue par l'œil humain (l'éclairement peut être mesuré, mais n'est pas perceptible). Elle correspond à la sensation visuelle de luminosité, causée par la réflexion de la lumière sur une surface (façade d'un bâtiment éclairée par le soleil par ex.).

La luminance perçue ne dépend toutefois par uniquement de la quantité de lumière reçue par une surface. La couleur de cette dernière, dont dépend la quantité de lumière réfléchiée en direction de l'œil, joue aussi un rôle. A même éclairement, une surface de couleur claire se distingue d'une surface plus sombre par une luminance plus élevée.

La **luminance (L)** ne peut être illustrée par une représentation graphique simple, comme celles de la figure 1.4. Cette grandeur peut toutefois être utilisée pour caractériser les propriétés d'émission lumineuse de sources et de surfaces de dimensions finies (voûte céleste par ex.).

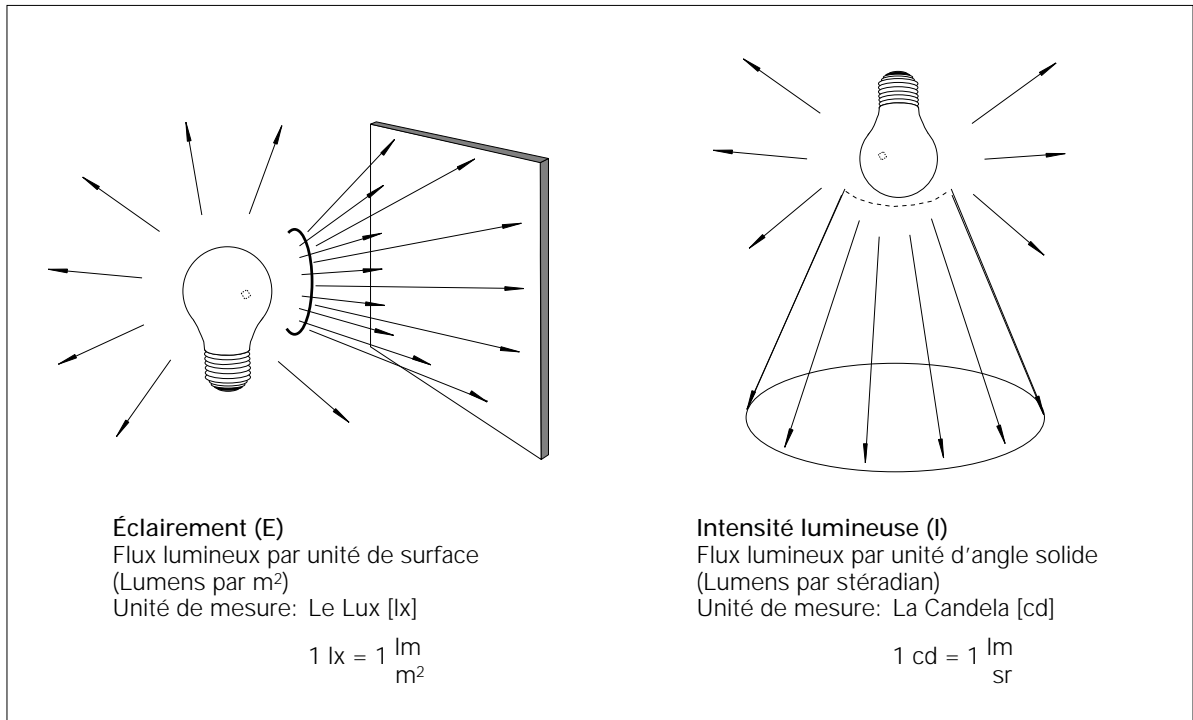


Figure 1.4: Définition de l'éclairement et de l'intensité lumineuse à partir du flux lumineux (mesuré en Lumens)

### ■ Réflexion de la lumière

La luminance d'une surface parfaitement mate, éclairée par un rayon lumineux (surface diffusante), est constante quelle que soit la direction d'observation (voir figure 1.5). A l'opposé de ce type de surfaces on trouve les surfaces parfaitement réfléchissantes (surfaces spé-

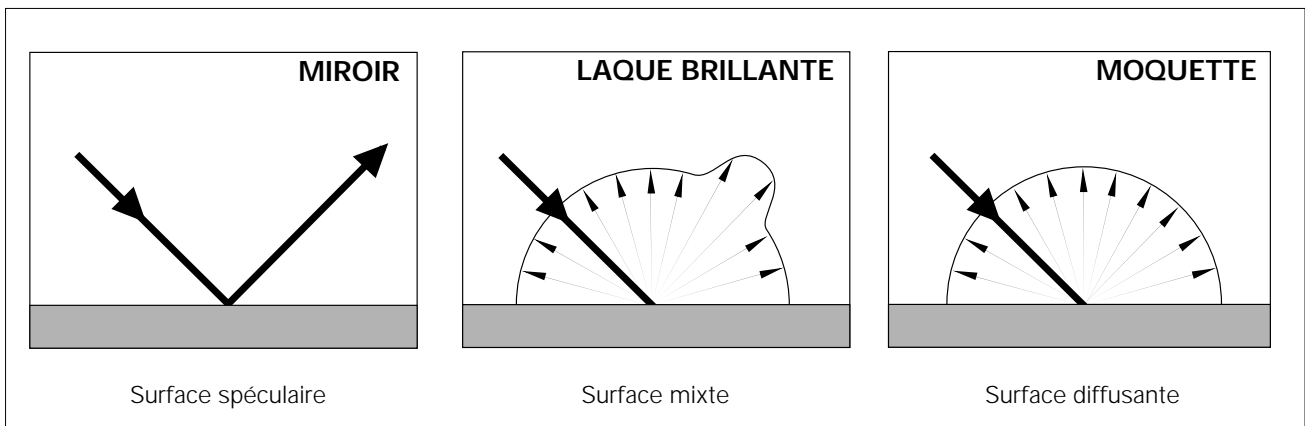


Figure 1.5: Principaux modes de réflexion de la lumière par une surface; variation de la luminance en fonction de la direction d'observation.

lares), qui ont pour principale propriété de réfléchir la lumière incidente dans une direction symétrique à celle du rayon incident. Dans la plupart des cas pratiques, on a généralement affaire à des surfaces mixtes dont les propriétés photométriques se situent entre ces deux extrêmes. Le **facteur de réflexion**, compris entre 0 et 1, caractérise le pouvoir de réflexion d'une surface (quotient de la quantité de lumière réfléchie par celle reçue). Sa valeur est de zéro pour une surface parfaitement noire; il est égal à un pour une surface blanche.



## ■ Transmission de la lumière

Des catégories semblables peuvent être établies pour les matériaux qui transmettent la lumière. On distingue les matériaux transparents, au travers desquels la lumière se propage régulièrement (analogie avec une surface spéculaire), des matériaux translucides caractérisés par une luminance constante quelle que soit la direction d'observation (analogie avec une surface diffusante).

Le **facteur de transmission** caractérise la faculté d'un matériau à transmettre la lumière. Ce facteur est compris entre 0 et 1 (quotient de la quantité de lumière transmise par celle reçue). On distingue volontairement le facteur de transmission régulière du facteur de transmission diffuse, de manière à différencier les deux modes de propagation de la lumière dans les matériaux (le facteur de transmission diffuse d'un verre parfaitement transparent est nul; le facteur de transmission régulière est égal à 0.88).

## 1.3 L'ŒIL ET LES SOLLICITATIONS LUMINEUSES

L'élaboration de projets d'éclairage a pour but de réaliser l'un des objectifs suivants:

- permettre l'exécution d'une tâche avec un maximum de chance de succès (performance visuelle);
- assurer le bien-être des usagers (confort visuel);
- susciter une émotion particulière (agrément visuel).

Le respect d'un certain nombre de règles permet d'atteindre plus efficacement ces objectifs; seul leur principe sera énoncé ici.

### ■ Performance visuelle

La performance visuelle, en rapport avec une certaine tâche, est influencée par un nombre important de paramètres. Parmi les principaux, on mentionnera:

- le niveau d'éclairage de la surface de travail;
- le contraste de luminance entre l'objet observé et son support;
- la dimension de l'objet en question;
- l'âge de la personne exécutant le travail;
- l'acuité visuelle propre de cette personne;
- le temps disponible pour l'exécution de la tâche.

L'influence du contraste de luminance sur la performance de la lecture est illustré par cette section. La partie gauche du texte est représentative de caractères de mauvaise qualité (ruban d'imprimante usé par ex.) conduisant à un faible rapport de luminance entre le texte (objet observé) et la page blanche (support). La performance de lecture s'en trouve réduite en conséquence.

L'importance de la taille des caractères peut être mise en évidence de la même manière. Ce caractère (corps 8) est inapproprié à un effort de lecture continu, celui-là est plus raisonnable (corps 10), alors que le plus approprié est celui-ci (corps 12).

L'éclairage de la tâche est l'un des rares paramètres maîtrisables par le concepteur du projet d'éclairage. Il fait l'objet de recommandations propres à chaque tâche, qui seront discutées dans le cadre des cours thématiques.

## ■ Confort visuel

La notion de confort est subjective; elle est donc difficile à définir. Celle d'inconfort est certainement plus facile à cerner; elle est liée à une sensation de gêne visuelle (éblouissement), provoquée par la présence d'un fort **contraste de luminances** dans le champ visuel. On distingue deux types d'éblouissement dans la pratique:

- l'éblouissement physiologique, qui se traduit par l'apparition d'un voile dans le champs de vision, et en conséquence, par l'impossibilité de distinguer (phares d'une automobile dans le visage par ex.);
- l'éblouissement psychologique, pour lequel la sensation de gêne, bien qu'éprouvante, n'altère pas totalement la vision (luminaires dans le champ visuel par ex.).

Dans la pratique, ce sont le plus souvent les ouvertures vitrées (soleil, voûte céleste) et des installations d'éclairage artificiel inappropriées (sources, luminaires) qui sont la cause de situations d'inconfort visuel. Des surfaces brillantes (surfaces spéculaires) sont parfois responsables des mêmes effets. La figure 1.6 illustre une situation d'éblouissement caractéristique dans le bâtiment. Par un équilibre des valeurs de luminance dans le champ visuel, il est possible de réduire le risque d'inconfort visuel. Des indicateurs d'éblouissement, basés sur des modèles mathématiques, permettent une évaluation quantitative de ce dernier (probabilité de confort visuel).



Figure 1.6: Situation d'inconfort visuel (éblouissement psychologique, voile de réflexion) provoquée par une ouverture inappropriée (fenêtre) et une surface de brillance excessive (tableau en verre).

## ■ Agrément visuel

L'agrément visuel est une notion apparemment subjective. Il dépend du sentiment et de l'émotion particulière que peut susciter un certain environnement visuel. Parmi les situations ressenties comme particulièrement agréables, on mentionnera:

- la présence de lumière naturelle (température et rendu des couleurs);
- la variation dans le temps de cette lumière (défilement du temps et des conditions météorologiques);



- la possibilité de disposer d'une vue dégagée et agréable (repos du regard);
- certains effets spéciaux liés à la nature et la disposition des sources d'éclairage artificiel;
- l'harmonie des couleurs des parois d'un local.

L'effet psychologique de ces divers éléments est incontestable; il n'en est pas de même de leur impact physiologique, qui est plus difficile à mettre en évidence.

## BIBLIOGRAPHIE

- [1] «IES Lighting Handbook, Application and Reference Volume», Illuminating Engineering Society of North America, New York, (1984).
- [2] D. Falk et al., «Seeing the Light: Optics in Nature, Photography, Color, Vision and Holography», J. Wiley, New York (1985).
- [3] «Handbuch für Beleuchtung», LiTG-SLG-LTAG, ecomed-Fachverlag, Landsberg (1992).



<b>2. L'ÉCLAIRAGE NATUREL</b>	<b>21</b>
■ 2.1 Considérations générales	21
■ 2.2 Problématique d'utilisation de la lumière naturelle	22
■ 2.3 Utilisation de la lumière directe	23
■ 2.4 Utilisation de la lumière diffuse	26
■ 2.5 Quelques systèmes d'ouverture	31





## 2. L'ÉCLAIRAGE NATUREL

### 2.1 CONSIDÉRATIONS GÉNÉRALES

La lumière naturelle est la source lumineuse de référence, qui est à l'origine de toute vie. Elle est indispensable aussi bien à la croissance et au développement harmonieux de l'enfant, qu'à l'équilibre psycho-physiologique de l'adulte.

La lumière naturelle est composée des longueurs d'ondes auxquelles le système visuel de l'homme est le plus sensible; ce sont celles qui sont émises en plus grande quantité par le soleil (voir figure 2.1). C'est la raison pour laquelle l'**efficacité lumineuse** de la lumière naturelle est nettement supérieure à celle des principales sources d'éclairage artificiel (voir figure 2.2). Elle est comprise entre 120 et 160 lm/W (Lumen par Watt), alors que celle d'une lampe à incandescence classique se situe entre 12 et 20 lm/W.

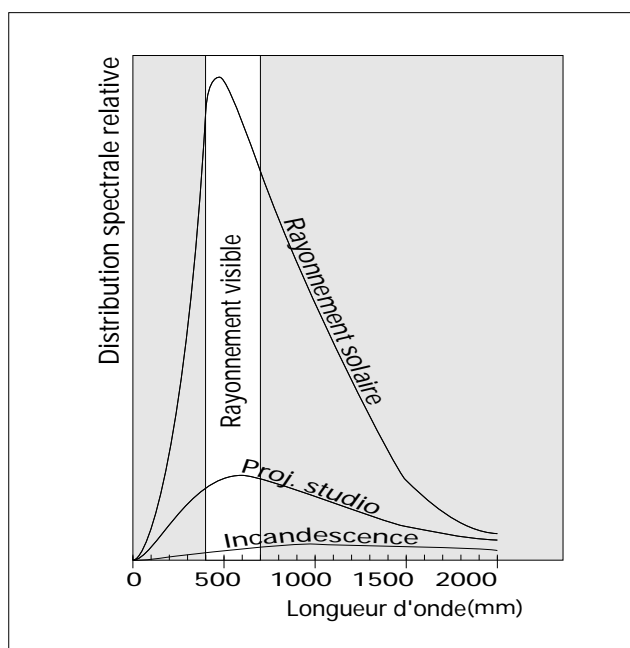


Figure 2.1: Sensibilité spectrale de l'œil humain et courbes d'émission caractéristiques de différentes sources lumineuses.

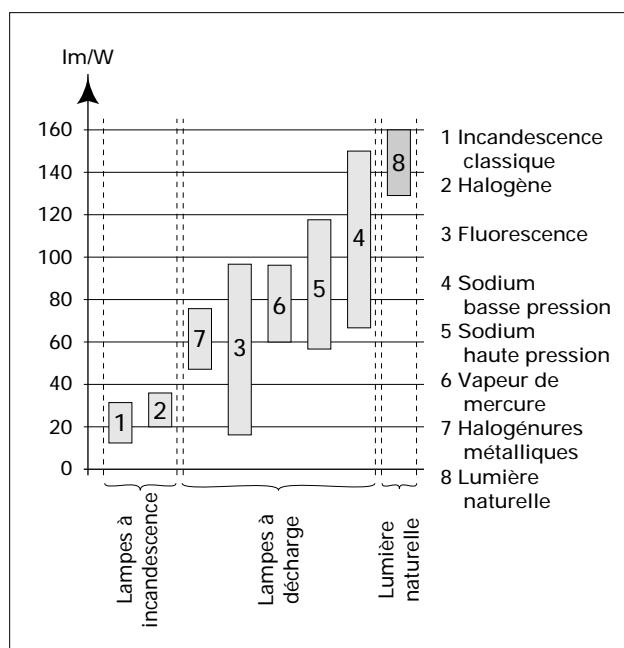


Figure 2.2: Efficacité lumineuse des principales sources d'éclairage artificiel (y c. appareils auxiliaires).

Appliquée à l'éclairage des bâtiments, la lumière naturelle permet donc à prestations d'éclairage équivalentes:

- De réduire la consommation d'énergie liée à l'utilisation de l'éclairage artificiel,
- De réduire la charge en ventilation et en climatisation des bâtiments,
- D'améliorer le bien-être et d'accroître la productivité des personnes.

Au delà de ces apports, la lumière naturelle permet en outre de mettre en valeur les qualités architecturales des bâtiments.

Le gisement de lumière naturelle se décompose en deux sources:

- Le soleil (lumière directe),
- Le ciel (lumière diffuse).



## 2.2 PROBLÉMATIQUE D'UTILISATION DE LA LUMIÈRE NATURELLE

Les problèmes posés par la maîtrise de l'ambiance lumineuse d'un local, éclairé par la lumière naturelle, se résument à transporter le flux lumineux extérieur disponible, à l'endroit désiré et au moment opportun.

Pour expliciter cette problématique, raisonnons par analogie avec un luminaire dont le design a marqué les années 80 (voir figure 2.3)

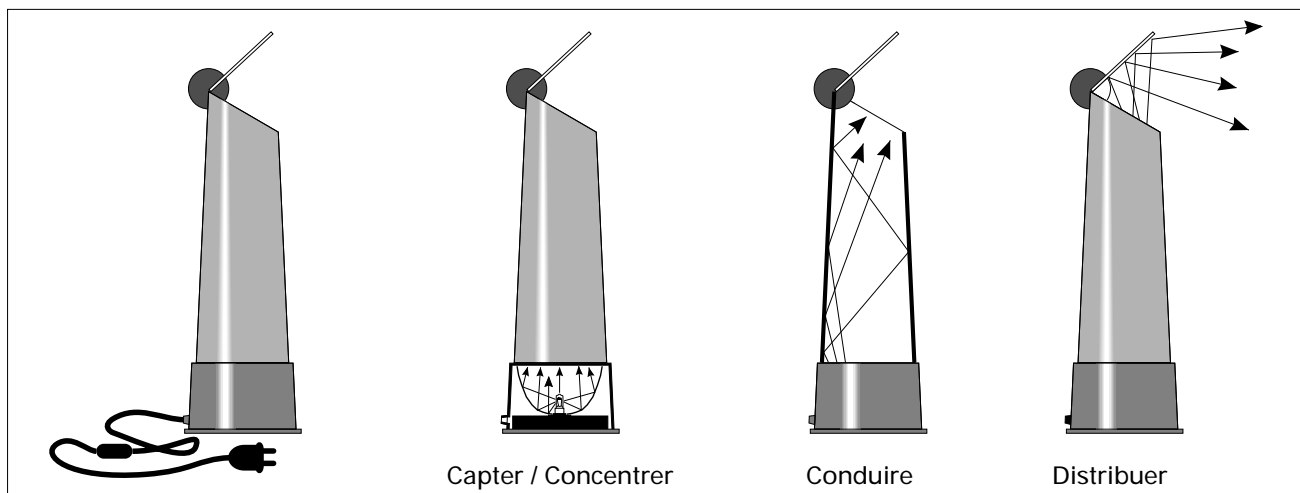


Figure 2.3: Analogie avec une lampe Design

### ■ Capter la lumière

Le système de captation de la lumière naturelle peut être comparé au réflecteur d'un luminaire. Celui-ci récolte et donne une direction privilégiée au flux lumineux provenant de la source.

En ce qui concerne l'éclairage naturel, la solution vers laquelle il faut tendre est celle qui consiste à augmenter la surface (S) de captation de la lumière, tout en réduisant dans la mesure du possible, la surface vitrée proprement dite (V) (voir figure 2.4). Plus le rapport S/V est élevé, plus l'efficacité du système d'ouverture est importante. Cela revient en fait, à augmenter la portion de ciel «vue» depuis le vitrage.

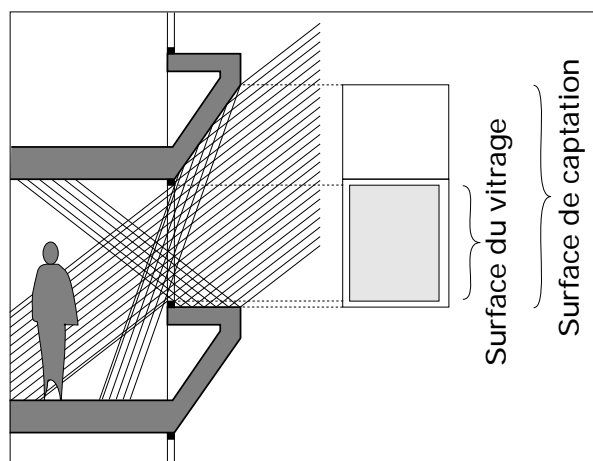


Figure 2.4: Augmenter la surface de captation, sans augmenter la taille du vitrage



## ■ Conduire la lumière

Le transport de la lumière est assuré, dans la lampe, par un cylindre dont la face intérieure est revêtue d'aluminium, afin de réduire les pertes lumineuses par absorption (voir figure 2.3).

En ce qui concerne la lumière naturelle, le problème revient, la plupart du temps, à acheminer celle-ci dans les parties des locaux les plus éloignées des ouvertures.

Il s'agit en particulier de limiter l'absorption des rayons lumineux par les parois, afin de favoriser la pénétration de la lumière en profondeur. Dans ce but, les parois qui reçoivent directement la lumière provenant de l'extérieur, seront traitées avec des matériaux clairs, ou même, lorsque cela est possible, avec des matériaux brillants.

## ■ Distribuer la lumière

Le système de distribution de la lampe de la figure 2.3, est constitué d'un réflecteur situé en partie haute.

En jouant sur la forme et la brillance de ce réflecteur, on peut moduler la direction du faisceau lumineux disponible, ainsi que ses caractéristiques de dispersion (faisceau intensif ou extensif). Celui-ci doit, en particulier, être réglé de façon à ne pas éblouir l'observateur. En jouant sur la coloration du réflecteur, on influera même directement sur la température de couleur de la lumière disponible.

En ce qui concerne la lumière naturelle, il s'agit de s'assurer que la lumière, disponible à l'intérieur des locaux, soit effectivement utilisable. A cette fin, il convient de contrôler les luminances dans le champ visuel de l'observateur afin d'éviter les problèmes d'éblouissement. Cela revient à assurer une distribution homogène des luminances au niveau de l'**ergorama** et du **panorama** des usagers. Il s'agit par exemple de limiter la brillance des matériaux situés à proximité immédiate de la tâche à observer, ou encore de mettre en œuvre des matériaux possédant des facteurs de réflexion voisins.

## 2.3 UTILISATION DE LA LUMIERE DIRECTE

On désigne par lumière directe, les rayons lumineux qui proviennent directement du soleil. Possédant une origine localisée précisément dans l'espace, ces rayons peuvent être captés directement et conduits à l'intérieur du bâtiment [1], [2], [3].

### ■ Soleil et Energie

Le soleil est une source caractérisée par un flux lumineux très important. Par temps clair, il délivre des niveaux d'éclairement de l'ordre de 100 000 Lux. Une grande part du rayonnement est émis dans l'infrarouge.

Le soleil est donc une source de chaleur, dont on peut tirer des bénéfices importants en hiver, mais de laquelle il convient aussi de se protéger en été, afin d'éviter les risques de surchauffe. L'intensité des rayons solaire est considérée comme négligeable lorsque la hauteur du soleil est inférieure à 10° au dessus de l'horizon.



