

## 1. ECLAIREMENT

Définition

Formules

Ordres de grandeur

## 2. LUMINANCE

Définitions et formules

Ordres de grandeur

Notion de contraste

## 3. DES OUTILS POUR LE PROJET

Des outils réglementaires

Des outils de calcul

Des outils de mesure

### Rappels photométrie

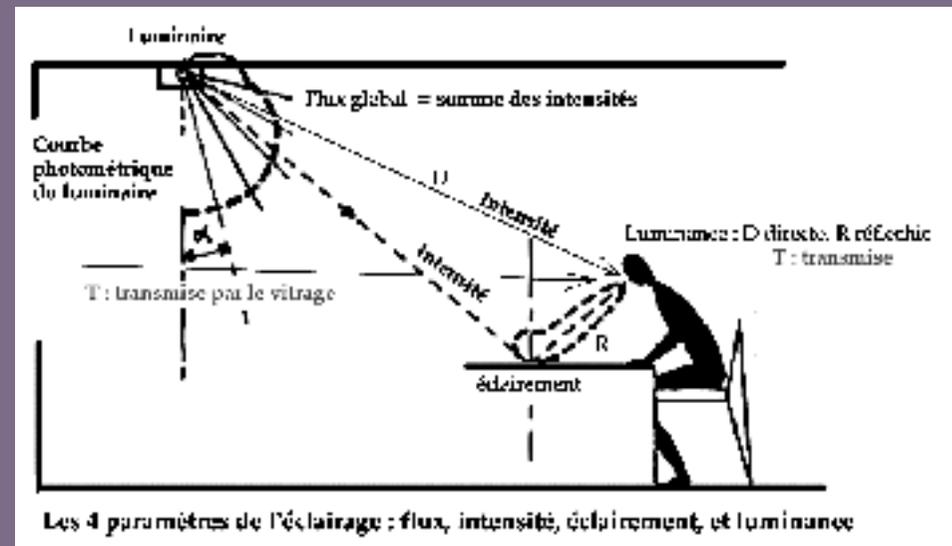
La photométrie permet d'évaluer quantitativement les performances d'un éclairage ; elle est un domaine de la physique appliquée, dédié à la mesure du rayonnement visible.

Les unités utilisées en photométrie sont dérivées des unités utilisées en physique. La base de ces unités est la courbe de sensibilité spectrale de « l'observateur de référence CIE » (Commission Internationale de l'Eclairage)

### Grandeurs photométriques

Les grandeurs photométriques sont :

- le flux, en lumen (lm), symbole :  $\phi$  ou F
- l'intensité, en candela (cd), symbole : I
- l'éclairement, en lux (lx), symbole : E
- la luminance, en cd/m<sup>2</sup>, symbole : L



## 1. ECLAIREMENT 1.1 définition

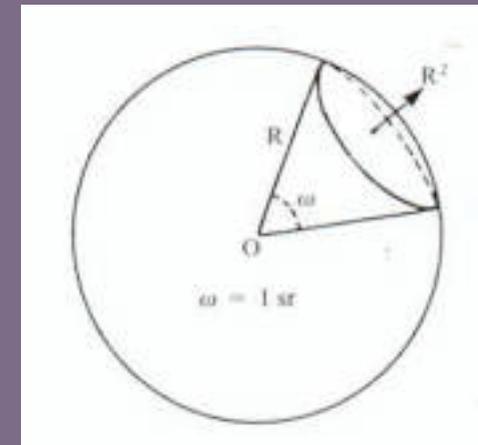
L'éclairement représente la densité de flux lumineux reçu par une surface. L'éclairement s'exprime en lux (lx).

Formule générale :

$$E = \phi / S \text{ en lx}$$

1 lux correspond à un éclairement de 1 lm / m<sup>2</sup>, c'est-à-dire à :  
l'éclairement reçu par la calotte sphérique (surface S) que découpe, sur une sphère d'1m de rayon (R), "l'enveloppe" d'un flux de 1 lm uniformément réparti dans un angle solide d'1 sr.  
Selon la définition de l'angle solide unité,  $S = R^2$ , soit 1m<sup>2</sup>.

Si la sphère a un rayon de 0,5m,  $S = 0,25 \text{ m}^2$  ; si elle a un rayon de 3 m,  $S = 9\text{m}^2$ . Le même flux reçu par ces surfaces de plus en plus grandes sera donc de moins en moins dense.



Source : AFE

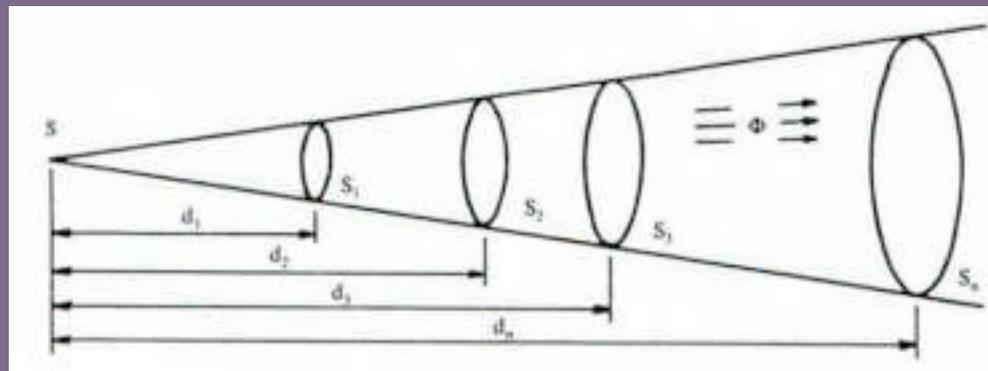
## 1. ECLAIREMENT 1.2 Formules

### Loi de l'inverse du carré de la distance

$$E = I / d^2 \text{ en lx}$$

avec I : intensité lumineuse au point considéré

d : distance de la source au point considéré



Source : AFE

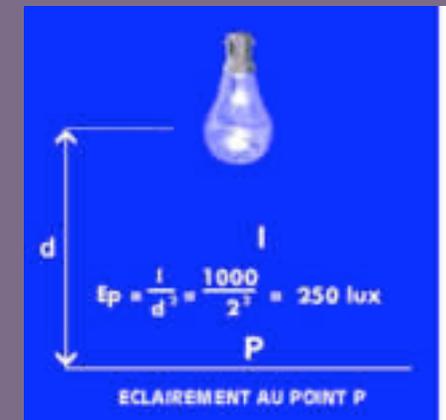
Une source S émet un flux  $\phi$  dans un angle solide  $\omega$ . Les plans  $S_n$  sont perpendiculaires à l'axe du faisceau, parallèles entre eux, de surface homothétique et sont situés à une distance  $d_n$  de S.

$$\omega = S_1 / d_1^2 = S_2 / d_2^2 = S_3 / d_3^2$$

Selon la définition générale de l'angle solide,  $\omega = S_n / d_n^2$

On peut donc écrire :  $S_n = \omega \times d_n^2$

$$\text{Donc } E = \phi / S_n = \phi / (\omega \times d_n^2) = I / d_n^2$$



Source Thorn

## 1. ECLAIREMENT 1.2 Formules