Figure 2.5: Espace éclairé par la lumière directe

## ■ La «Géométrie» solaire

### La latitude

Le soleil est une source ponctuelle, dont la course dans le ciel, dépend de la latitude du lieu considéré. La latitude caractérise la position d'un point sur le globe terrestre, relativement à l'axe Nord / Sud. Elle est notée en degrés, et décroît en valeur absolue depuis les pôles ( $\pm 90^\circ$ ), jusqu'à l'équateur ( $0^\circ$ ). Plus on se rapproche de l'équateur, plus les variations saisonnières ont tendance à s'estomper, notamment en ce qui concerne les durées respectives du jour et de la nuit. A l'opposé, le déplacement vers les pôles, se traduit par des saisons de plus en plus marquées, avec des durées de jour importantes en été et réduites en hiver. La latitude «moyenne» de la Suisse est de  $46,5^\circ$  Nord.

### Les saisons

- Le solstice d'hiver (21 décembre):

C'est la journée la plus courte de l'année (durée du jour de 8 h 30 environ). La hauteur du soleil à midi (heure solaire) est de  $20^\circ$  au dessus de l'horizon (voir figure 2.6). Le soleil pénètre donc profondément dans les

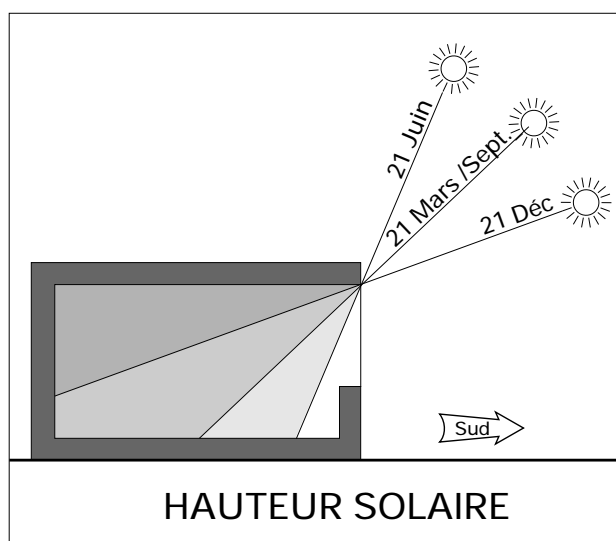


Figure 2.6: Variation de la hauteur solaire en fonction de la saison (latitude  $46,5^\circ$  Nord)



locaux par la façade Sud. Pendant la période hivernale, le soleil est généralement vécu comme un élément très positif et l'on tolère largement qu'il pénètre à l'intérieur des bâtiments.

- Les équinoxes (21 mars/21 septembre):

A ces dates, le jour et la nuit ont une durée égale (12 heures). Le soleil se lève exactement à l'Est à 6 h 00 du matin (heure solaire), et se couche exactement à l'Ouest à 18 h 00 (voir figure 2.7). La hauteur du soleil à midi est de  $43.5^\circ$  au dessus de l'horizon. On peut noter qu'aux Équinoxes, la variation de la course solaire est très rapide d'un jour à l'autre: la hauteur du soleil varie de  $2^\circ$  en cinq jours. On peut aussi remarquer que malgré des disponibilités solaires identiques, le 21 mars et le 21 septembre offrent des caractéristiques climatiques très différentes (écart de température moyenne égal à  $10^\circ$  environ en faveur de l'automne), en raison principalement de l'inertie thermique de la Terre.

- Le solstice d'été (21 juin):

C'est le jour le plus long de l'année (environ 15 h 30) et qui correspond à une hauteur solaire maximale ( $67^\circ$  à midi solaire). Du fait de sa position plus proche du nord au lever et au coucher, le soleil pénètre profondément dans les bâtiments par les façades Est et Ouest, en début et fin de journée (voir figure 2.7).

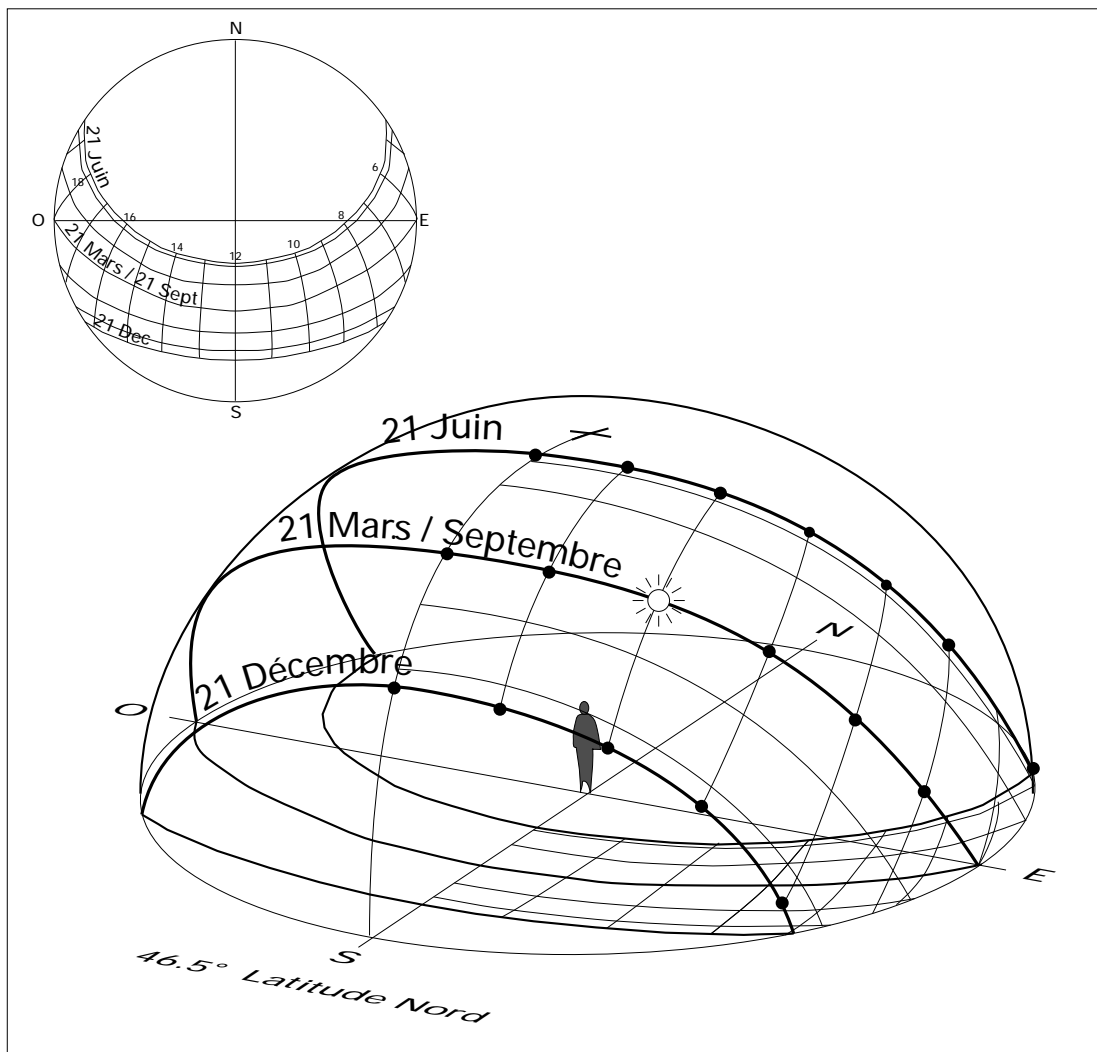


Figure 2.7: Course du soleil dans le ciel en fonction du mois et de l'heure considérés



Contrairement à ce que l'on pourrait penser, les pénétrations solaires au travers des ouvertures en façade Sud ne sont pas les plus importantes à cette saison, du fait de la hauteur du soleil dans le ciel (voir figure 2.6). En revanche, les pénétrations par les ouvertures zénithales sont maximales.

Pendant la période comprise entre le début du mois de Mai et la fin du mois de Septembre, il est préférable de proscrire les pénétrations solaires directes dans les bâtiments. Notons que pour toute cette période, le soleil se lève et se couche au delà de l'axe Est - Ouest (voir figure 2.7), ce qui signifie que l'ensoleillement des façades orientées au Nord, même s'il reste faible est possible en tout début de matinée et en fin de soirée (en site dégagé).

### Avantages et inconvénients de la lumière directe

Les caractéristiques de la lumière directe présentent un double tranchant. Selon les situations, ses avantages peuvent même être vécus comme des inconvénients

#### Avantages

- Son flux est considérable.
- Elle est directionnelle, ce qui permet de la capter et de la dévier au profit des zones éloignées des ouvertures.
- Elle apporte une dynamique intéressante.
- Elle fournit un apport thermique appréciable en hiver.

#### Inconvénients

- C'est une source d'éblouissement direct potentielle.
- Elle génère des ombres très marquées et provoque des contrastes de luminance élevés.
- Sa mobilité la rend difficile à maîtriser
- Elle n'est disponible qu'épisodiquement, et se fait notamment rare en hiver (sous nos latitudes).
- Elle peut entraîner des surchauffes importantes en période estivale.

## 2.4 UTILISATION DE LA LUMIERE DIFFUSE

On désigne par lumière diffuse l'ensemble des rayons lumineux qui ne proviennent pas directement du soleil (par opposition à la lumière directe). La voûte céleste est l'une des principales sources de lumière diffuse [1], [2], [3].

### ■ Le ciel

Les rayons solaires, en traversant les diverses couches de l'atmosphère, sont partiellement absorbés, mais surtout réfléchis et diffu-



sés en direction de la Terre. La voûte céleste constitue donc une source lumineuse distincte du soleil. La lumière disponible est non seulement diffuse, mais aussi multi-directionnelle. Les niveaux d'éclairage résultants sont moins élevés que ceux procurés par le soleil (de 5.000 à 20.000 Lux en moyenne contre 100.000 Lux pour le soleil).

## ■ Les différents types de ciel

De nombreuses équipes de recherches, de par le monde, tentent de dégager des règles générales concernant la répartition des luminances de la voûte céleste.

Pour des raisons de simplicité, on ne retiendra ici que trois types de ciel, tout trois étant des modèles théoriques servant de référence pour les études d'éclairage.

### Caractéristiques de la lumière provenant du ciel

Cette lumière diffuse présente les caractéristiques suivantes:

#### Avantages

- Elle est disponible quelle que soit la couverture nuageuse.
- Elle ne génère pas ou peu d'ombres portées (lumière non directionnelle).
- Elle ne provoque pas ou peu d'éblouissement.
- Elle ne donne pas lieu à des phénomènes de surchauffe.

#### Inconvénients

- Elle est difficilement exploitable dès que l'on s'éloigne des ouvertures.
- Elle se révèle parfois insuffisante en hiver.



Figure 2.8: Espace éclairé par la lumière diffuse

## ■ Le ciel couvert uniforme

Chaque point de la voûte céleste est caractérisé par la même luminance. Dans la pratique, cela correspond à des conditions de brouillard dense.

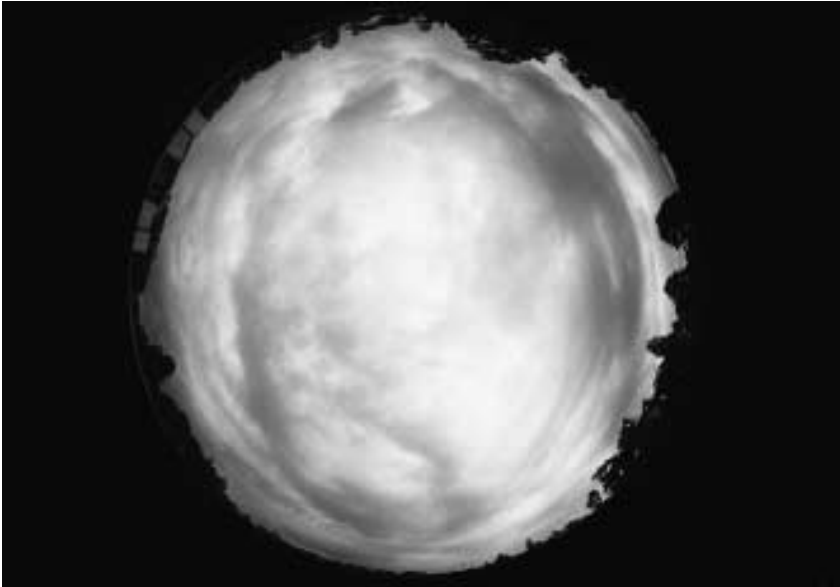


Figure 2.9: Photographie «Œil de poisson» d'un ciel couvert

## ■ Le ciel couvert CIE

Ce modèle stipule que la luminance du zénith est trois fois supérieure à celle de l'horizon. Dans la pratique, cela correspond à un ciel encombré de nuages élevés (stratus). L'emploi de ce modèle tend à surévaluer les performances des ouvertures zénithales, au détriment des ouvertures en façade. Il convient donc de l'utiliser avec précaution.

## ■ Le ciel serein CIE

Il s'agit encore d'un modèle théorique, qui donne, par temps clair, la répartition des luminances du ciel en fonction de la position du soleil. On retiendra pour simplifier, que les zones de forte luminance se situent d'une part à proximité immédiate du soleil, et d'autre part, sur le pourtour de l'horizon. Les luminances les plus faibles se rencontrent quant à elles, dans un secteur faisant un angle de 90 degrés par rapport au soleil (voir figure 2.10).

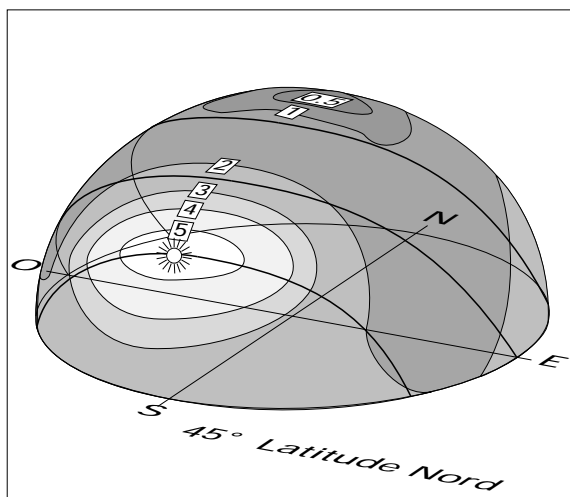


Figure 2.10: Répartition des luminances de la voûte céleste, pour un ciel serein CIE (21 Décembre, midi solaire).





## ■ Notion de facteur de lumière du jour

Étant donnée la difficulté de caractériser les performances d'un local, vis à vis de la lumière solaire directe (variation continue de la position du soleil et des pénétrations solaires), on préfère définir les performances de ce local par ciel couvert.

Pour cela, on utilise un ratio mettant en évidence le rapport entre la lumière disponible à l'extérieur et les niveaux observés à l'intérieur de ce local. Ce ratio est appelé **facteur de lumière du jour (D)**; il est exprimée en % (voir figure 2.11).

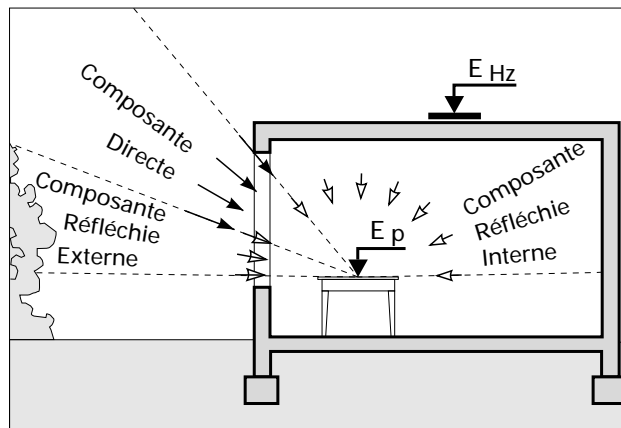


Figure 2.11: Facteur de lumière du jour:  $D = E_p / E_{Hz}$  (%) avec  $E_p$ : éclairement sur le plan de travail, et  $E_{Hz}$ : éclairement horizontal extérieur.

La figure 2.12 [4], établit une correspondance entre le niveau de facteur de lumière du jour et la sensation de clarté ressentie dans un local.

On constate que la fraction de lumière naturelle réellement disponible à l'intérieur des locaux, est relativement faible (de l'ordre de quelques pourcent). En fait, l'importance du gisement extérieur est telle que la sensation de clarté est ressentie dès que le facteur de lumière du jour atteint 4%.

## ■ Couverture des besoins

Il est possible d'établir une correspondance entre le niveau de facteur de lumière du jour observé dans un local et la couverture annuelle des besoins lumineux de ce dernier par la lumière naturelle. Il va de soit que les besoins lumineux sont différents pour chaque type d'activité, tant du point de vue quantitatif que qualitatif.

FLJ	moins de 1%	de 1 à 2%	de 2 à 4 %	de 4 à 7%	de 7 à 12%	plus de 12 %
	Très Faible	Faible	Modéré	Moyen	Elevé	Très Elevé
Zone considérée	zone éloignée des fenêtres (distance env. 3 à 4 fois la hauteur de la fenêtre)			à proximité des fenêtres ou sous des lanternes		
Impression de clarté	Sombre à peu éclairé		Peu éclairé à clair		Clair à très clair	
Impression visuelle du local	Cette zone ----- semble être séparée -----			----- de cette zone		
Ambiance	Le local semble être refermé sur lui-même			Le local s'ouvre vers l'extérieur		

Figure 2.12: Impression visuelle ressentie en fonction du niveau de facteur de lumière du jour [4].



L'abaque représenté à la figure 2.13 [5], permet de déterminer la fraction de temps durant laquelle l'éclairage extérieur suffit à couvrir les besoins intérieurs, dans la tranche horaire correspondant à l'utilisation des locaux. On remarque ainsi qu'un facteur de lumière du jour de 5% permet de s'affranchir de l'éclairage artificiel pendant 50% du temps de travail, si l'éclairage requis sur le plan de travail est de 500 Lux (voir figure 2.13).

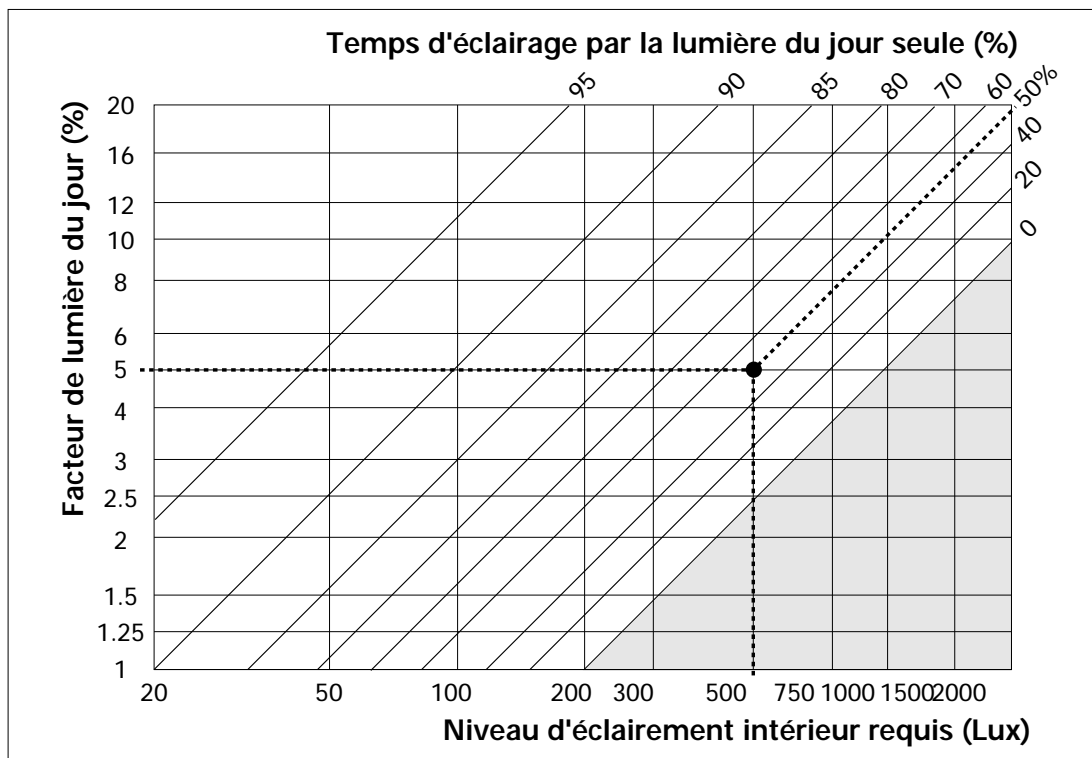


Figure 2.13 Couverture des besoins par la lumière naturelle seule, en fonction du niveau d'éclairage intérieur requis et du facteur de lumière du jour observé. Période comprise entre 7 h 00 et 17 h 00 en hiver, 8 h 00 et 18 h 00 en été (heures solaires), ciel couvert [5].

Cet abaque ne tient compte toutefois que des disponibilités par ciel couvert. Il est donc pessimiste, dans la mesure où il élimine la contribution de la voûte céleste par temps ensoleillé. La couverture des besoins ainsi déterminée s'applique donc surtout dans le cas d'ouvertures orientées au nord.

La figure 2.14 [6], montre que la couverture nuageuse est relativement importante sur le Plateau, puisqu'elle est supérieure à 7.5 dixièmes, pendant plus de 45% de l'année. Dans le même temps, les ciels dégagés (moins de 2.5 dixièmes de couverture) ont une occurrence qui varie entre 15 et 20% de la portion annuelle.

Pour ce type de climat, on dimensionnera les ouvertures de façon à favoriser la pénétration de lumière diffuse. On sait en effet que pendant l'hiver, les jours ensoleillés seront rares, et que l'on ne pourra compter que sur la lumière provenant de la voûte céleste.

On note une différence notable pour les villes de Sion et de Lugano, pour lesquelles l'occurrence des ciels dégagés (moins de 2.5 dixièmes) est supérieure ou égale à 30%. Elle est par ailleurs égale à l'occurrence des ciels fortement couverts (7.5 dixièmes). Pour ces régions, on insistera sur la gestion de la lumière directe, de façon à en tirer profit pendant l'hiver, tout en minimisant les risques de surchauffe estivale (nécessité des protections solaires).

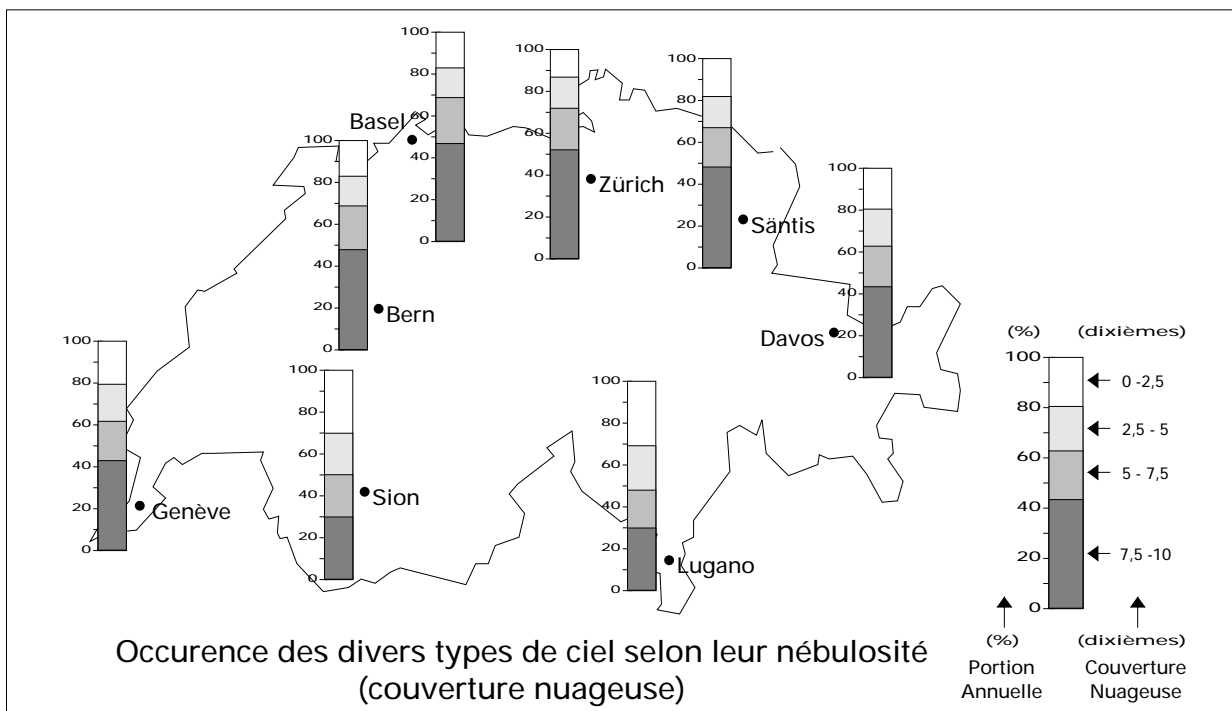


Figure 2.14: Occurrence des divers types de ciel selon leur nébulosité (couverture nuageuse) [6].

## 2.5 QUELQUES SYSTEMES D'OUVERTURES

### ■ Ouvertures latérales vs. ouvertures zénithales

Chacun de ces deux types d'ouvertures se comporte de façon contradictoire selon que l'on parle de lumière directe ou de lumière diffuse.

#### Lumière directe (soleil)

Les figures 2.15 et 2.16 montrent que les ouvertures zénithales et les ouvertures en façade ont un comportement radicalement divergent, en ce qui concerne la sélection saisonnière des pénétrations solaires.

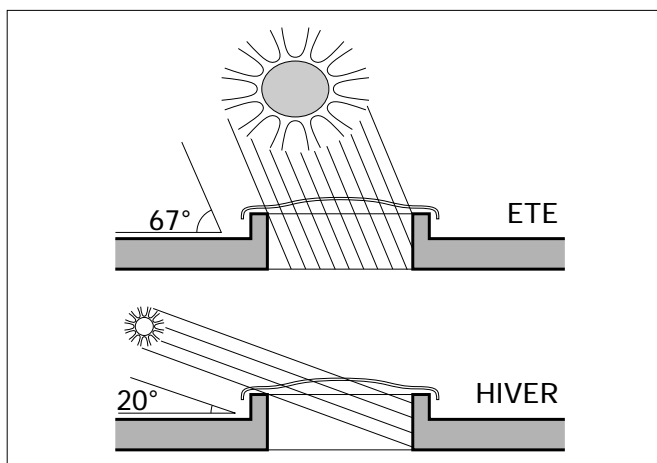


Figure 2.15: Comportement saisonnier des ouvertures zénithales vis-à-vis des pénétrations solaires.

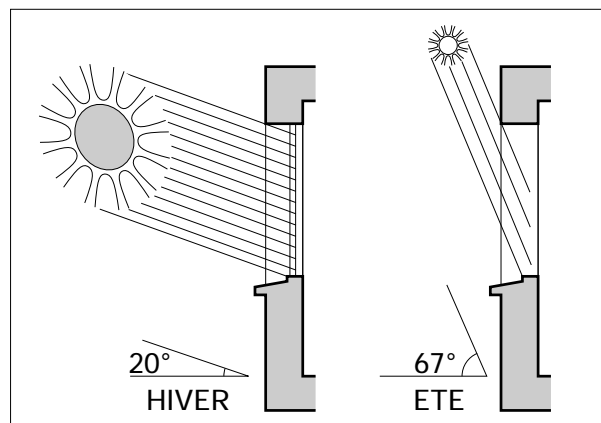


Figure 2.16: Comportement saisonnier des ouvertures en façade vis-à-vis des pénétrations solaires.

- Ouvertures zénithales:

Elles captent mal les rayons solaires hivernaux, alors qu'elles laissent largement pénétrer le soleil d'été. Ceci se traduit par des dysfonctionnements thermiques importants tout au long de l'année (chute d'air froid sous les ouvertures en hiver et surchauffes importantes en été).

- Ouvertures en façade sud:

Elles profitent, quant à elles, au maximum des apports solaires hivernaux, tout en étant "naturellement" protégées contre les pénétrations solaires estivales. Leur comportement naturel va donc dans le sens d'une bonne gestion saisonnière de la lumière solaire directe.

### Lumière diffuse (ciel)

Par ciel couvert, les "performances" sont avant tout liées à la portion de ciel "visible" depuis l'ouverture. La figure 2.17 illustre les performances, par ciel couvert, de quelques uns des systèmes d'ouverture les plus répandus.

- Ouvertures zénithales:

Lorsqu'il s'agit d'ouvertures horizontales, elles "voient" la voûte céleste dans sa totalité: elles sont donc très efficaces par ciel couvert. De plus, la lumière pénètre dans les locaux depuis le haut, ce qui limite à priori les phénomènes d'éblouissement (la majorité des activités se pratiquent avec un axe de vision horizontal).

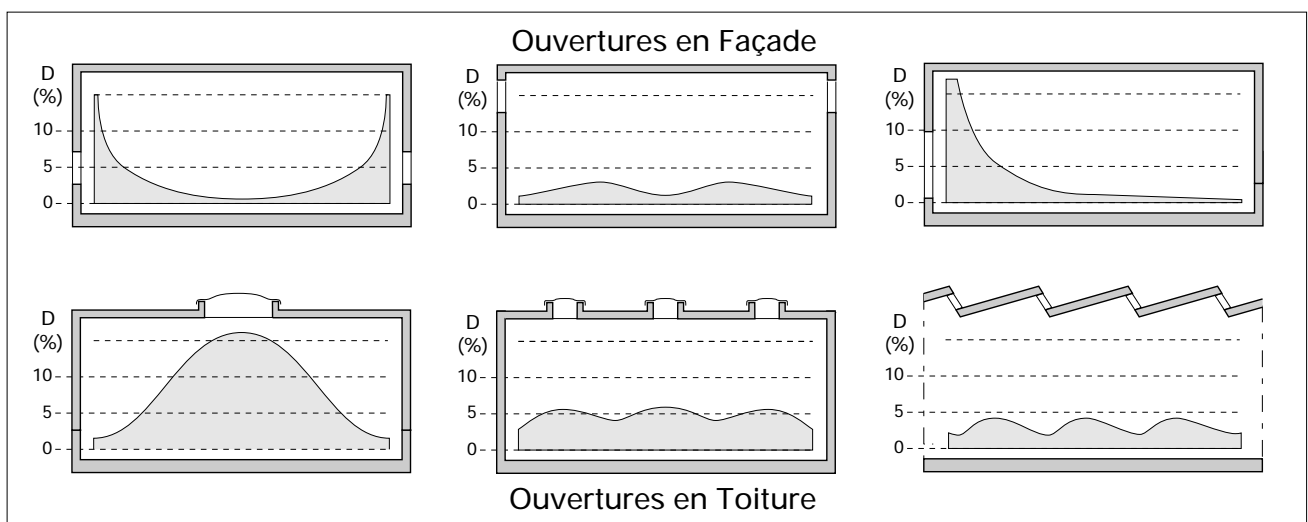


Figure 2.17: Performances comparées de différents systèmes d'ouvertures courants



- Ouvertures en façade:

Lorsqu'il s'agit d'ouvertures verticales, elles ne voient, au mieux, que la moitié du ciel. Elles ont en conséquence des performances lumineuses deux fois plus faibles que les ouvertures zénithales horizontales. De plus la lumière pénètre latéralement dans les locaux, ce qui peut créer des situations de contre-jour ou d'éblouissement à proximité des ouvertures.

## ■ Protections solaires

La contradiction existant entre les performances affichées par temps ensoleillé et celles observées par ciel couvert, nécessite l'emploi d'éléments "correcteurs" que l'on désignera par le nom de protection solaire.

Passons en revue les "risques" associés à la lumière naturelle et pouvant être pris en charge par ces éléments de protection solaire.

### Risques d'éblouissement

Ceux-ci sont surtout à craindre lorsque le soleil est bas sur l'horizon, c'est-à-dire en hiver, ou en début et fin de journée. Les risques d'éblouissement proviennent de l'écart excessif entre les valeurs de luminance présentes dans le champ visuel. La notion de gêne due à l'éblouissement est toutefois conditionnée par la nature de l'activité pratiquée et le type d'espace concerné.

### Risques de surchauffe

Ceux-ci sont surtout à craindre en période estivale, dès que le rayonnement solaire parvient à franchir le vitrage (effet de serre: le rayonnement infrarouge est piégé par le vitrage et le local s'échauffe). Face à ces risques, quels sont les différents types de protection solaire pouvant être utilisés?

### Protection externe ou interne

En ce qui concerne les risques d'éblouissement, la position de la protection par rapport au vitrage importe peu. Il suffit que l'écran soit positionné entre l'œil et la source lumineuse. En revanche, les phénomènes de surchauffe impliquent de placer impérativement la protection solaire à l'extérieur du vitrage, afin de stopper le flux énergétique solaire avant qu'il ne pénètre dans le local considéré.

### Les différents types d'écrans solaires

- Écran opaque:

S'il est constitué d'un matériau opaque, l'écran peut alors soit rejeter purement et simplement la lumière vers l'extérieur, soit dévier les rayons solaires pour les renvoyer par exemple en direction du plafond, afin de favoriser les niveaux d'éclairément en fond de pièce (voir figure 2.18).

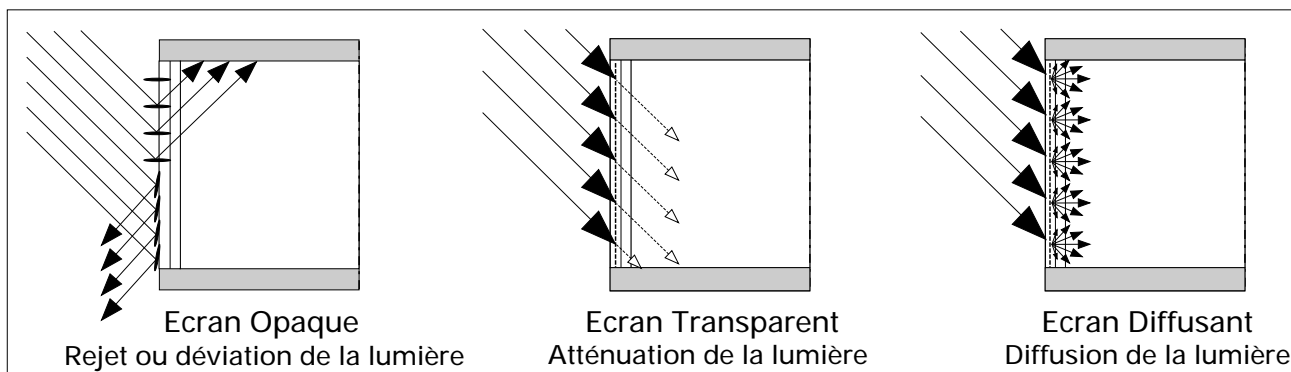


Figure 2.18: Effets des différents types d'écrans solaires



- Écran translucide:

Ce type d'écran se comporte lui même comme une source lumineuse diffuse, présentant une luminance constante sur toute sa surface (toiles doublées ou enduites par exemple). La lumière n'est pas rejetée, mais utilisée au profit de l'éclairage intérieur (voir figure 2.18).

- Écran transparent:

Cet écran peut aussi se présenter sous la forme d'un élément atténuateur transparent (verre ou matériau plastique teinté, store tissé, tôle perforée) Le maintien de la transparence est un élément favorable du point de vue psychologique (voir figure 2.18).

Le degré d'atténuation de ce type d'écran doit cependant être suffisamment important pour permettre la présence de lumière directe dans le champ visuel, ce qui suppose un facteur de transmission inférieur à 10%.

## ■ Protection fixe

### Façade Sud (Protection horizontale)

Dans le cas d'une façade orientée au Sud, la protection solaire fixe peut être réalisée à partir d'éléments filant horizontalement devant les vitrages. Le degré de protection offert dépend de l'importance du débord de ces éléments par rapport au plan du vitrage.

### Calcul du débord

- On commence par fixer une date limite, à partir de laquelle on ne tolère plus aucune pénétration solaire à l'intérieur du local considéré (par exemple, le 21 avril).
- On calcule alors la hauteur solaire correspondant à cette date (54° pour Genève).
- On reporte cet angle sur une coupe du local, de façon à aligner le bas du vitrage, avec le bord extrême de la protection solaire. (voir figure 2.19).
- Si la façade est orientée «plein Sud» (avec une tolérance de  $\pm 15^\circ$ ), on est alors certain que les rayons solaires ne pourront pas pénétrer dans le local au delà du 21 avril.

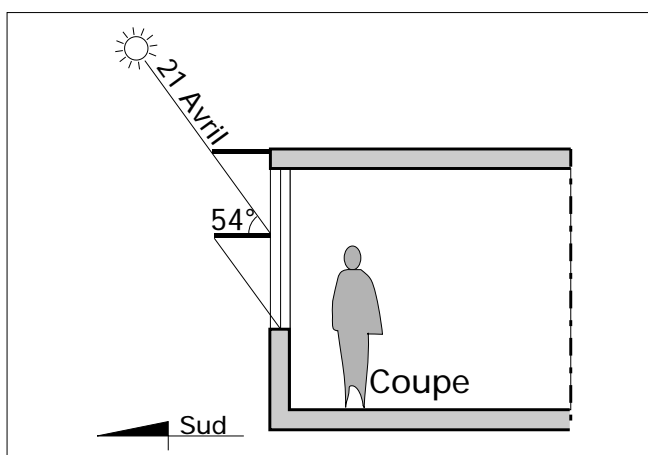


Figure 2.19: Protection fixe en façade Sud



### Façade Est / Ouest (Protection verticale)

Dans le cas de façades orientées à l'Est ou à l'Ouest, une protection horizontale fixe n'est pas envisageable, dans la mesure où le soleil est bas sur l'horizon lorsqu'il atteint les vitrages. Il est alors plus facile de stopper les rayons à l'aide d'éléments verticaux (voir figure 2.21).



Figure 2.20: Élément de protection solaire fixe en façade sud (prise de vue hivernale: le rayonnement solaire n'est pas bloqué)

Pour les façades Est, la protection est surtout utile pour éviter les éblouissements, tandis que pour les façades Ouest, il s'agit avant tout de se protéger contre la chaleur (rayons solaires de fin de journée).

En règle générale, chaque fois que l'on met en œuvre une protection solaire, on pénalise les apports de lumière diffuse. Dans le cas des façades Est et Ouest, il est donc préférable de prévoir une protection mobile, afin de ne pas pénaliser inutilement les apports de lumière diffuse (le matin à l'ouest et le soir à l'est).

### ■ Protection mobile

Quelque soit l'orientation de la façade, il est illusoire de vouloir se protéger totalement des pénétrations directes à l'aide d'un système fixe. Il est donc nécessaire dans la plupart des cas, de combiner cette protection fixe avec un écran atténuateur mobile.

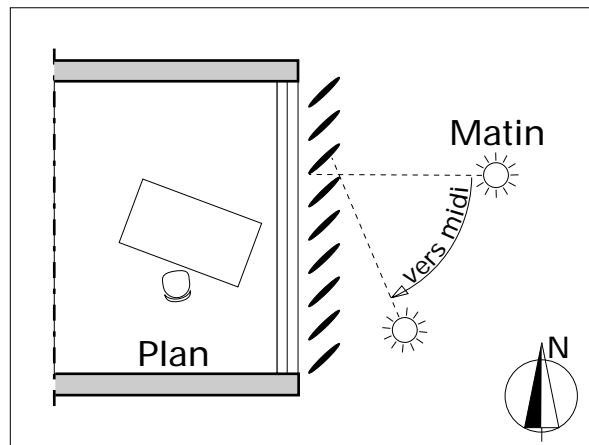


Figure 2.21: Protection fixe sur les façade est et ouest

## Propriétés des protections solaire mobiles

Une protection mobile lorsqu'elle est située à l'extérieur, présente les caractéristiques suivantes:

- Bonne adaptation aux diverses situations (degré d'occupation adapté aux conditions extérieures)
- Élimination des surchauffes (les rayons solaires ne franchissent pas le vitrage).
- Élimination des éblouissement,
- Déviation éventuelle des rayons lumineux (stores à lame).

### Précautions

- Dans le cas de système non-automatisés, les opérations de manipulations doivent rester le plus simples possible, de façon à ce que tous les utilisateurs puissent moduler quotidiennement leur ambiance lumineuse.

A cette fin, des éléments d'information concernant une gestion optimale de la lumière naturelle doivent être fournis aux utilisateurs.

- Dans le cas de systèmes automatisés, il est important de laisser à l'utilisateur la possibilité de « reprendre la main », afin de garantir une flexibilité des activités.

## ■ Liaisons avec l'éclairage artificiel

### Température de couleur

La lumière naturelle possède une **température de couleur** élevée (> 6000 K) ce qui lui donne une couleur "froide". Notre œil est particulièrement sensible à cette caractéristique lorsque le ciel est couvert et que les niveaux d'éclairement sont faibles.

Par comparaison, la lumière artificielle (en particulier celle fournie par les lampes à incandescence) apparaît comme étant jaune ou rose (température de couleur plus faible, d'où une couleur "chaude"). Le mélange des deux types de lumière tend à accentuer la perception de cette différence, ce qui n'est pas toujours souhaitable.





### Zones d'éclairage

La lumière naturelle, en pénétrant dans les bâtiments, "découpe" l'espace en créant une hiérarchie lumineuse entre les zones les mieux éclairées et les zones les plus sombres. Dans la mesure du possible, on veillera à ce que l'installation d'éclairage artificiel reprenne ce découpage.



Figure 2.22: Élément de protection solaire fixe en façade sud (prise de vue hivernale: le rayonnement solaire n'est pas bloqué)

L'idée est de pouvoir commander l'enclenchement et le déclenchement des lampes en tenant compte de la présence de lumière naturelle. Pendant la journée, ceci permettra de solliciter l'éclairage artificiel au profit des parties les plus sombres, sans intervenir dans les zones bénéficiant suffisamment de lumière. Cette mesure va dans le sens d'une utilisation rationnelle de l'électricité.

## BIBLIOGRAPHIE

- [1] «Le Soleil, Chaleur et Lumière dans le bâtiment»: EPFL-ITB/LESO-PB, SIA D 056, Mars 1990.
- [2] «Sunlighting as Fromgiver in Architecture» William M. C. Lam, VNR New-York, 1986.
- [3] «Concepts and Practice of Architectural Daylighting»: Fuller More, VNR, New-York, 1985.
- [4] Commission Internationale de l'Eclairage (CIE), Doc 040.
- [5] «Innenraumbeleuchtung mit Tageslicht», Association Suisse des Electriciens, Norme Suisse SEV 8911, 1989.



<b>3. L'ÉCLAIRAGE ARTIFICIEL</b>	<b>41</b>
■ 3.1 Caractéristiques des différentes sources lumineuses	41
■ 3.2 Caractéristiques des différents types de luminaires	49
■ 3.3 Systèmes de commande des luminaires	52
■ 3.4 Etapes du projet d'éclairage artificiel	54





## 3. L'ÉCLAIRAGE ARTIFICIEL

### 3.1 CARACTÉRISTIQUES DES DIFFÉRENTES SOURCES LUMINEUSES

On peut regrouper les différentes sources de lumière artificielle en trois grands groupes [1, 2]:

- les lampes à incandescence
- les lampes à décharge
- les lampes à induction

#### ■ La lampe à incandescence

La lampe à incandescence est une source, dans laquelle l'émission de lumière est produite au moyen d'un corps (filament), porté à incandescence par le passage d'un courant électrique (voir figure 3.1).

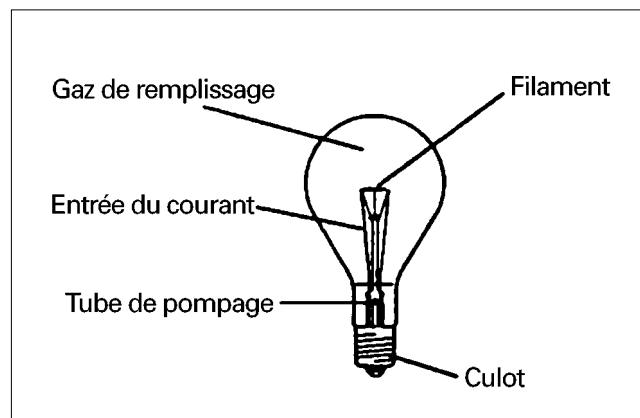


Figure 3.1: Représentation schématique d'une lampe à incandescence.

Une lampe à incandescence peut posséder une ampoule:

- claire, si elle est transparente et non colorée;
- dépolie, si elle est rendue diffusante par la rugosité de sa paroi;
- opale, si la matière qui la constitue diffuse la lumière dans son épaisseur,
- opalisée, si elle est revêtue intérieurement d'une couche mince diffusante.

Parmi les principales catégories de lampes à incandescence, on trouve:

- les lampes à atmosphère gazeuse, dont le corps lumineux est placé dans une ampoule remplie d'un gaz inerte;
- les lampes à halogènes munies d'un filament de tungstène, dont l'atmosphère gazeuse contient une certaine proportion d'halogènes ou de composés halogénés;
- les lampes à usage particulier, comme les lampes pour véhicules automobiles, les lampes pour balises de pistes d'aéroports ou celles pour l'éclairage des scènes de théâtre.

La durée de vie moyenne d'une lampe à incandescence est de 1000 à 2000 heures; son efficacité lumineuse est comprise entre 10 et 20 lm/W.

## Observation utile

Les lampes halogènes appartiennent à la famille des lampes à incandescence (filament chauffé), alors que les lampes aux halogénures métalliques sont des lampes à décharge. Les premières sont à allumage instantané et peuvent être réglées au moyen d'un variateur; les secondes nécessitent 2 à 5 minutes avant d'atteindre le maximum de leur flux lumineux et ne peuvent être réglées au moyen d'un variateur. Les lampes à décharge produisent beaucoup moins de chaleur pour la même quantité de lumière; leur durée de vie est deux à trois fois supérieure à celle des halogènes. En outre, elles ne peuvent être rallumées immédiatement après leur extinction: elles nécessitent un temps de refroidissement de quelques minutes. Cependant, pour certaines d'entre elles, un rallumage immédiat est possible en utilisant des dispositifs d'amorçage appropriés. Pour les halogènes, il existe des lampes fonctionnant sur la tension du réseau 230 V, diverses formes avec des culots E27, B15d et R7s, ainsi que des lampes à basse tension, avec des culots à broches, nécessitant un transformateur.

## ■ La lampe à décharge

La lampe à décharge est caractérisée par le fait que la lumière y est produite par une décharge électrique dans un gaz, une vapeur métallique ou un mélange de plusieurs gaz et vapeurs. (voir figure 3.2).

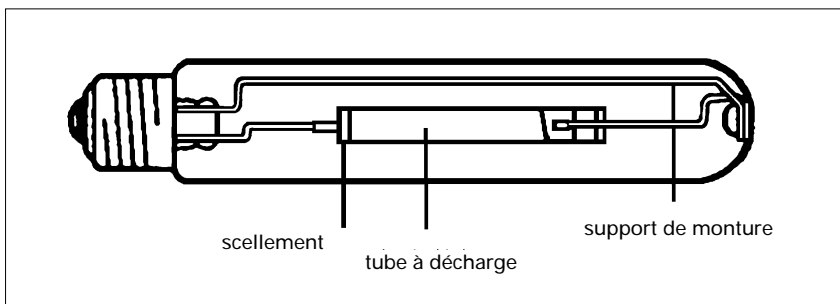


Figure 3.2: Représentation schématique d'une lampe à décharge

Parmi les principales catégories de lampes à décharge, on trouve les sources suivantes:

- tubes ou ballons fluorescents
- lampes fluorescentes compactes
- lampes à vapeur de mercure haute pression
- lampes à vapeur de sodium basse pression
- lampes à vapeur de sodium haute pression
- lampes aux halogénures métalliques
- lampes à lumière mixte
- lampes à arc

Une grande évolution se remarque dans le domaine des lampes à décharge, et plus particulièrement des lampes fluorescentes compactes, dont la taille diminue et la quantité de lumière émise augmente. D'autre part, le développement d'appareils d'alimentation à haute fréquence, entièrement électroniques, leur assure aujourd'hui un allumage immédiat, sans papillotement et un fonctionnement exempt de scintillement.



La durée de vie moyenne d'une lampe à décharge est de 6000 à 8000 heures; son efficacité lumineuse varie entre 60 et 180 lm/W.

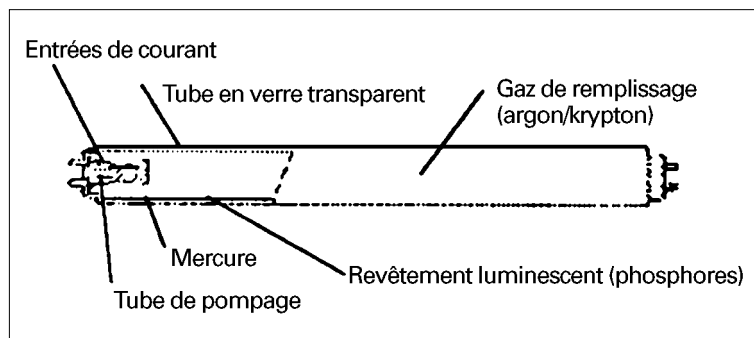
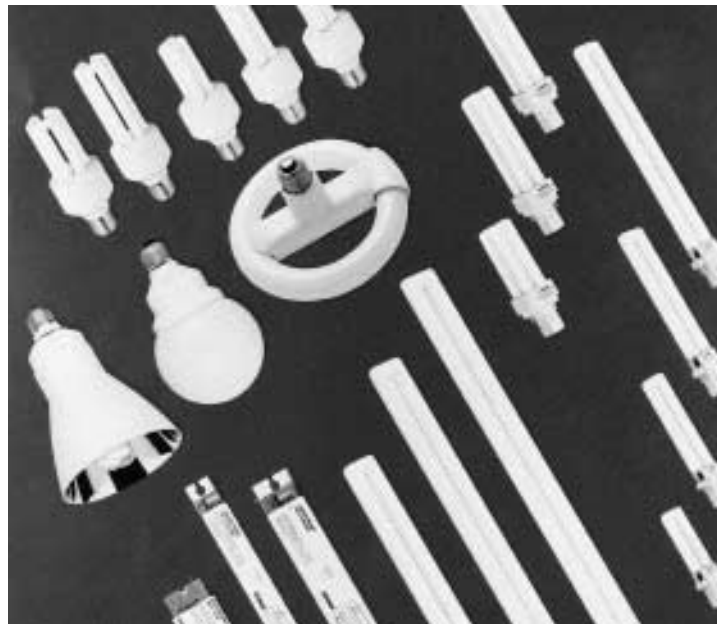


Figure 3.3: Représentation schématique d'un tube fluorescent (bas) et échantillon de sources à faible consommation d'énergie de type compact (haut).

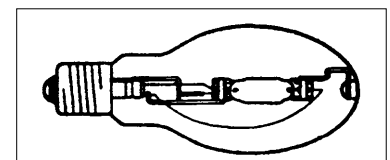


Figure 3.4: Représentation schématique d'une lampe à vapeurs métalliques (droite) et échantillon de sources à faible consommation d'énergie de type halogénures métalliques (gauche).

## ■ La lampe à induction

Il n'existe actuellement qu'une seule lampe à induction (lampe QL de Philips). Produire la lumière par induction, c'est utiliser deux principes connus:

- l'induction électromagnétique;
- la décharge électrique dans un gaz.

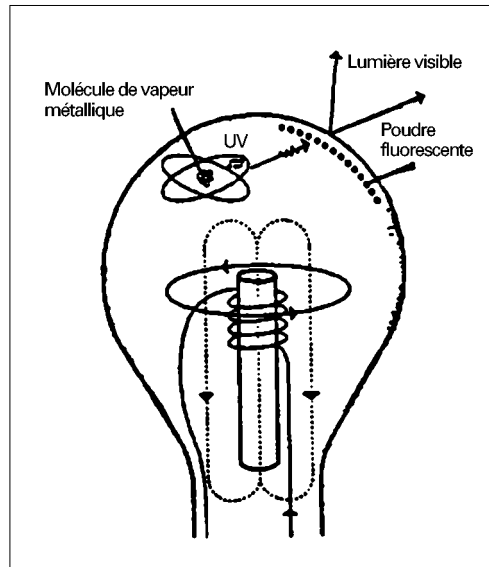


Figure 3.5: Représentation schématique d'une lampe à induction

L'induction électromagnétique se produit lorsqu'un courant électrique passe dans une bobine. Dans les lampes à décharge, un courant électrique provoque un effet d'ionisation d'électrons dans le gaz de remplissage. Ceci produit, dans les lampes fluorescentes par exemple, un rayonnement ultraviolet, qui est transformé en lumière visible par le revêtement fluorescent à l'intérieur de la lampe. La combinaison de ces deux effets est utilisée dans la nouvelle technologie du système d'éclairage par induction (voir figure 3.5).

Une lampe à induction comprend un appareil électronique générateur de haute fréquence, un coupleur de puissance et une ampoule à décharge basse pression, qui comme caractéristique importante du système, n'a ni électrode, ni filament. Il en résulte une durée de vie de 60 000 heures. L'**indice de rendu des couleurs** est supérieur à 80; il existe deux exécutions différentes, correspondant à des températures de couleur de 3000 et 4000 K.

## ■ Efficacité lumineuse des différentes sources

L'**efficacité lumineuse** indique la capacité d'une source à transformer l'énergie électrique en un flux lumineux, et ceci avec un minimum de pertes sous forme de chaleur. La figure 3.6 illustre l'efficacité des différentes sources, décrites plus haut, en fonction de leur puissance électrique. Dans le calcul de cet efficacité, il est important d'inclure la consommation des appareils auxiliaires, qui n'est pas négligeable pour les lampes à décharge (ballasts pour les tubes fluorescents par exemple).

En terme d'efficacité, les sources lumineuses peuvent être regroupées de la manière suivante:

- sources d'efficacité élevée (lampes à vapeur de sodium, lampes à halogénures métalliques);



- sources d'efficacité moyenne (tubes fluorescents),
- sources de faible efficacité (lampes à incandescence, halogènes).

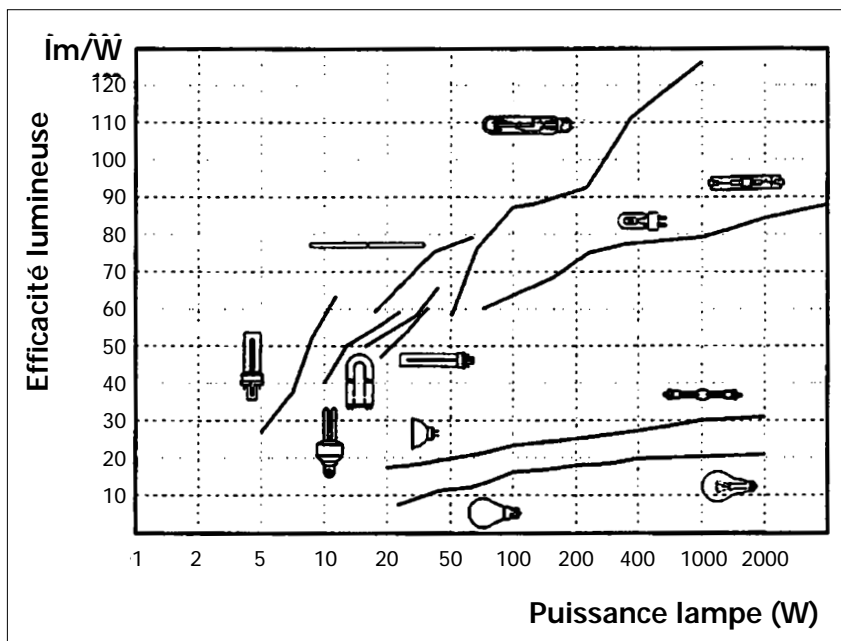


Figure 3.6: Efficacité lumineuse des différentes sources

### ■ Température et rendu des couleurs

La **température de couleur** d'une source permet de caractériser la teinte de la lumière émise par une source lumineuse. L'**indice de rendu des couleurs** fournit une indication sur la capacité de la source à rendre fidèlement les couleurs d'objets qui sont exposés à cette dernière [3, 4].

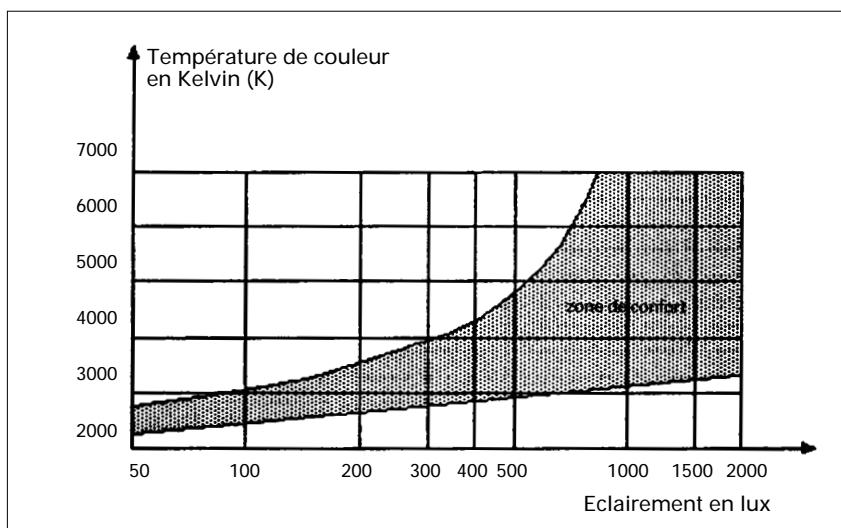


Figure 3.7: Règle de Kruithof établissant la zone de confort visuel en fonction de la température de couleur et du niveau d'éclairage.

Ces deux caractéristiques essentielles d'une source doivent être prises en compte lors du choix de celle-ci. Elles doivent être compatibles avec la tâche visuelle à effectuer; les lampes au sodium courantes (lampes à haute pression), utilisées le long des routes, ne sont par exemple pas compatibles avec les exigences de l'éclairage intérieur ( $25 < Ra < 65$ ).

De nombreux travaux et études psychologiques ont montré que les sources de basse température ne sont acceptables qu'aux faibles niveaux d'éclairage, alors que les hauts niveaux d'éclairage nécessitent



sitent des sources «froides» de température de couleur élevée. Cette règle est illustrée par le diagramme de Kruithof, qui constitue un premier critère pour la création d'une ambiance agréable (voir figure 3.7).

## ■ Longévité des sources

Certains facteurs comme les variations de tension du réseau, ou la fréquence d'allumage et d'extinction des lampes fluorescentes, peuvent considérablement influencer leur longévité.

La figure 3.8 illustre le comportement de la durée de vie d'un tube fluorescent en fonction du nombre d'allumages et d'extinctions journalier. Il apparaît toutefois qu'une gestion raisonnable d'un tube fluorescent, en vue d'économies d'énergie, est possible sans altération notable de sa durée de vie (10 allumages par jour par exemple).

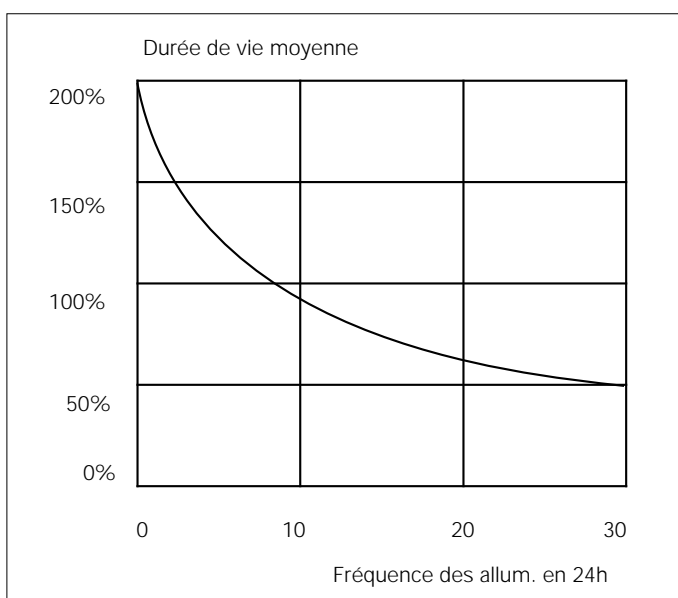


Figure 3.8: Variation de la durée de vie moyenne d'un tube fluorescent en fonction du nombre d'allumages en 24 heures.

## ■ Choix d'une source

L'encadré ci-dessous résume l'ensemble des caractéristiques à considérer lors du choix d'une source lumineuse.

### Caractéristiques d'une source à considérer (check-list rapide)

- Type de luminaire (installation)
- Dimensions, culot
- Flux lumineux (lm)
- Consommation énergétique (W)
- Efficacité lumineuse (lm/W)
- Dégagement de chaleur (quantité, direction)
- Tension (230 V, basse tension)
- Durée de vie
- Température de couleur (K)
- Indice de rendu de couleur (Ra)





- Position de fonctionnement
- Réglage du flux par variateur (gradation)
- Fréquence d'allumages
- Frais d'achat et de fonctionnement

Un tableau comparatif des caractéristiques principales de quelques sources est donné à la figure 3.9. Un résumé des avantages et inconvénients de ces sources est donné à la figure 3.10.

Famille	Type	Consommation (W)	Flux lumineux (lm)	Culot	Durée de vie (heures)	Tempér. de couleur (K)	Rendu de couleur (Ra)	Efficacité lumin. (lm/W)	Position de fonctionnement
<b>Incandescence</b>									
	Dépolie	60	730	E27	1000	2700	100	12	P 360
	Dépolie	100	1380	E27	1000	2700	100	14	P 360
<b>Halogènes</b>									
	13083 (12V)	100	2550	GY6.35	2000	3000	100	25	P 360
	100T3Q/CL	100	1650	R7s	2000	3000	100	16	P 360
	HALOGENA								
	13645 BTT	100	1600	E27	2000	3000	100	16	P 360
<b>Halogén.métal.</b>									
	HPI-T	250	17000	E40	8000	4400	69	68	P 20
	HPI-T	400	31500	E40	10000	4050	69	78	P 20
	MHN-TD	70	5500	R 7s	6000	4200	80	78	P 45
	MHN-TD	150	11250	R 7s	6000	4200	86	75	P 45
	MHN-TD	250	20000	Fc2	6000	4200	90	80	P 45
<b>Fluorescence</b>									
	TLD 90 DE LUXE	36	2350	G13	8000	3000	95	65	P 360
	TLD 90 DE LUXE	58	3750	G13	8000	3000	95	65	P 360
<b>Fuo compacte</b>									
	PLCE 11	11	600	E27	8000	2700	85	55	P 360
	PLCE 20	20	1200	E27	8000	2700	85	60	P 360
	PLC 18W	18	1200	G24q-2	8000	2700	85	67	P 360
	PLC 26W	26	1800	G24q-3	8000	2700	85	69	P 360
<b>Lumière mixte</b>									
	ML	100	1100	E27	8000	3350	60	11	SH 30
	ML	160	3100	E27	8000	3500	62	19	SH 30
	ML	250	5500	E27	8000	3550	61	22	SH 45
<b>Position:</b>									
S = debout, culot en bas									
H = suspendue culot en haut									
P = horizontale									
Chiffre = déviation permise en °									

Figure 3.9: Tableau comparatif de quelques sources lumineuses.

## INCANDESCENCE CLASSIQUE

### Avantages

- Lumière chaude à dominante rouge
- Très bonne restitution des couleurs
- Prix bon marché

### Inconvénients

- Très mauvaise efficacité lumineuse (12 lm/W)
- Émission de chaleur élevée
- Durée de vie médiocre (1000 h)

## HALOGÈNES

### Avantages

- Efficacité lumineuse supérieure à celle des lampes à incandescence classiques (30 lm/W)
- Dimensions réduites
- Très bon rendu des couleurs
- Meilleure focalisation de la lumière
- Le cycle de l'halogène évite le noircissement de l'ampoule durant toute la durée de vie

### Inconvénients

- Température très élevée de l'ampoule et du culot
- Nécessite souvent l'emploi d'un transformateur (pertes énergétiques)
- Luminance plus élevée
- Maniement malaisé sans verre frontal
- Durée de vie moyenne (2000 h)

## TUBES FLUORESCENTS

### Avantages

- Longévité huit fois plus élevée qu'une lampe à incandescence
- Basse température superficielle du tube
- Choix de plusieurs «teintes» de couleur (température de couleur variant entre 3000 K et 6500 K)

### Inconvénients

- La longévité d'un tube dépend fortement du type de ballast associé, ainsi que de la fréquence d'allumage
- Mauvaise capacité de focalisation de la lumière
- Les lampes de puissance différente ne sont pas interchangeables
- Choix de la teinte de lumière adéquate à la tâche visuelle prévue nécessaire (une mauvaise teinte entraîne une diminution notable du confort visuel)

## LAMPES FLUORESCENTES COMPACTES

### Avantages

- Efficacité lumineuse élevée (4 à 5 fois celle d'une lampe à incandescence)
- Dimensions réduites

### Inconvénients

- Temps d'amorçage
- Coût d'achat plus élevé

## HALOGÉNURES METALLIQUES

### Avantages

- Efficacité lumineuse élevée (75 lm/W)
- Bon rendu des couleurs



- Peuvent remplacer avantageusement des lampes halogènes dans certaines situations
- Longue durée de vie (6000 à 8000 heures)

#### Inconvénients

- Temps d'amorçage de 2 à 5 minutes
- Temps d'attente avant un rallumage nécessaire
- Limitation des «teintes» de couleur selon la puissance
- Diminution du flux avec le vieillissement

### LAMPES A INDUCTION

#### Avantages

- Bonne efficacité lumineuse (65 lm/W)
- Bon rendu des couleurs
- Choix de températures de couleur (3000 K ou 4000 K)
- Très longue durée de vie (60 000 heures)

#### Inconvénients

- Boîtier électronique encombrant
- Coût d'achat très élevé

Figure 3.10: Tableau synoptique des avantages et inconvénients de quelques sources lumineuse

## 3.2 CARACTÉRISTIQUES DES DIFFÉRENTS TYPES DE LUMINAIRES

Ce qui intéresse en premier lieu un éclairagiste, c'est la photométrie d'un luminaire [4]. Elle est définie par deux éléments essentiels:

- les sources lumineuses;
- les composants optiques du luminaire (réflecteur, grille, écran diffuseur).

Par la combinaison de ses deux éléments est définie la distribution lumineuse et le rendement de chaque appareil. D'une manière générale la distribution de la lumière peut se faire de façon intensive, extensive ou asymétrique. Cette distribution pour chaque luminaire est représentée par la courbe polaire de répartition des intensités lumineuses en candelas (indicatrices d'intensité). La figure 3.11 illustre une de ces courbes.

Chaque luminaire se distingue par sa classe de protection électrique (classe 0, I, II, et F), ainsi que par l'indice de protection IP à deux chiffres, caractérisant la résistance qu'offre l'appareil à la pénétration des corps solides et liquides.

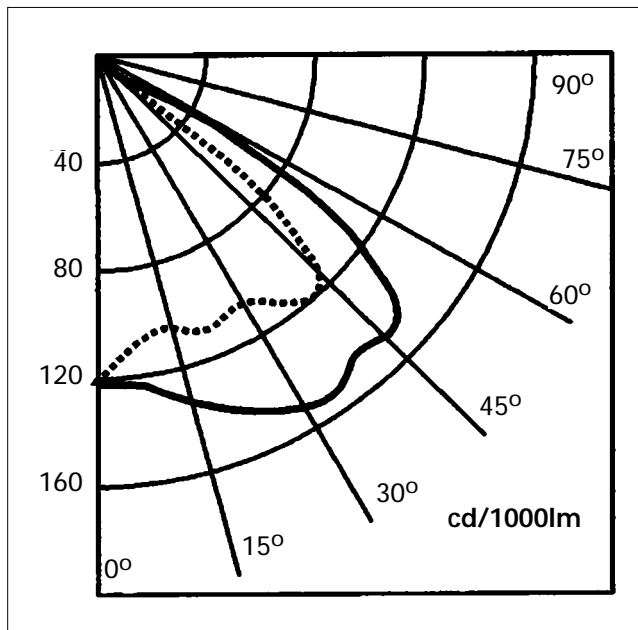


Figure 3.11: Courbe polaire caractéristique d'un luminaire (flux lumineux ramené par convention à 1000 Lumens)

### ■ Rendement d'un luminaire

Le flux lumineux émis par les sources d'un luminaire n'atteint, en général, pas directement le plan de travail. Ce flux subit des interactions entre ces deux points, ne serait-ce que du fait de réflexions dans le luminaire et sur les grilles paralumes.

La figure suivante illustre les rapports entre le flux total émis par les sources d'un luminaire, le flux émis par le luminaire et le flux résultant sur la surface de travail.

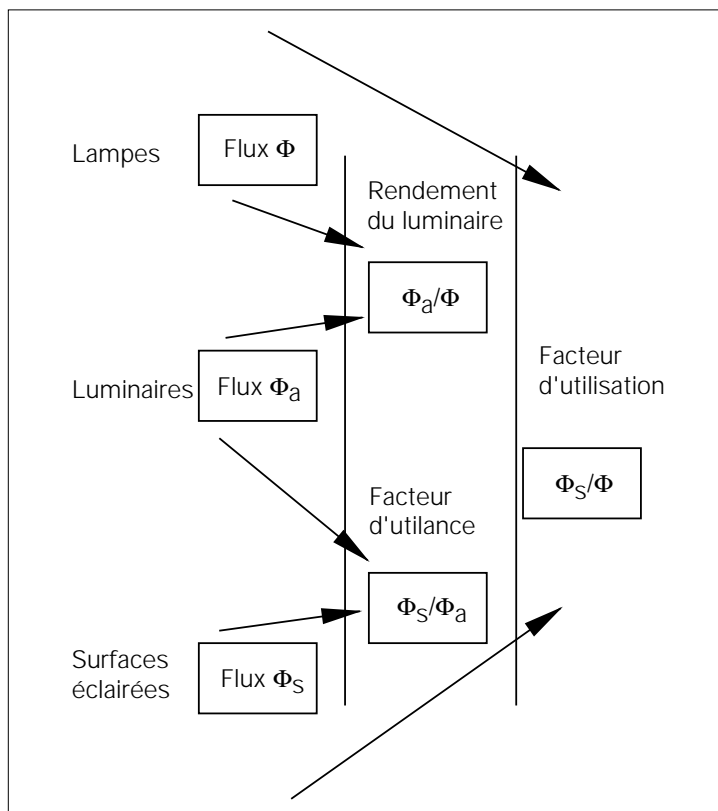


Figure 3.12: Illustration des grandeurs caractéristiques d'un luminaire (la démarche peut être généralisée au cas de plusieurs luminaires: voir chapitre 6)



Le **rendement d'un luminaire** varie en pratique entre 0,5 et 0,99. Les différents systèmes de réflecteurs et diffuseurs permettent une distribution spécifique de la lumière dans l'espace (faisceau étendu, asymétrique, basse luminance). Les luminaires dits basse luminance, utilisent des dispositifs (grilles paraboliques, réflecteurs secondaires) permettant la répartition de la lumière dans un faisceau relativement étroit, limitant l'éblouissement. La forme, les dimensions et la position de la source, par rapport au réflecteur principal, influencent non seulement l'optimisation de la répartition de la lumière dans la direction voulue, mais aussi le rendement du luminaire.

### ■ Critères de confort visuel

Il faut qu'un luminaire réponde impérativement aux exigences de confort visuel et plus particulièrement s'atteler à l'élimination des causes d'inconfort dues à l'éblouissement.

L'absence d'éblouissement direct dû au luminaire est facilement vérifiable à l'aide des abaques de Bodmann et Söllner (voir figure 3.13). Celles-ci définissent les valeurs maximales admissibles de luminance

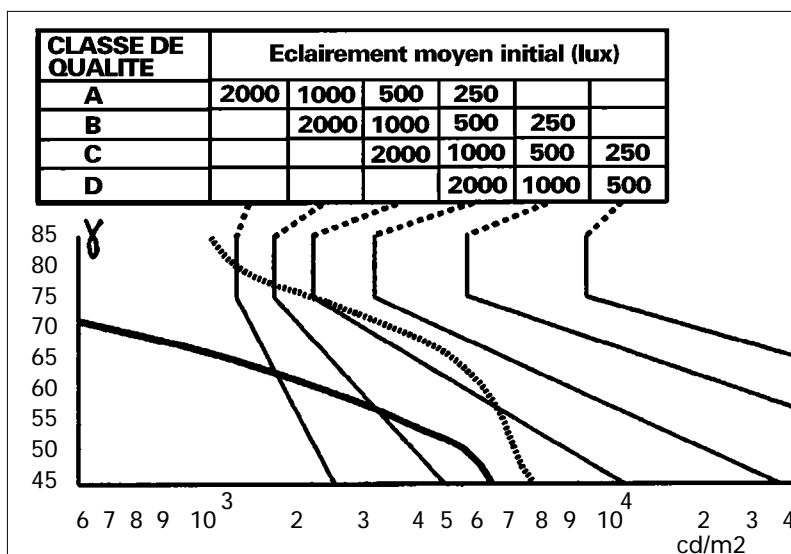
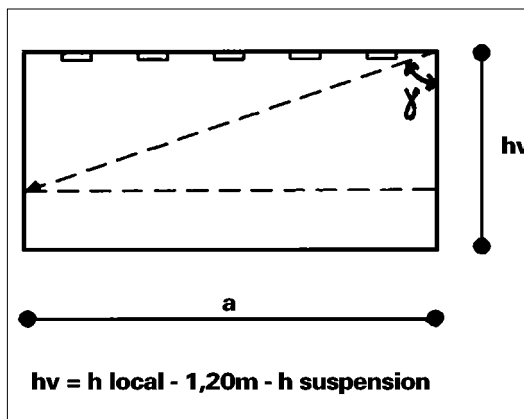


Figure 3.13: Abaque simplifiée de Bodmann et Söllner.

selon le type d'activité, la forme du local et le niveau moyen d'éclairage requis. On peut ainsi, par exemple, proscrire immédiatement l'utilisation de luminaires à vasque prismatique diffusante pour les salles de classe.



Les constructeurs fournissent pour chaque type de luminaire des courbes de luminance (longitudinale en pointillé et transversale en trait plein). En définissant la classe ou degré de qualité du local (allant de A à E selon la classification CIE) et le niveau d'éclairage moyen, on peut déterminer sur cette abaque la courbe limite de luminance admissible. Si la courbe de luminance de l'appareil, donnée par le fabricant, se situe à gauche de la courbe limite, alors le choix est judicieux; dans le cas contraire il faudra choisir un autre luminaire.

Pour les luminaires à faisceau directionnel, le type de schéma illustré ci-dessous nous renseigne sur la forme et l'étendue du cône de lumière.

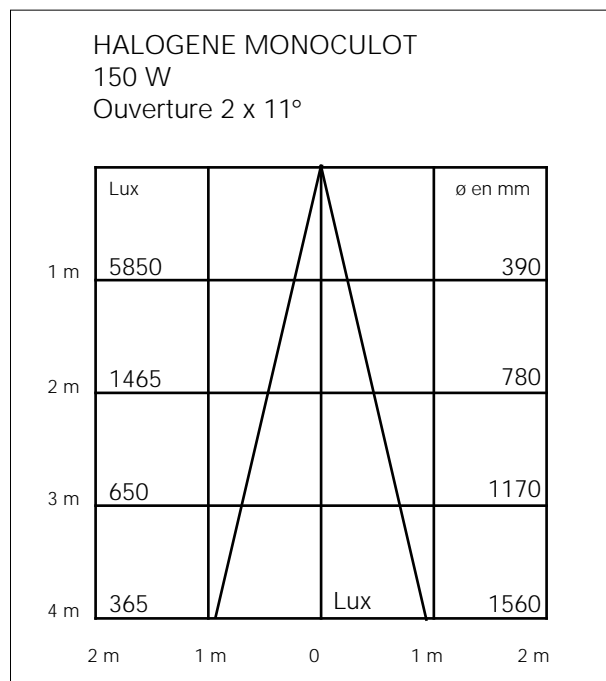


Figure 3.14: Diagramme caractéristique d'un luminaire à faisceau directionnel.

Le demi-angle d'ouverture (exemple: 11°) est l'angle formé par l'axe du faisceau et la direction dans laquelle est émise une intensité lumineuse égale à la moitié de l'intensité maximale. Ce diagramme permet de déterminer, dans un plan perpendiculaire à l'axe du faisceau, le niveau d'éclairage dans l'axe (à gauche) et le diamètre en mm du cercle (à droite), que délimite l'angle d'ouverture du faisceau.

Les projecteurs à découpe et à gobos (laiton découpé) permettent d'obtenir des effets visuels spéciaux, tels que la projection d'images ou de logos, la mise en valeur d'objets, animant ainsi l'espace.

Le choix des luminaires doit bien entendu répondre à la stratégie du projet d'éclairage, mais aussi à des impératifs esthétiques, à des contraintes constructives et faciliter les opérations d'entretien et de maintenance.

### 3.3 SYSTEMES DE COMMANDE DES LUMINAIRES

Une installation d'éclairage conventionnelle consiste en un réseau de connexions de points d'alimentation électrique au moyen de câbles séparés. Les récents développements, aussi bien des techniques de contrôle que de la technologie informatique, ont ouvert des nouvelles



possibilités. Des systèmes comme IFS 800 de Philips, Luxmate de Zumtobel ou EOS 2 de Neuco exploitent ce potentiel.

L'architecture de ces systèmes se caractérise par:

- un contrôle local par groupes des luminaires, librement défini par l'utilisateur (zones distinctes);
- une gestion centralisée de l'éclairage (management);
- une communication des données par bus.

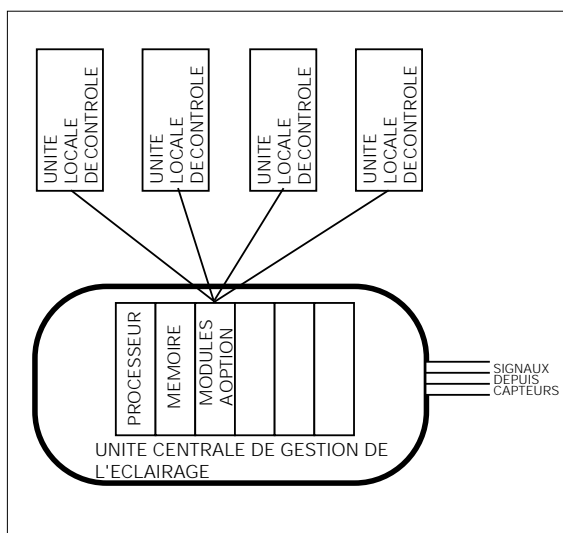


Figure 3.15: Schéma de principe d'un système de gestion centralisée de l'éclairage.

La gestion centralisée de l'éclairage reçoit des signaux (information) provenant de différentes sondes analogiques ou digitales. Ces sondes peuvent être par exemple des cellules photoélectriques mesurant la quantité de lumière naturelle en un point de la pièce ou des détecteurs de présence dans une zone particulière (corridors, toilettes, bureaux, etc).

Ce type d'installation permet un enregistrement préalable (dans la mémoire de l'unité de gestion) des scénarios lumineux, comme par exemple la régulation et la mise en service automatique de différents groupes de luminaires, à certaines heures de la journée.

## Caractéristiques des systèmes centralisés de gestion de l'éclairage

### Avantages

- Très grande flexibilité au niveau de la commande des luminaires. En cas de modifications des locaux, d'un déplacement des parois par exemple, il suffit de recomposer les groupes de luminaires commandés par simple programmation de l'unité centrale de gestion; aucune modification des câbles et des connexions électriques n'est nécessaire.
- Permet d'enregistrer beaucoup d'informations utiles pour la gestion énergétique et la maintenance des sources lumineuses dans des conditions réelles d'utilisation. Ces informations, exploitées correctement, conduiront à moyen terme à des économies supplémentaires d'énergie, ainsi qu'à un meilleur confort visuel.



#### **Inconvénients**

- Systèmes exigeant un investissement initial élevé.
- L'interprétation des résultats, provenant des sondes et autres détecteurs utilisés actuellement pour commander l'allumage des sources lumineuses, en relation avec la variation de la lumière naturelle, n'a pas encore abouti à une utilisation à la fois efficace, fiable et aisée.

## 3.4 ETAPES DU PROJET D'ÉCLAIRAGE ARTIFICIEL

### ■ **Projet d'éclairage intérieur**

L'affectation prévue et les plans du local (dimensions et forme des ouvertures, direction de provenance de la lumière naturelle, caractéristiques des matériaux de construction) constituent les données de base du projet. En possession de ces données, le déroulement des opérations peut se faire dans l'ordre suivant.

### ■ **Détermination du niveau d'éclairement requis**

Le niveau d'éclairement dépend de la nature de l'activité effectuée dans le local. Des valeurs recommandées pour les différentes activités sont publiées régulièrement. Ces valeurs d'éclairement sont données pour un plan de travail horizontal, se situant par convention à 85 cm du sol.

### ■ **Choix du type de sources lumineuses**

Plusieurs critères interviennent dans ce choix; leur nombre et leur importance varient selon la nature du problème posé. Il faut examiner l'efficacité lumineuse, la durée de vie, la température de couleur, l'indice de rendu de couleur, la durée et le mode d'utilisation. Un bilan économique global doit comprendre l'investissement initial, l'exploitation, l'entretien et les frais de remplacement.

### ■ **Choix du système d'éclairage (direct, indirect, mixte)**

Avec un éclairage direct les surfaces horizontales sont généralement bien éclairées, mais le plafond reste sombre. Une disposition adéquate des sources permet l'obtention d'un bon facteur d'uniformité. La perception spatiale peut devenir monotone, sans caractère et sans accents lumineux.

La lumière est entièrement diffusée vers le plafond dans le cas d'un éclairage indirect. La diffusion de la lumière crée une impression reposante. L'absence d'ombres portées peut être gênante. Le flux lumineux requis est plus important que dans le cas de l'éclairage direct, ce qui peut conduire à une augmentation de la consommation d'électricité.





Dans un éclairage mixte la lumière est diffusée dans les deux hémisphères inférieur et supérieur.

## ■ Choix du luminaire ou des appareils d'éclairage

La courbe photométrique du luminaire doit correspondre au mode de distribution choisi pour la lumière. En outre, des critères de fiabilité, d'esthétique, d'entretien, des conditions d'environnement (atmosphère humide, corrosive, explosive) et enfin de coût, influenceront ce choix.

## ■ Calculs et répartition des luminaires

Des programmes informatiques permettent d'optimiser la répartition des luminaires. Cette dernière doit, en particulier, être déterminée en prenant compte la contribution de la lumière naturelle (ouvertures vitrées).

## BIBLIOGRAPHIE

- [1] «Manuel de l'éclairage», 5<sup>e</sup> édition (en allemand), SLG, LiTG, LTAG, NSVV, ecomed (1992).
- [2] «IES Lighting Handbook», Illuminating Engineering Society, New York (1987).
- [3] H. Rossotti, «Colour: Why the World isn't grey», Princeton University Press, Princeton (1983).
- [4] «La photométrie en éclairage», Association Française de l'Eclairage, Paris (1992).



<b>4. ASPECTS ÉNERGÉTIQUES</b>	<b>59</b>
■ 4.1 Analyse de la situation actuelle	59
■ 4.2 Energie et éclairage naturel	60
■ 4.3 Extraction de la chaleur	65
■ 4.4 Combinaison des éclairages naturel et artificiel	68





## 4. Aspects énergétiques

### 4.1 ANALYSE DE LA SITUATION ACTUELLE

Si l'on observe l'évolution de la consommation d'énergie des bâtiments administratifs durant ces quinze dernières années, on constate que la demande de chaleur a été divisée par un facteur 3 alors que la demande d'électricité a été multipliée par un facteur 2 à 3. Cette évolution s'explique par l'effort considérable consenti pour diminuer la demande d'énergie fossile: enveloppes des bâtiments plus performantes, recours systématique à la récupération sur la ventilation, utilisation de producteurs à haut rendement, augmentation des dégagements de chaleur dans les locaux (appareils).

L'accroissement de la demande d'électricité est moins bien cernée; elle est vraisemblablement imputable au recours beaucoup plus systématique à la ventilation (augmentation des charges internes et obligation de récupérer) et à l'informatisation grandissante des tâches de bureau.

L'éclairage artificiel n'explique certainement pas à lui seul l'accroissement de la demande d'électricité des bâtiments administratifs: ses performances toujours plus élevées ont largement compensé l'augmentation des prestations. La figure 4.1 donne un exemple de répartition de cette demande dans un bâtiment peu ventilé: l'électricité représente 34% de la demande globale d'énergie (chaleur + électricité), l'éclairage 45% de l'électricité (soit 15% du total). Une étude portant sur un immeuble administratif, dont chaque niveau a été loué à une société d'activité différente (vente, banque, commerce, cabinet dentaire), a montré que l'éclairage artificiel représente, selon cette activité, de 25 à 50% de la consommation d'électricité totale.

Dans les centres commerciaux, la consommation d'électricité est très importante (voir figure 4.2). Elle n'a pas cessé d'augmenter ces dernières années.

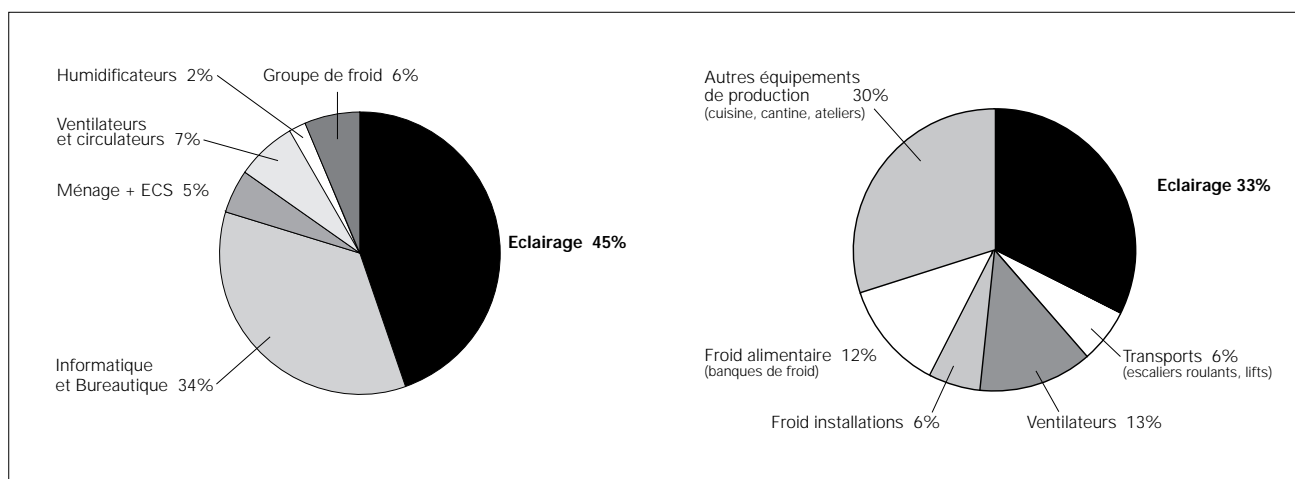


Figure 4.1: Répartition de la consommation d'électricité d'un bâtiment administratif peu ventilé: 1350 m<sup>2</sup> de surface de plancher (SRE), 3 niveaux, IDE chaleur = 460 MJ/m<sup>2</sup>a, IDE électricité = 240 MJ/m<sup>2</sup>a (gauche)

Figure 4.2: Répartition de la consommation d'électricité d'un centre commercial: 10000 m<sup>2</sup> de surface de plancher (SRE), 8 niveaux, IDE chaleur = 460 MJ/m<sup>2</sup>a, IDE électricité = 730 MJ/m<sup>2</sup>a (droite) [ 1 ]



L'éclairage artificiel représente une part importante de la consommation d'électricité des installations de ce type de bâtiments (60%). Cette forte contribution s'explique principalement par l'absence d'éclairage naturel et la fonction décorative de l'éclairage: la mise en scène des produits à vendre est aussi importante que le niveau lumineux à atteindre. Les dégagements de chaleur de l'éclairage artificiel, souvent à incandescence (halogènes) nécessitent une ventilation mécanique et un refroidissement importants.

Dans les bâtiments administratifs, la consommation d'électricité due à l'éclairage artificiel a plutôt tendance à diminuer; celle due aux équipements à augmenter (bureautique, informatique). Les installations de conditionnement d'air (ventilation, climatisation) servent avant tout à évacuer la chaleur générée par les appareils de bureaux et le soleil pénétrant dans les locaux.

Dans les centres commerciaux, il est très difficile de diminuer la consommation d'électricité due à l'éclairage, cette prestation étant fortement liée aux techniques de vente. La fonction première des installations de conditionnement d'air est d'évacuer la charge due à l'éclairage et aux personnes, les gains solaires étant pratiquement inexistantes. Dans les surfaces commerciales distribuant des produits alimentaires, les armoires frigorifiques représentent la charge principale, la production de froid étant décentralisée.

## 4.2 ÉNERGIE ET ÉCLAIRAGE NATUREL

Il est généralement admis que la lumière naturelle est un facteur de qualité dans les bâtiments. Il est par ailleurs raisonnable de supposer, que la substitution de la lumière d'origine électrique par de la lumière naturelle, conduise à des économies d'énergie.

L'utilisation intensive de la lumière naturelle demeure toutefois une technique sensible, puisqu'elle peut, si on n'y prend garde, contribuer à augmenter la sensibilité du bâtiment aux conditions climatiques externes et conduire à un risque accru sur le plan du confort thermique et visuel. D'autre part, les économies réalisées sur la consommation de l'éclairage peuvent être, si l'on y prend garde, réduites à zéro par un accroissement des besoins en chauffage, en ventilation ou en refroidissement.

### ■ La fenêtre

La fenêtre est un élément complexe dans l'enveloppe d'un bâtiment. Ses fonctions sont:

- Protéger l'espace contre les pertes de chaleur;
- Laisser pénétrer le rayonnement solaire;
- Éclairer le plan de travail;
- Offrir un contact visuel avec l'extérieur;
- Ventiler l'espace.

Des éléments mobiles ou fixes permettent de doser la pénétration du rayonnement solaire et de la lumière. La fenêtre est autant une barrière qu'un filtre. Seule la prise en compte de tous ces aspects permet de concevoir un bâtiment énergétiquement équilibré.

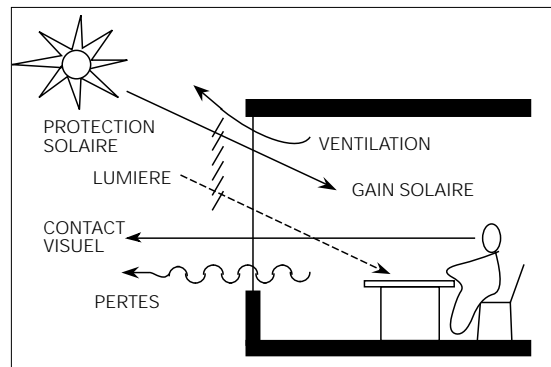


Figure 4.3: Fonctions de la fenêtre [2]

Depuis le début de ce siècle, plusieurs périodes ont négligé certaines dimensions de la fenêtre et produit des modèles de bâtiments administratifs qui sont des aberrations énergétiques:

- Façades entièrement vitrées par des verres antisolaires, sans différenciation de l'orientation, nécessitant une climatisation;
- Bâtiments largement vitrés au Sud et borgnes au Nord.

Les fonctions premières de la fenêtre sont l'éclairage, la ventilation et le contact visuel. L'hypertrophie de la surface vitrée dans les années cinquante-soixante allait de paire avec une climatisation générale des bâtiments et l'apparition des verres antisolaires. La crise pétrolière des années septante et l'apparition des premières notions d'énergie solaire passive ont transformé la fenêtre en un simple capteur solaire qui



Figure 4.4: Bâtiment muni de façades entièrement vitrées (verres antisolaires)

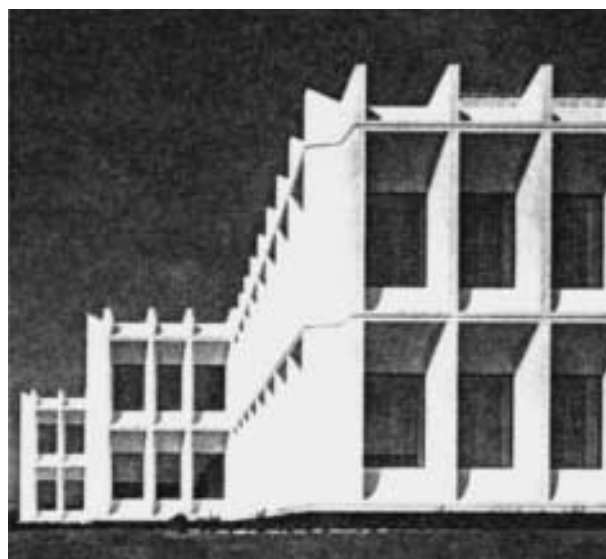


Figure 4.5: Bâtiment muni de brises-soleil dans toutes les orientations.

devenait s'ouvrir exclusivement au Sud. Le mouvement actuel, basé sur la plasticité du verre, tend à faire oublier l'aspect fonctionnel de la fenêtre: réapparition des façades entièrement vitrées, du verre antiso-laires, des brise-soleil décoratifs (sans fonction propre).

## ■ Apports solaires et gains internes

Dans les bâtiments administratifs, les gains solaires sur une façade Sud, Est ou Ouest sont du même ordre de grandeur que les gains internes. Leur apparition étant simultanée entre 10 et 17 heures, on assiste à une concurrence entre ces deux dégagements de chaleur, qui de fait s'additionnent. Pour éviter cela et bénéficier d'une utilisation judicieuse des gains solaires et des gains internes, il faut soit déphaser les gains solaires vers la nuit, les gains internes étant difficilement maîtrisables (fonction de l'activité du bâtiment), soit minimiser les apports solaires.

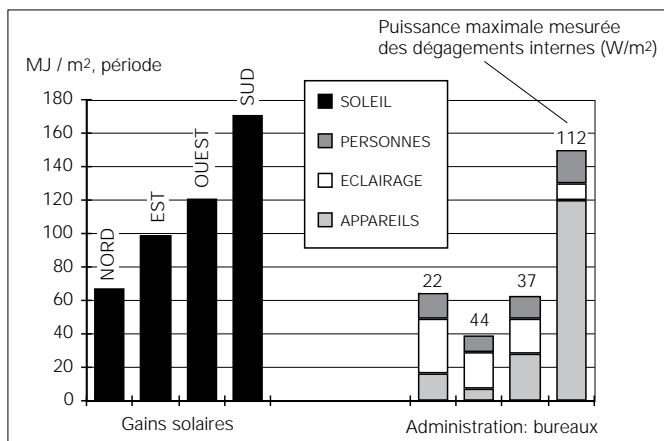
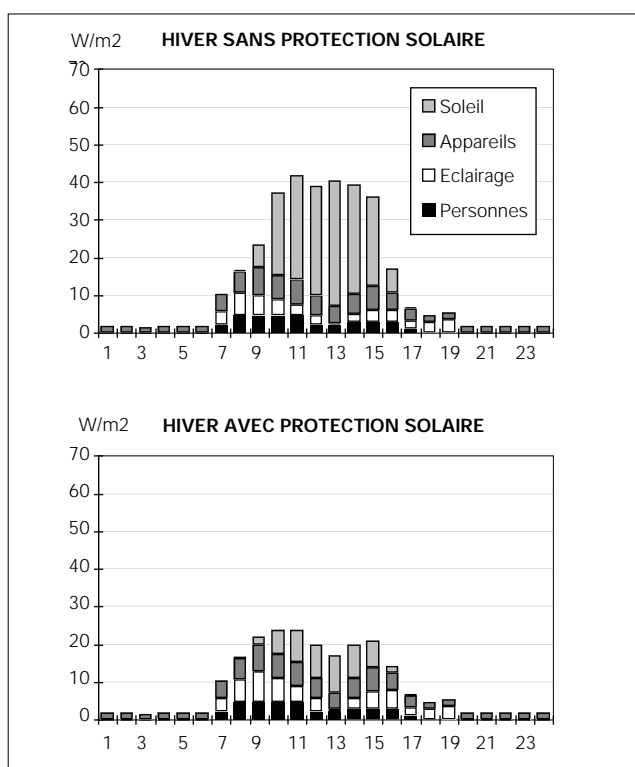


Figure 4.6: Comparaison entre énergie solaire captée par un bureau vitré ( 20 m<sup>2</sup> de plancher, vitrage IR de 4.3 m<sup>2</sup>) et gains internes durant la période de chauffage (11 heures de présence par jour) [3,4]



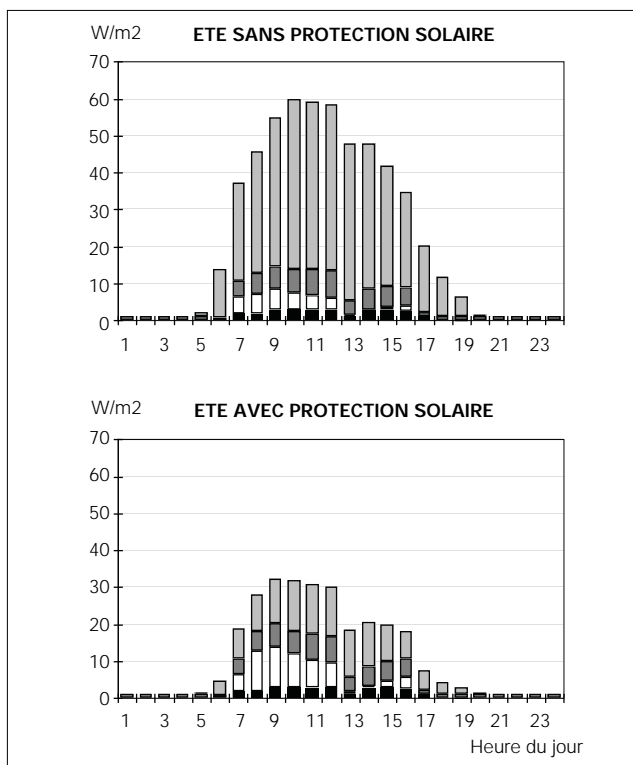
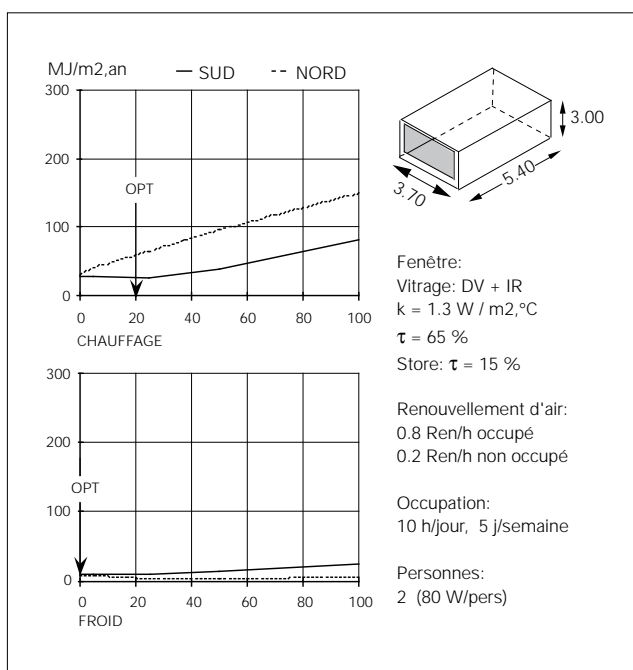


Figure 4.7: Evolution des dégagements de chaleur dans un bureau vitré à l'Est et au Sud [5]  
 Surface de plancher = 35 m<sup>2</sup>  
 Surface vitrée = 11.5 m<sup>2</sup>  
 Vitrage double, protection solaire extérieure à lamelles

Dans les zones où une activité normale de bureau se développe, il n'est pas justifié, énergétiquement parlant, d'augmenter la surface vitrée plus que nécessaire à un bon éclairage naturel et à une ventilation suffisante. Le « surdimensionnement » des fenêtres peut se justifier dans des zones annexes où les exigences du confort thermique et visuel sont réduites: circulation, attente, entrée, atrium, etc..

Des études récentes montrent que, mis à part les bâtiments administratifs très informatisés et les centres commerciaux, la charge due à l'éclairage et aux gains solaires représentent nettement la part la plus importante des dégagements de chaleur dans un local.



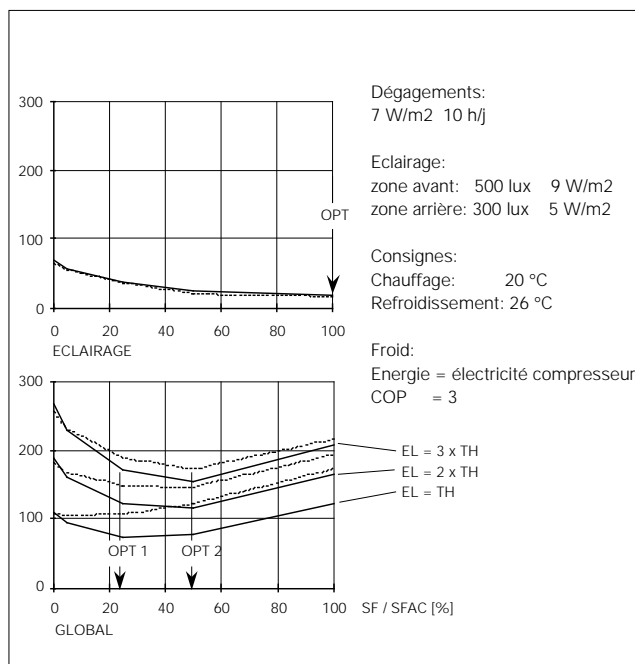


Figure 4.8: Consommation spécifique en énergie d'appoint pour le chauffage, le refroidissement et l'éclairage en fonction de la surface relative de fenêtres et de l'orientation de la façade d'un bureau.

SF = surface de fenêtre, SFAC = surface de façade

EL = 2 x TH équivalent énergétique entre chaleur et électricité: EL = électricité, TH = chaleur

OPT = surface optimale pour l'aspect considéré (seule l'orientation Sud est notée)

## ■ Bilan énergétique global

Si l'on intègre tous les composants du bilan énergétique de la fenêtre (énergie nécessaire au chauffage, à l'éclairage et au refroidissement du local), les proportions habituelles et les choix d'orientation des fenêtres en sont modifiées [6].

Selon que l'on désire minimiser la consommation de chaleur, d'éclairage, de froid ou la somme des trois, la surface vitrée optimale n'est pas la même. La figure 4.8 montre clairement que, pour une orientation Sud, on obtient une surface optimale différente suivant l'aspect considéré (valeur respective de 25, 0, 100 ou comprise entre 25 et 50%).

Pour éviter de tomber dans une approche trop partielle de la fenêtre, seule une prise en compte de cet élément dans une conception globale apportera une solution équilibrée.

## ■ Protection solaire

La protection solaire doit être thermiquement efficace. Elle doit permettre un dosage de la lumière et une protection contre les éblouissements psychologiques.

Les protections fixes, efficaces contre les surchauffes estivales, ne permettent pas de moduler la lumière naturelle. Elles nécessitent une protection solaire intérieure supplémentaire (rideaux légers).

Pour qu'une protection solaire soit utilisée, elle doit permettre un dosage de la pénétration de lumière du jour et ne pas entraver la ventilation naturelle.

L'utilisation d'un verre antisolaires n'est pas une solution adéquate du point de vue énergétique:

- Sa transmission thermique globale ( $g$ ) est toujours très proche de sa transmission lumineuse ( $\tau$ ) (peu d'effet sélectif, voir figure 4.9).
- Son effet de protection est peu efficace par comparaison à une protection extérieure (lamelles ou toiles).





VITRAGE	TRANSMISSION ENERGETIQUE (g) [%]	TRANSMISSION LUMINEUSE ( $\tau$ ) [%]
Verre isolant normal transparent	77	81
Infrastop argent	48	48
Infrastop neutre	39	51
Parélio clair	50	43
Calorex A1	42	38
Stopray Bleu	36	50
Antisun Green	48	66

Figure 4.9: Caractéristiques énergétiques et lumineuses de quelques verres antisolaires [7]

ATTENUATION DU GAIN SOLAIRE								
TYPE	Verre normal	Verre anti-solaire	Toile intérieure	Avancée	Toile extérieure	Lames extérieures	Avancée et toile extérieure	Avancée et lames extérieures
SUD	1	0.3 - 8	0.58	0.55	0.17	0.14	0.14	0.08
EST / OUEST	1	0.3 - 8	0.59	0.62	0.36	0.26	0.26	0.21

Figure 4.10: Efficacité thermique des protections solaires: le facteur de protection thermique a comme référence un vitrage isolant double (facteur de protection de 1). Plus ce facteur est faible, plus la protection est efficace; la protection définie ici est thermique et non pas lumineuse.

En éclairage, une protection a la même efficacité si elle est située à l'intérieur ou à l'extérieur de la fenêtre, alors qu'en thermique elle est trois fois plus efficace à l'extérieur qu'à l'intérieur [8]

- Le contact visuel avec l'extérieur est de piètre qualité (mauvais rendu des couleurs, adaptation au niveau lumineux ambiant impossible).

Ce type de vitrage est généralement associé à des bâtiments entièrement climatisés et presque exclusivement éclairés artificiellement. Si l'on considère le bilan énergétique global d'une fenêtre, ses effets sont négatifs:

- Chauffage: une surface vitrée importante entraîne des pertes élevées durant la nuit.
- Éclairage: les verres, dont la transmission lumineuse est faible et non modulable, nécessitent un éclairage artificiel pratiquement constant.
- Froid: une surface vitrée importante de faible facteur de protection thermique doit être compensée par une climatisation.

## 4.3 EXTRACTION DE LA CHALEUR

### ■ Ventilation naturelle

Le choix, dans un bâtiment administratif, de recourir en priorité à la ventilation naturelle pour assurer le renouvellement d'air et le refroidissement des locaux est lié à la conception même du bâtiment et à sa situation.

Un site urbain ou industriel, très exposé au bruit, rendra toutefois très difficile le recours à une telle solution.

Il existe néanmoins des solutions intégrées qui permettent de résoudre le problème de l'éclairage naturel et de la ventilation naturelle par une géométrie de bâtiment adéquate:

- Morcellement des ouvrants pour permettre un dosage du renouvellement en hiver;
- Non concurrence entre protection solaire et ventilation naturelle;
- Revêtements de façade clairs évitant un courant d'air chaud ascendant;
- Utilisation des effets de cheminée sur de grandes hauteurs;
- Exploitation des différences de pression dues au vent (orientation sur les vents dominants).

La figure 4.11 illustre le cas d'un atrium servant de moteur à la ventilation naturelle. La dépression provoquée par ce dernier, plus importante que si chaque local était ventilé séparément, permet de disposer des chicanes anti-bruit sur les prises d'air extérieures et intérieures (perte de charge plus élevée qu'une fenêtre).

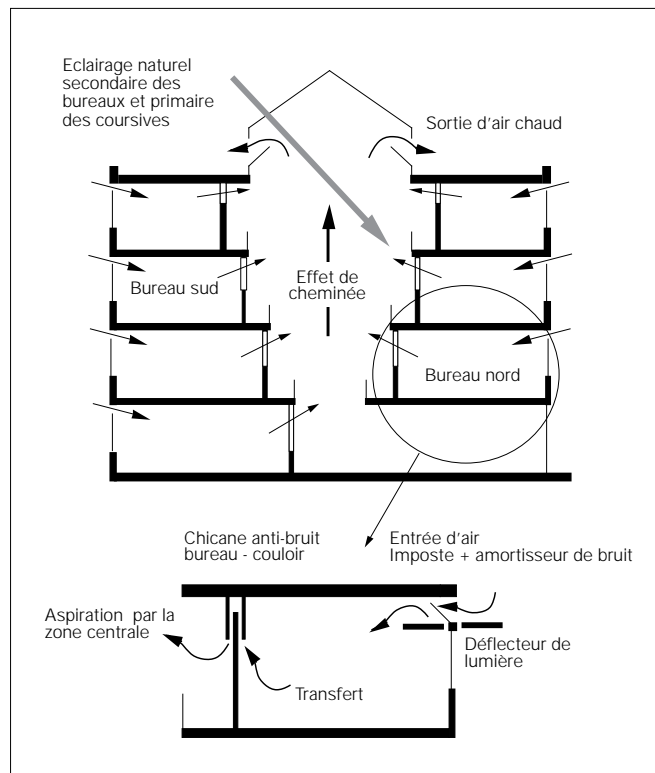


Figure 4.11: Combinaison d'un éclairage bilatéral et d'une ventilation traversante par effet de cheminée [9]

## ■ Ventilation mécanique

La ventilation naturelle permet par ailleurs une économie substantielle d'électricité (absence de moteurs).

La ventilation mécanique sert d'une part à renouveler l'air des locaux, d'autre part à évacuer les charges thermiques qui s'y dégagent (gains internes et solaires). L'éclairage artificiel est, comme on l'a vu, une part importante des charges thermiques qui se dégagent dans un local.

Cette affirmation doit toutefois être relativisée.

Une installation de conditionnement bien conçue doit évacuer les gains dus à l'éclairage, aussi bien que les gains solaires. Ces derniers, même en admettant des protections solaires efficaces, sont la plupart du



temps supérieurs aux gains dus à l'éclairage. Le dimensionnement de l'installation d'évacuation de la chaleur tiendra compte de l'un ou de l'autre de ces gains.

Les nouveaux systèmes de ventilation, dits par déplacement, créent un « zoning » des locaux: une zone basse (zone I), dite de confort, où la température est contrôlée, et une zone haute (zone II), où la température est plus élevée. Le principe est d'exploiter la stratification naturelle de l'air chaud et de pulser à très basse vitesse (laminaire) de l'air frais au sol. Les différentes sources thermiques au sol génèrent un courant ascendant, qui transfère cette charge vers la zone haute où elle est évacuée.

Ce nouveau mode de ventilation permet de pulser un débit d'air nettement plus faible que le système par mélange. Les charges thermiques dues à l'éclairage, se dissipant en grande partie dans la zone haute, n'interviennent donc que faiblement dans le bilan des charges.

### Calcul du dégagement de chaleur de luminaires

- On suppose un luminaire équipé d'un tube de 50 W (+ ballast EVG: 5 W) d'un rendement de 75%. La source émet 36% de son rayonnement dans le visible et 10% dans l'infrarouge. Le bilan thermique de ce luminaire dans les deux zones est le suivant:

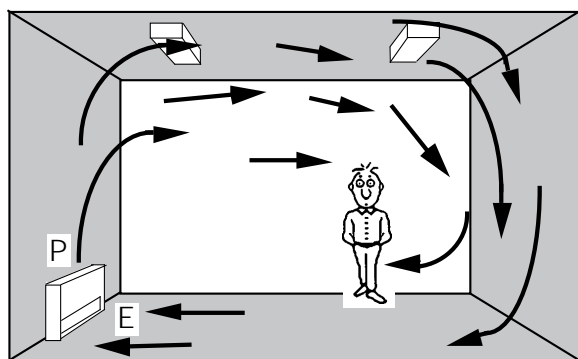
**Zone I:** part rayonnée = puissance lampe x (part lumineuse + part infrarouge) x rendement luminaire, soit:

$$50 \times (0.36 + 0.10) \times 0.75 = 17.25 \text{ W}$$

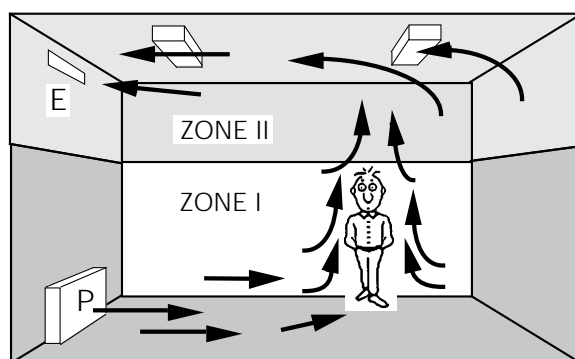
**Zone II:** part convective = puissance lampe x (1 - part lumineuse - part infrarouge) + puissance lampe x (part lumineuse + part infrarouge) x (1 - rendement luminaire) + puissance ballast, soit:

$$50 \times (1 - 0.36 - 0.10) + 50 \times (0.36 + 0.10) \times (1 - 0.75) + 5 = 37.75 \text{ W}$$

$$\text{Total zones I + II} = 55 \text{ W}$$



Ventilation par mélange



Ventilation par déplacement

Figure 4.12: Modes de ventilation par mélange et par déplacement [10]  
P = pulsion, E = extraction

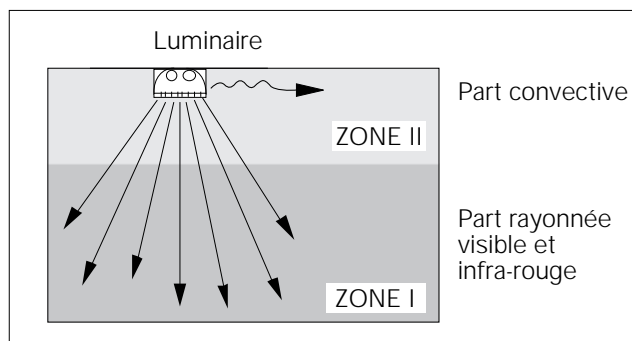


Figure 4.13: Part dégagée par l'éclairage dans chacune des zones

Comme on le voit, seul 30% de la chaleur dissipée par l'éclairage interviendra lors du dimensionnement d'un système de ventilation par déplacement contre 100% dans le cas d'un système en mélange.

Une autre solution, pour minimiser la charge due à l'éclairage, consiste à aspirer l'air à travers les luminaires du local à ventiler. Non seulement la part convective ne se dégage pas dans le local mais, le luminaire étant mieux refroidi, l'efficacité lumineuse des sources est améliorée. Ce type de technologie est peu utilisé dans la pratique, ceci pour diverses raisons: les coûts d'investissement dans les luminaires et leur raccordement au réseau d'air évacué sont élevés, l'empoussièrisme accéléré des luminaires, qui font office de filtres à air, pénalise leur rendement lumineux, le bruit généré par l'air, passant entre les éléments en tôle du luminaire, est par ailleurs gênant.

Dans les centres commerciaux, la ventilation sert avant tout à évacuer les charges thermiques dues à l'éclairage. Il y a donc un lien direct entre une installation d'éclairage performante et le dimensionnement de l'installation de ventilation. En minimisant la puissance dégagée par l'installation d'éclairage, on économise de l'énergie électrique sur les deux tableaux.

## 4.4 COMBINAISON DES ÉCLAIRAGES NATUREL ET ARTIFICIEL

### ■ Concurrence ou complémentarité?

L'utilisation intensive de l'éclairage naturel peut entraîner une économie d'énergie importante. Pour atteindre ce but, il ne suffit pas que l'éclairage naturel soit intensif, mais aussi que l'éclairage artificiel puisse être adapté à l'offre momentanée de lumière naturelle.

### ■ Comportement de l'utilisateur

Les méthodes d'évaluation de l'utilisation de l'éclairage artificiel sont basées sur des normes ou des recommandations de niveaux d'éclairage, des règles permettant d'assurer un confort optimal ou des habitudes. On connaît pourtant mal le comportement réel des utilisateurs face à une installation d'éclairage. Une étude menée en Allemagne [11] a montré que (voir figure 4.14):

- Durant 60% de l'utilisation normale des bureaux, les luminaires sont enclenchés;
- La majorité des utilisateurs enclenchent les luminaires en arrivant au travail (c'est le service de nettoyage qui les éteint en fin de journée);

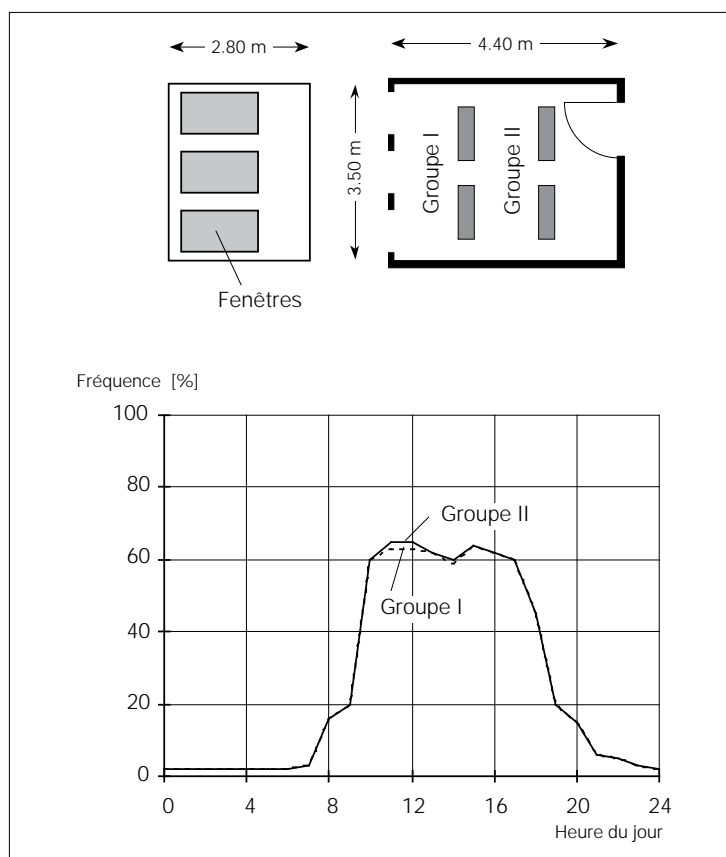


Figure 4.14: Fréquence d'utilisation de deux groupes de luminaires dans un bureau (mesures annuelles) [11]

- Aucune corrélation n'a pu être démontrée entre le niveau de l'éclairage naturel et la fréquence d'utilisation des luminaires;
- Malgré le fait que les luminaires soient regroupés en deux zones (zone fenêtre et zone fond du local), leur taux d'utilisation est identique.

Une étude menée au bâtiment LESO de l'EPFL a montré un comportement similaire [12].

Plusieurs raisons peuvent expliquer ces attitudes:

- L'indifférence face au problème de l'énergie;
- L'oubli d'éteindre une lampe, que l'on ne remarque plus (l'utilisation de luminaires basse luminance ne crée plus de point lumineux dans le champs de vision, il faut lever la tête pour apercevoir une lampe);
- Le contraste élevé entre le niveau d'éclairage naturel (2000 à 4000 Lux) et le niveau d'éclairage artificiel (300 à 500 Lux) (lorsque l'éclairage naturel prend la relève de l'éclairage artificiel, il l'occulte par son intensité beaucoup plus élevée).

Toutes ces constatations prèchent pour des systèmes de réglage automatisé.

## ■ Commande et réglage

Du simple interrupteur manuel au système, enclenchant automatiquement l'éclairage artificiel, dès qu'il détecte une présence dans un local et le dose en fonction du désir de l'utilisateur, il existe toute une gamme de modes de commande et de réglage.

Interrupteurs, minuteries, détecteurs de présence, enclenchement et déclenchement en fonction de la lumière extérieure, réglage continu en fonction de l'éclairage intérieur, réglage continu en fonction de la lumière extérieure et de comportements reconnus de l'utilisateur.

Même sans un réglage automatisé sophistiqué, une réflexion doit être menée, dans les locaux à luminaires multiples ou dans les locaux éclairés naturellement, sur la meilleure façon de regrouper les commandes des luminaires. Les utilisateurs conscients de l'économie d'énergie doivent pouvoir utiliser à bon escient les installations (figure 4.15).

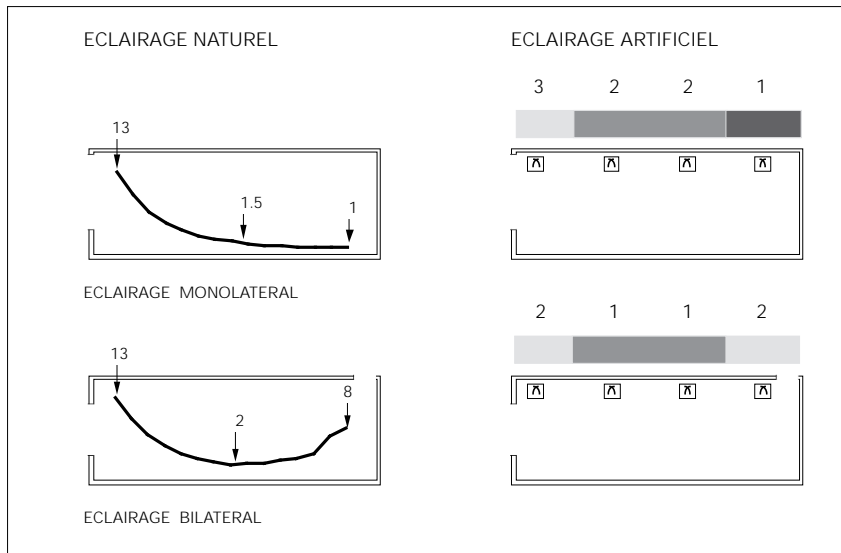


Figure 4.15: Regroupement des commandes de luminaires en fonction de l'éclairage naturel. Les chiffres de la partie gauche du diagramme représentent le Facteur de Lumière du Jour, ceux de la partie droite l'ordre d'enclenchement des luminaires [13]

La commande par minuterie est intéressante dans tous les locaux utilisés pour une courte durée et par des utilisateurs multiples: les circulations (couloirs, escaliers, entrée, halls), les locaux sanitaires, les dépôts, les stockages. Ce type de commande tend actuellement à être remplacé par des détecteurs de présence.

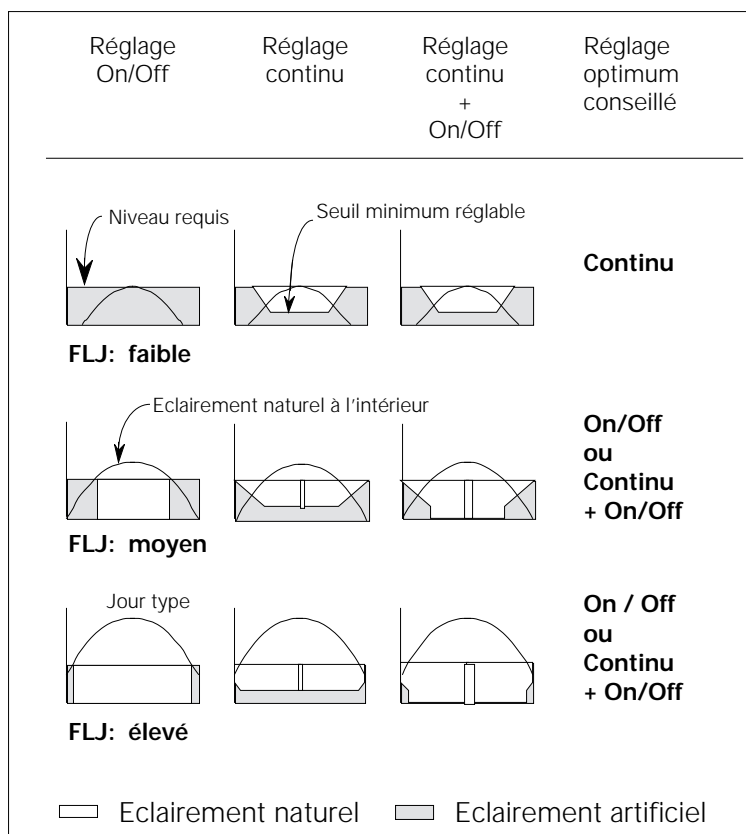


Figure 4.16: Réglage optimal en fonction de l'éclairage naturel et du type de local (facteur de lumière du Jour) [14]



## ■ Choix d'un système de commande

La figure 4.16 donne, pour trois niveaux de facteur de lumière du jour, le choix du réglage optimal.

Dans les locaux caractérisés par un éclairage naturel important, un système de déclenchement automatique en fonction de l'éclairage extérieur est suffisant. Même par ciel couvert, le niveau naturel permet d'assurer l'éclairage du local: l'éclairage artificiel n'est utilisé qu'en début et en fin de journée.

A l'inverse, dans les locaux à faible niveau d'éclairage naturel, l'éclairage artificiel doit toujours assurer un appoint: un dosage fin de cet appoint (réglage continu) peut seul apporter une économie d'énergie.

Le problème de base est qu'actuellement, l'expérience de l'efficacité réelle de tels systèmes de réglage manque. Une meilleure évaluation des réalisations menées à bien est nécessaire.

## ■ Économie d'énergie

Quelques règles de base, à respecter en cas d'utilisation intensive de l'éclairage naturel et permettant d'économiser l'énergie, peuvent être énoncées:

- **L'éclairage naturel doit être suffisant.**
- **La surface de fenêtre doit être optimisée.**  
Étant un point faible de l'enveloppe d'un bâtiment, minimiser sa surface entraîne, en hiver, une consommation plus faible de chaleur; en été, moins de surchauffes ou moins de consommation d'énergie due au refroidissement des locaux.
- **L'éclairage naturel doit être uniforme.**  
Toutes les zones utilisées d'un local doivent jouir d'un bon éclairage naturel. Cette uniformité évitera un usage excessif de l'éclairage artificiel pour compenser un manque éventuel d'uniformité ou un niveau d'éclairement trop faible des zones défavorisées.
- **L'éblouissement dû aux fenêtres doit être maîtrisé.**  
Des situations d'inconfort visuel provoquent l'utilisation des protections solaires et un usage excessif de l'éclairage artificiel.
- **Un local doit réagir aux variations de l'éclairement extérieur.**  
On ne peut pas demander à l'utilisateur un maniement fréquent des protections solaires.

Rappelons enfin que le taux d'utilisation de l'éclairage artificiel est très sensible au facteur de lumière du jour. Passer d'un facteur de 1% à un facteur de 2% réduit la durée annuelle d'enclenchement de l'éclairage artificiel de 60 à 38%, soit une économie d'énergie de près de 40%.

Il est plus important, du point de vue de l'économie d'énergie, d'augmenter le niveau de l'éclairage naturel des zones peu éclairées (fond d'un local, par exemple) que celui des zones déjà fortement éclairées (façade). L'économie d'énergie est plus fortement liée à une bonne uniformité de l'éclairage naturel qu'à une élévation générale du niveau d'éclairement.

Un assainissement ou une amélioration énergétique d'une installation d'éclairage artificiel revient dans presque tous les cas à remplacer cette installation; le vieillissement rapide des luminaires et l'évolution accélérée de la technologie de l'éclairage condamnent tout investissement de rénovation partielle d'une installation de plus de dix ans.



## BIBLIOGRAPHIE

- [1] C. Weinmann, Elektrowatt  
«SIA 380/4, Rapport Surfaces de vente», 1991
- [2] T.Baumgartner, P.Chuard, B.Wick  
«Energiegerechte Schulbauten, Handbuch für Planer», SIA  
D090, 1992
- [3] Sorane SA  
«Conception énergétique de la deuxième étape de l'EPF à Lau-  
sanne», Résumé, 1985
- [4] H.P.Eicher, Pauli  
«Elektroenergieverbrauch von Betriebseinrichtungen»,  
Ravel Untersuchungsprojekt Nr 32.51, 1992
- [5] H.P.Eicher, M.Stalder  
«Interne Lasten und Ihre Auswirkungen für die passive Sonnene-  
nergienutzung», HBT-BEW 1990
- [6] C.Erikson, J.B.Gay, N.Morel  
«Influence de la fenêtre sur le bilan énergétique d'une construc-  
tion», IEA annex XII, EPFL 1986
- [7] Institut Suisse du Verre dans le bâtiment  
«Docuverre Vitrages réfléchissants et absorbants», 1981
- [8] E.Sälzer, U.Gothe  
«Bauphysik-Taschenbuch», 1986
- [9] D.Aiulfi  
«Étude de ventilation naturelle pour un concours d'architecture»,  
Sorane Lausanne 1991
- [10] C.A.Roulet, N.Kohler, P.Chuard  
«Aération des bâtiments», Programme d'impulsion, EPFL 1989
- [11] M.Szerman  
«Manuelle Tageslichtnutzung in Büroräumen», CISBAT'91, EPFL  
1991
- [12] J.L.Scartezzini, F.Bottazzi, M.Nygaard-Ferguson  
«Application des méthodes stochastiques: dimensionnement et  
régulation», EPFL 1989
- [13] D.Chuard  
«L'éclairage dans les écoles», Utilisation rationnelle de l'énergie  
dans les écoles, à paraître en 1993
- [14] F.Moore  
«Concepts and Practice of Architectural Daylighting», 1985





5. STRATÉGIE DU PROJET D'ÉCLAIRAGE	75
■ 5.1 Données de base du projet	75
■ 5.2 Utilisation du bâtiment	78
■ 5.3 Coûts financiers	83





## 5. STRATÉGIE DU PROJET D'ÉCLAIRAGE

Ce chapitre ne prétend pas donner de «recette miracle» à ses lecteurs, en leur fournissant une méthode «infaillible» pour réaliser un bon projet d'éclairage. Son objectif est de passer en revue un certain nombre de critères de décision, en examinant leurs implications au niveau de l'éclairage. La plupart de ces critères intéressent le projet d'architecture dans sa globalité; ils sont donc sans doute déjà familiers aux concepteurs (voir figure 5.7).

Il convient de bien analyser la demande du client, afin de percevoir nettement la marge de manœuvre dont le concepteur va bénéficier. Dans le but d'accélérer les prises de décisions, il s'agit de faire préciser au client ses desiderata en ce qui concerne les points suivants.

### 5.1 DONNÉES DE BASE DU PROJET

#### ■ Quelle «image» pour le projet?

Un bâtiment reflète souvent la «culture» de celui qui l'habite. Son éclairage aussi reflète souvent sa vie propre et sa manière de fonctionner.

#### Éclairage naturel

La prise en charge de la lumière naturelle influe directement sur la «forme» du bâtiment (orientation, organisation). Elle implique souvent la mise en œuvre de «systèmes» (captation, protection, etc), ayant un impact visuel conséquent sur l'aspect extérieur du bâtiment. L'image d'un bâtiment qui s'adapte à son environnement, et qui «réagit» au milieu qui l'accueille, est une image «valorisante» qui doit pouvoir être mieux exploitée dans le contexte actuel (sensibilité grandissante aux problèmes de l'environnement).



Figure 5.1: Bâtiment éclairé par la lumière naturelle (Gateway Two Building, Londres)



## Éclairage artificiel

- «Vie diurne»:

Les hiérarchies lumineuses créées au sein d'un bâtiment, la couleur de la lumière disponible, mais aussi la façon selon laquelle sont gérés les allumages, etc, tous ces éléments caractérisent un lieu et lui donnent une image intimement liée à son fonctionnement. L'éclairage artificiel peut être utilisé comme un «vecteur», porteur d'un état d'esprit propre au bâtiment concerné.

- «Vie nocturne»:

La lumière est le premier élément de la mise en valeur d'un objet, d'une scène, ou d'une situation. Il est important de bien percevoir toutes les possibilités de faire dialoguer les espaces intérieurs entre eux, mais aussi de mettre en scène un bâtiment, de le révéler au public, de le faire dialoguer avec son environnement.



Figure 5.2: Mise en valeur nocturne du palais fédéral, Berne

La mise en valeur nocturne des bâtiments ne doit pas nécessairement faire appel à une «débauche» de lumière. On préférera souligner ponctuellement quelques éléments architecturaux significatifs, plutôt que d'illuminer les façades dans leur ensemble.

## ■ Quelle motivation du maître d'ouvrage vis-à-vis de l'énergie?

Dans quelle mesure le maître d'ouvrage est-il motivé par une politique de limitation de la consommation énergétique du bâtiment?

Il est important de rappeler que dans la poursuite d'un objectif de stabilisation de la consommation d'électricité, le potentiel le plus facile à mettre en œuvre à court terme, réside en Suisse dans les économies d'énergie.

Les économies d'énergie représentent à ce titre, la source la plus importante «d'énergie renouvelable».



### Réduction des coûts d'exploitation

Les gains au niveau financier peuvent être importants, puisque dans certaines opérations de rénovation d'installations d'éclairage, on a pu constater des temps de retour de l'investissement inférieurs à cinq ans. L'opération est donc «tout bénéfice» au delà de cette limite.

### Amélioration de l'image de marque

Parmi les bénéfices secondaires procurés par une politique volontariste de maîtrise des dépenses énergétiques, l'amélioration de l'image de marque se situe en bonne place.

Aujourd'hui en effet, les préoccupations liées à la protection de l'environnement sont dans tous les esprits: une gestion rigoureuse de l'énergie procède de cette tendance.

## ■ Quelle durée de vie pour le projet?

La durée de vie d'un bâtiment influe directement sur le niveau de complexité des systèmes d'éclairage à mettre en œuvre. Au moment de décider d'une stratégie concernant l'éclairage, il convient de s'assurer d'un certain nombre de points:

- Le temps de retour des investissement consentis ne doit pas dépasser la durée de vie prévisible des installations;
- L'utilisation de l'installation ne doit pas nécessiter une période «d'apprentissage» et de réglage déraisonnable;
- La durée de vie des matériaux et des systèmes mis en œuvre doit correspondre à celle du bâtiment.

## ■ Quel site, quelle implantation?



Figure 5.3: Masque produit par l'environnement (photo œil-de-poisson)



Le site dans lequel s'inscrit le bâtiment, détermine les potentialités du gisement de lumière naturelle. Il convient donc de réunir les informations suivantes:

### **Climat**

- Nombre d'heures d'ensoleillement;
- Couverture nuageuse;
- Masques produits par l'environnement:
- Influence sur l'ensoleillement;
- Influence sur les vues;
- Reflets éventuels (eau, bâtiments, etc);
- Nuisances dues à l'environnement:
- Bruit (influence sur la taille des vitrages)
- Pollution de l'air (problèmes de maintenance).

### **Contraintes légales**

Recensement des contraintes relatives à l'implantation sur le terrain (règlements d'urbanisme, droit des tiers, etc).

## 5.2 UTILISATION DU BATIMENT

### ■ **Quels besoins lumineux?**

La connaissance des activités pratiquées dans un bâtiment est à la base de la détermination des besoins lumineux de l'utilisateur.

#### **Niveaux d'éclairage**

A chaque activité peut être associé un niveau d'éclairage «recommandé». En simplifiant, on distingue quatre gammes de niveau d'éclairage, qui sont liées à la précision de la tâche à effectuer:

- Travaux «grossiers»:  
(orientation, circulation, stockage),  
> Moins de 100 Lux <
- Travaux courants:  
(lecture, écriture, écran informatique)  
> De 300 à 500 Lux <
- Travaux délicats:  
(dessin, contrôle de qualité )  
> De 500 à 1000 Lux<
- Travaux très délicats:  
(pièces de petite dimension, contrôle des couleurs)  
> Plus de 1000 lux <

Pour plus de précision concernant ces recommandations, on pourra se référer aux directives éditées par l'Association Suisse des Électriciens [1].



## Exemple: local

On peut distinguer trois sortes d'activités nécessitant chacune un niveau d'éclairage spécifique:

- Lecture, écriture, travail sur écran (300 - 500 Lux sur le plan de travail).
- Réunions, discussions (300 Lux).
- Rangement sur des étagères (100 Lux sur plan vertical).

Il est inutile de dimensionner l'installation d'éclairage en fonction de l'activité la plus «gourmande» (fournir 500 Lux sur toute la surface du local). On peut, par exemple, envisager de fournir un niveau moyen de 300 Lux, sur une zone centrée sur le plan de travail, tout en accentuant l'éclairage de ce même plan en certains points (éclairage à la tâche). Les étagères de rangement, situées en périphérie, disposent alors de la lumière réfléchi par les diverses parois du local.

## Obscurcissement

A ces quatre gammes de niveaux d'éclairage, on peut en ajouter une cinquième, qui correspond à l'obscurcissement nécessité par l'utilisation de moyens audiovisuels (projecteur de diapositives et rétroprojecteur).

Dans ce cas, on recommandera un éclairage moyen inférieur à 20 Lux.

Cette possibilité influe sur le choix du système d'occultation à mettre en œuvre (possibilité d'occultation totale), ainsi que sur le type et la position des commandes de l'installation d'éclairage artificiel.



Figure 5.4: Eclairage caractéristique d'un Musée des Beaux-Arts du XIX<sup>e</sup> siècle (Copenhague, Danemark).



### **Fragilité des objets à la lumière**

L'exposition des objets à la lumière, se traduit par une dégradation plus ou moins prononcée des couleurs, des pigments et des vernis (effet photochimique). Les dommages causés sont proportionnels à la quantité de lumière reçue et à la durée d'exposition. Ces effets négatifs, ne sont pas uniquement dus au rayonnement ultraviolet, mais à tout le spectre de la lumière visible.

Ce phénomène doit être pris en compte à chaque fois que l'on « expose » des objets, que ce soit à des fins commerciales ou dans le cadre de musées [2].

### **Homogénéité des éclairagements**

La diversité des niveaux d'éclairage au sein d'un local est souvent vécue comme un élément dynamisant. La présence de déséquilibres lumineux permet en effet de souligner certains traits de l'architecture, de créer des hiérarchies et de rendre l'espace plus attractif.

Les préoccupations liées aux économies d'énergie vont dans le même sens.

## **■ Quels utilisateurs?**

La nature des utilisateurs d'un lieu, conditionne le fonctionnement de celui-ci, et de ses équipements.

### **Âge des utilisateurs**

Cette variable influe directement sur les niveaux d'éclairage nécessaires.

On sait, par exemple, que plus l'observateur est âgé, plus ses besoins en lumière sont importants. De même, concernant les enfants, on préconisera des niveaux d'éclairage élevés et un très bon indice de rendu des couleurs (lutte contre l'échec scolaire).

### **Utilisateurs permanents**

Un utilisateur permanent est susceptible de développer un certain nombre d'habitudes tendant à rationaliser son environnement. Il est capable, par exemple, de s'investir dans le fonctionnement d'un système d'éclairage et d'apprendre à l'utiliser au mieux.

Dans les locaux destinés à des usagers « stables », on pourra donc prévoir des systèmes de commandes manuels, quitte à fournir une information spécifique sur l'usage optimal de ces commandes.

### **Utilisateurs occasionnels**

A l'opposé, un utilisateur occasionnel ne peut se permettre de passer du temps à comprendre comment fonctionne son environnement. On ne peut donc lui demander d'intervenir pour régler son éclairage.

Dans les locaux destinés à recevoir de multiples usagers, on aura donc avantage à automatiser le contrôle de l'éclairage.

## **■ Quelle durée d'utilisation?**

La majeure partie des troubles visuels, associés à l'accomplissement d'une tâche, sont liés à la durée pendant laquelle cette tâche est pratiquée.



Certaines ambiances lumineuses sont en effet ressenties, au premier abord, comme très agréables, alors qu'elles se révèlent difficile à supporter pendant toute une journée de travail.

On veillera donc à accorder la qualité et la quantité de lumière disponible, dans un local considéré, à la durée d'utilisation de celui-ci par les mêmes utilisateurs.



Figure 5.5: Salle de classe éclairée par la lumière du jour (Collège des Pâles, Pully)

### Exemple: local abritant un photocopieur en libre-service

L'utilisateur de ce local peut fort bien être continue tout au long de la journée (succession d'usagers).

En revanche, chacun des usagers, sauf exception, séjourne rarement plus d'un quart d'heure dans ce local. Si ces usagers bénéficient par ailleurs de bonnes conditions d'éclairage naturel dans leurs bureaux respectifs, on pourra par exemple admettre qu'ils aient un moindre besoin de lumière naturelle lorsqu'ils vont reproduire un document.

### ■ Quelles périodes de fonctionnement?

La connaissance des périodes de fonctionnement d'un bâtiment est déterminante, quant à la stratégie à développer en matière d'éclairage.

#### Horaires

### Exemple: une école

La prestation en éclairage peut-être définie en fonction des horaires des cours, c'est-à-dire en intégrant le fait qu'avant 8 heures, et après 17 heures, par exemple, le bâtiment ne reçoit pas d'élèves. Cette période permet de prévoir une contribution substantielle de la lumière naturelle dans la prestation d'éclairage «standard» (coïncidence avec la durée du jour).





Ceci ne signifie pas pour autant que le bâtiment est inoccupé en dehors de ces horaires (réunions du corps professoral et administratif, réunions de parents d'élèves, présence du personnel d'entretien, etc).

Il est néanmoins possible de considérer cette présence comme «marginale». Si l'on établit une hiérarchie des besoins lumineux, on parlera alors de besoins «secondaires».

Les installations d'éclairage supposées répondre à ces besoins devront en tenir compte. Il est inutile en effet, de prévoir une installation «hypersophistiquée», si celle-ci ne doit fonctionner qu'une ou deux heures par jour. On risque de se trouver alors face à un temps de retour de l'investissement disproportionné.

### Saisons

Les périodes des vacances scolaires correspondent de même, dans une école, à une inoccupation des locaux. Durant cette période, on devra s'assurer que le bâtiment «livré à lui-même» pourra fonctionner sans dommages (surchauffes), tout en tenant compte du fait que la notion de confort est abandonnée pendant cette période.

## ■ Quel mobilier, quels équipements?

La présence d'équipements spécifiques au bâtiment, influe sur la gestion de l'éclairage.

### Présence de mobilier

Le type de mobilier, ainsi que la façon dont celui-ci est disposé peuvent avoir de grosses répercussions sur la distribution de la lumière.

Les rayonnages d'une bibliothèque, par exemple, suivant qu'ils sont disposés perpendiculairement, ou parallèlement aux ouvertures en façade, vont laisser pénétrer la lumière en profondeur dans le local, ou au contraire se comporter comme une barrière physique empêchant le passage de la lumière.

### Présence de machines

Certains équipements ou machines ne supportent pas d'être exposés au soleil direct, soit pour des raisons thermiques (unité de production de froid dans les grandes surfaces de vente, par exemple), soit pour des raisons de confort visuel (machines-outils: problèmes d'éblouissements dus aux reflets sur les parties métalliques pouvant entraîner des accidents de travail).

Par ailleurs, il est important de tenir compte des éventuelles salissures internes provenant des machines, afin d'intégrer leurs répercussions au niveau du salissement ou de la dégradation des systèmes d'éclairage.

## ■ Quelle flexibilité?

Il est important de poser le problème de l'évolution de l'utilisation d'un bâtiment dans le temps, et donc de sa flexibilité.

### Lumière naturelle

Au cours d'une réorganisation interne il est possible que l'on soit conduit à déplacer une cloison intérieure, de façon à la positionner à



l'emplacement d'une ouverture existante. Le raccordement se fera alors de préférence au niveau d'un élément de menuiserie existant, afin de ne pas «couper» un vitrage en deux. Le rythme, et les séquences, selon lesquels sont organisés les vitrages, doivent permettre cette opportunité.

On s'abstiendra lors de ces opérations de réorganisations, de placer des éléments de cloisons parallèlement aux ouvertures, pour éviter autant que possible une réduction de la pénétration de lumière du jour en profondeur.

### Lumière artificielle

De même, l'emplacement des luminaires devra prendre en compte les éventuelles partitions pouvant être opérée dans le temps, afin de les rendre plus simples. Cela concerne aussi l'orientation de ces luminaires (parallèles aux fenêtres), ainsi que leurs commandes d'enclenchement (zoning).

## 5.3 COÛTS FINANCIERS

### ■ Quels investissements?

Avant toute chose, il est primordial de rappeler qu'un bâtiment bien éclairé, n'est pas forcément un bâtiment coûteux.

#### Éclairage naturel

La majeure partie des problèmes posés par la maîtrise de la lumière naturelle, peuvent être résolus avec des procédés et des éléments constructifs courants.

#### Éclairage artificiel

Une installation d'éclairage artificiel performante repose avant tout sur l'adéquation entre le matériel mis en œuvre et la façon selon laquelle il est utilisé.



Figure 5.6: Installation d'éclairage artificiel optimisée sur le plan de l'énergie



A ce sujet, on insistera sur le fait que, plus les problèmes d'éclairage sont abordés tôt dans le processus de conception, mieux les solutions retenues pourront s'intégrer au sein d'une réponse globale. Ceci va dans le sens d'une réduction des coûts initiaux, par le biais d'une rationalisation du projet.

### **Éclairage et thermique**

En tout état de cause, il est difficile de distinguer nettement entre éclairage et thermique.

Les investissements, consentis dans une gestion optimale de l'éclairage, auront en effet d'importantes répercussions sur le comportement thermique du bâtiment.

Les coûts relatifs à la mise en œuvre des protections solaires, peuvent, par exemple, être contrebalancés par une économie substantielle provenant de l'absence de système de climatisation.

### **■ Quels coûts de fonctionnement?**

A l'instar de beaucoup d'autres domaines, l'investissement consenti au départ dans un bâtiment, doit pouvoir être compensé par une diminution des coûts de fonctionnement. Ceci concerne aussi bien les frais de maintenance des systèmes d'éclairage, que les frais liés à la consommation d'énergie.

#### **Éclairage artificiel**

- Entretien des luminaires:

L'efficacité d'un luminaire décroît régulièrement au cours du temps, notamment en raison de son empoussièrément (ceci est particulièrement vrai dans le cas des systèmes d'éclairage indirect). Le nettoyage périodique des luminaires fait donc partie des charges à assumer.

- Remplacement des sources:

Une source lumineuse est caractérisée par son prix d'achat, son efficacité lumineuse (lumière fournie en fonction de la consommation énergétique), ainsi que de sa durée de vie.

Cette durée de vie, qui varie énormément d'une technologie à une autre, conditionne la fréquence des opérations de remplacement des lampes et entraîne des différences notables de frais de main d'œuvre. On relèvera le fait que certaines sources économes en énergie (tubes fluorescents compact, par exemple) possèdent une durée de vie plus importante que les sources conventionnelles (lampes à incandescence). La réduction substantielle des coûts de consommation énergétique s'accompagne donc, dans leur cas, par une diminution des coûts d'entretien.

#### **Éclairage naturel**

- Nettoyage des systèmes:

Une grande partie de la maîtrise de la lumière naturelle est assurée au moyen de systèmes qui réfléchissent et dévient la lumière. Cela suppose la présence d'éléments spécifiques, possédant des caractéristiques photométriques précises (facteur de réflexion élevé, brillance). L'efficacité de ces systèmes est grandement affecté par leur degré de salissure. Il est donc nécessaire de prévoir la possibilité de nettoyer facilement ces derniers.

- Durée de vie des matériaux:

Un certain nombre de matériaux dits «nouveaux» offrent des perspectives attrayantes quant à leur possibilité de jouer avec la lumière (iso-

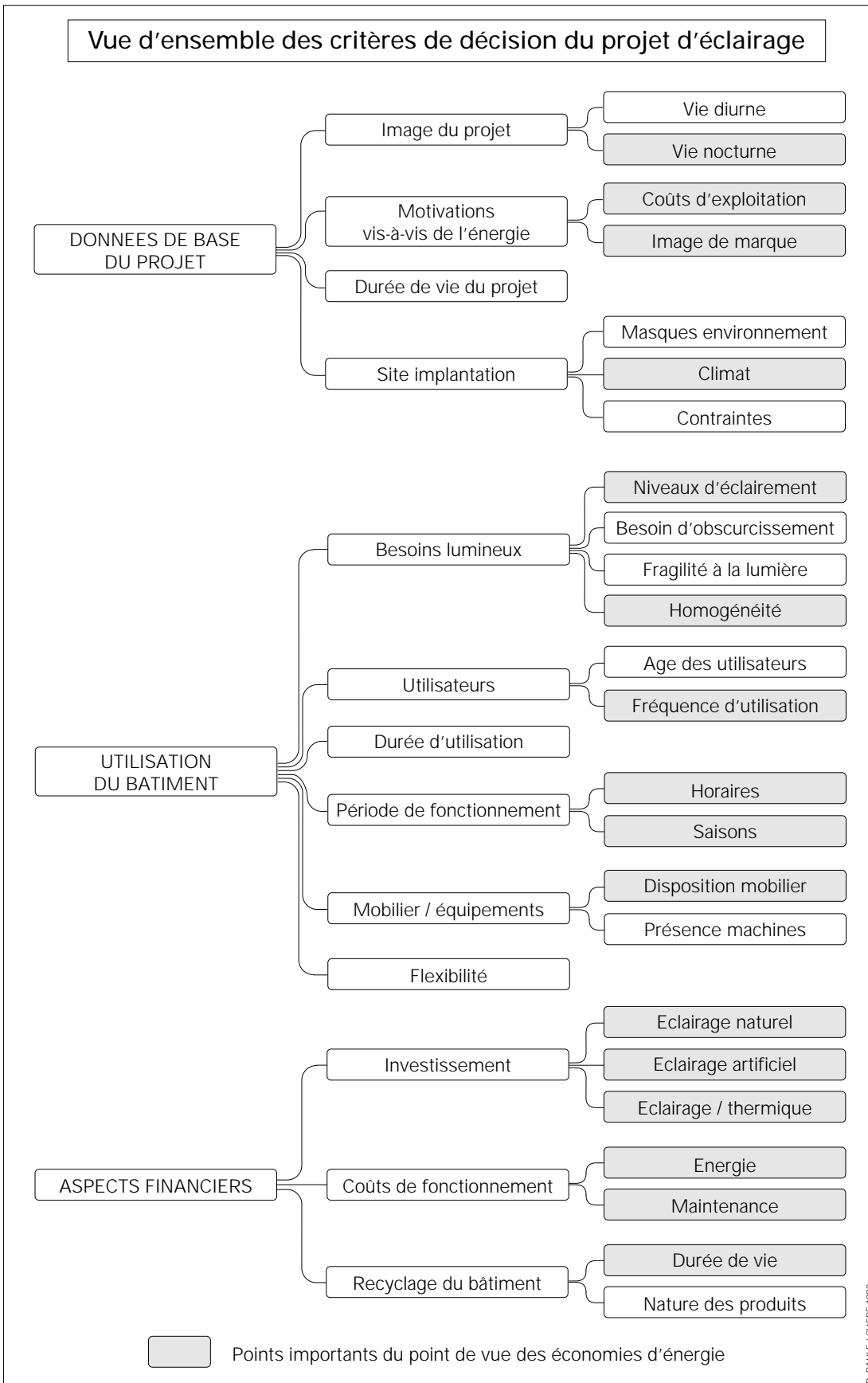


Figure 5.7: Tableau synthétique des critères de décision du projet d'éclairage.



lation transparente, films holographiques, etc). La durée de vie de ces matériaux est toutefois inconnue à l'heure actuelle. On leur préférera généralement des matériaux plus courants dont la fiabilité a été établie de longue date (verre, tôle d'aluminium, etc).

- Manipulations des systèmes:

Certains systèmes de contrôle de la lumière solaire sont conçus pour être totalement passifs (systèmes fixes), tandis que d'autres sont mobiles et s'adaptent en fonction du gisement lumineux disponible. Entre ces deux extrêmes, on trouve des solutions intermédiaires, dont la «mobilité» est réduite. C'est le cas des systèmes à deux position (hiver - été). Ceux-ci nécessitent deux manipulations par an, qui doivent être inscrites dans le planning des services d'entretien du bâtiment. On préférera généralement ce type de dispositifs, caractérisés par une faible probabilité de dysfonctionnement.

## ■ Quelles possibilités de recyclage du bâtiment?

Une gestion optimisée de l'éclairage se traduit indirectement par une diminution des quantités de déchets spéciaux produites par le bâtiment au cours de son fonctionnement, ou lors de sa démolition.

En effet, la réduction de l'utilisation de l'éclairage artificiel doit se traduire par une «consommation» moindre de lampes.

Pour chaque lampe ainsi «économisée», on évite le recyclage du gaz qu'elle renferme (iodures métalliques, sodium, vapeurs de mercure). On notera à ce sujet, que des entreprises spécialisées proposent depuis peu un service performant dans le domaine de la collecte et du recyclage des lampes usagées.

De même, chaque fois que l'on pourra éviter la mise en œuvre d'une unité de climatisation, on éliminera par la même occasion, le problème du recyclage du fréon utilisé.

Ces préoccupations, jusqu'ici considérées comme «marginales», doivent aujourd'hui être pleinement intégrées dans la stratégie globale du projet d'éclairage.

## BIBLIOGRAPHIE

- [1] Norme Suisse ASE 8912-2, 1977.
- [2] «Guide pour l'éclairage des musées, des collections particulières, et des galeries d'art», AFE, Editions LUX, Paris, 1991.
- [3] «Recommandations relatives à l'éclairage des locaux scolaires», AFE, Editions LUX, Paris, 1991.



## 6. TERMINOLOGIE

89





## 6. TERMINOLOGIE

Cette terminologie est destinée à expliciter les termes et expressions propres à la photométrie généralement inconnus du profane. Le répertoire des définitions données ici se rapporte aux termes en caractères gras du manuel.

### ■ Acuité visuelle $A [mn^{-1}]$

Mesure de la capacité de l'œil à distinguer des objets de petite taille. L'acuité visuelle n'est autre que l'inverse de la plus petite distance angulaire sous laquelle deux objets peuvent encore être distingués (points ou lignes par ex.). L'acuité visuelle s'exprime généralement en dixième; une acuité visuelle de 10/10 équivaut à:  $A = 1mn^{-1}$

### ■ Champ visuel $[deg]$

Étendue angulaire des directions de l'espace dans laquelle un objet peut être perçu, lorsque la tête et les yeux sont immobiles. On distingue les champs visuels monoculaire et binoculaire.

### ■ Contraste de luminances $C [-], C = \frac{L-L_0}{L_0}$

Quotient de la différence, entre la luminance  $L[cd/m^2]$  et une luminance de référence  $L_0[cd/m^2]$ , par la luminance  $L_0$ .

### ■ Courbe de sensibilité spectrale $V(\lambda)$

Courbe proportionnelle à la sensation de luminosité provoquée par des rayons de longueurs d'ondes différentes, mais de même puissance. Le maximum de cette courbe ( $\lambda_{max} = 555 \text{ nm}$ ) correspond à la couleur jaune vert, qui est la mieux perçue par l'œil humain.

### ■ Éclairement $E [lx], E = \frac{d\phi}{dS}$

Flux lumineux  $d\phi [lm]$  reçu par unité de surface  $dS[m^2]$ . L'éclairement se mesure en Lux.

### ■ Efficacité lumineuse $\eta [-], \eta = \frac{\phi}{\phi_e}$

Quotient du flux lumineux  $\phi[lm]$ , propre à un rayonnement électromagnétique, par le flux d'énergie  $\phi_e[W]$  de ce même rayonnement. Dans le cas d'une source, on remplace le flux d'énergie par la puissance électrique consommée.

## ■ Ergorama

Domaine du champ visuel, dans lequel est perçue la forme des objets. L'ergorama couvre un champ de  $2 \times 30^\circ$ , centré autour de l'axe de vision.

## ■ Facteur de lumière du jour $D$ [%], $D = \frac{E_i}{E_h}$

Quotient de l'éclairement  $E_i$ [lx] dû à la lumière naturelle en un point d'un local, par l'éclairement horizontal extérieur simultané  $E_h$ [lx]. Le facteur de lumière du jour s'exprime généralement en pour cents.

## ■ Facteur de réflexion $\rho$ [-], $\rho = \frac{\phi_r}{\phi_i}$

Quotient du flux lumineux  $\phi_r$ [lm], réfléchi par un matériau, par le flux incident  $\phi_i$ [lm]. On distingue le facteur de réflexion spéculaire (partie de la lumière réfléchie spéculairement) du facteur de réflexion diffuse (partie de la lumière réfléchie de manière diffuse).

## ■ Facteur de transmission $\tau$ [-], $\tau = \frac{\phi_t}{\phi_i}$

Quotient du flux lumineux  $\phi_t$ [lm], transmis par un matériau, par le flux incident  $\phi_i$ [lm]. On distingue le facteur de transmission régulière (partie de la lumière transmise régulièrement) du facteur de transmission diffuse (partie de la lumière transmise de manière diffuse).

## ■ Facteur d'utilisation $F_u$ [-], $F_u = \frac{\phi_r}{\phi_S}$

Quotient du flux lumineux  $\phi_r$  [lm], reçu par une surface de référence (surface de travail), par la somme des flux émis par l'ensemble des sources  $\phi_S = \sum_S \phi_S$ .

Le facteur d'utilisation est le produit du rendement des luminaires et de l'utilité de l'installation d'éclairage ( $F_u = \eta_l \cdot U$ ).

## ■ Flux lumineux $\phi$ [lm], $\phi = 683 \cdot \int V(\lambda) \phi_e(\lambda) d\lambda$

Quantité de lumière émise par unité de temps. Le flux lumineux  $\phi$ , caractéristique d'un rayonnement électromagnétique, est lié au flux d'énergie  $\phi_e$ [W] propre à ce même rayonnement, par le biais de la courbe de sensibilité spectrale de l'œil  $V(\lambda)$ . Le flux lumineux s'exprime en Lumens.





## ■ Fovéa

Région de la rétine caractérisée par une sensibilité maximale à la lumière. La fovéa correspond au champ central de la vision.

## ■ Indice de rendu des couleurs $Ra [-]$

Grandeur indiquant la capacité d'une source de lumière artificielle à «rendre» les couleurs de la même manière qu'une source de référence. La source de référence n'est autre que le corps noir, jusqu'à une température de 5000 K, et la lumière naturelle au-delà. L'indice de rendu des couleurs est compris entre 0 et 100; la valeur correspondant à la source de référence est de 100.

## ■ Intensité lumineuse $I [cd], I = \frac{d\phi}{d\Omega}$

Flux lumineux  $d\phi$  [lm], émis par une source par unité d'angle solide  $d\Omega$  [sr] dans une direction donnée. L'intensité lumineuse se mesure en Candelas.

## ■ Indice de vitrage $i_v [\%]$

Quotient de la surface nette de vitrage d'un local (cadre non compris) par la surface au sol.

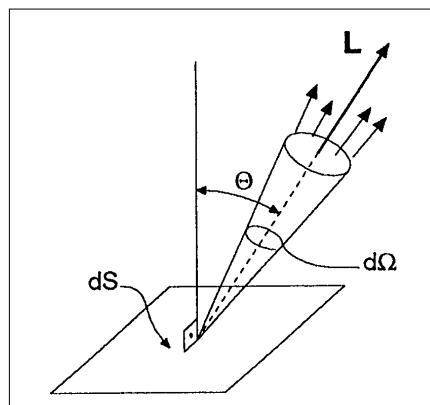
## ■ Indice d'ouverture $i_o [\%]$

Quotient de la surface totale d'ouverture d'un local (y.c. les cadres) par la surface au sol.

## ■ Luminance $L \left[ \frac{cd}{m^2} \right], L = \frac{d^2\phi}{d\Omega dS \cos\theta}$

Quotient du flux lumineux  $d\phi$  [lm], émis ou réfléchi par unité de surface  $dS$  [m<sup>2</sup>] d'un matériau, dans une direction définie par un cône élémentaire, par le produit de l'élément d'angle solide  $d\Omega$  [sr] correspondant et de la surface apparente de l'élément de surface  $dS$ .

La luminance est définie en un point de la surface d'une source ou d'un matériau et pour une direction donnée. Elle s'exprime en Candelas/m<sup>2</sup>.





## ■ Nébulosité

Grandeur décrivant la portion du ciel couverte par les nuages. Elle s'exprime le plus souvent en octième (nombre compris entre 1 et 8); un octième correspond à 1/8<sup>e</sup> de ciel.

## ■ Panorama

Domaine du champ visuel dans lequel n'est perçu que le mouvement des objets. Le panorama couvre un champ de 2 x 60° centré autour de l'axe de vision.

## ■ Rendement d'un luminaire

$$\eta [-], \eta_l = \frac{\phi_l}{\phi_s}$$

Quotient du flux lumineux  $\phi_l$  [lm], émis par un luminaire, par le flux  $\phi_s$  [lm] émis par la source.

## ■ Spectre visible

Partie du rayonnement électromagnétique, désigné par lumière, qui provoque une sensation visuelle. Les longueurs d'onde comprises entre 380 et 700 nm font partie du spectre visible.

## ■ Température de couleur

$$T_C [K]$$

Température absolue d'un corps noir émettant un rayonnement de même caractéristique chromatique que celui considéré. La température de couleur s'exprime en Kelvin; le soleil émet un rayonnement d'une température de couleur de 5700 K.

## ■ Utilance

$$U [-], U = \frac{\phi_r}{\phi_L}$$

Quotient du flux lumineux  $\phi_r$  [lm], reçu par une surface de référence (surface de travail), par la somme des flux émis par l'ensemble des luminaires  $\phi_L = \sum_i \phi_i$ .

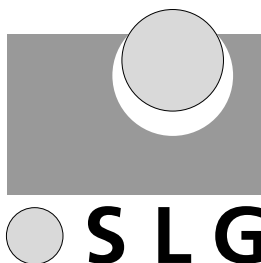
# Associations de soutien

## ASE

Association suisse  
des électriciens

## Sia

Société suisse  
des Ingénieurs et des Architectes



Association suisse de l'éclairage



Union technique suisse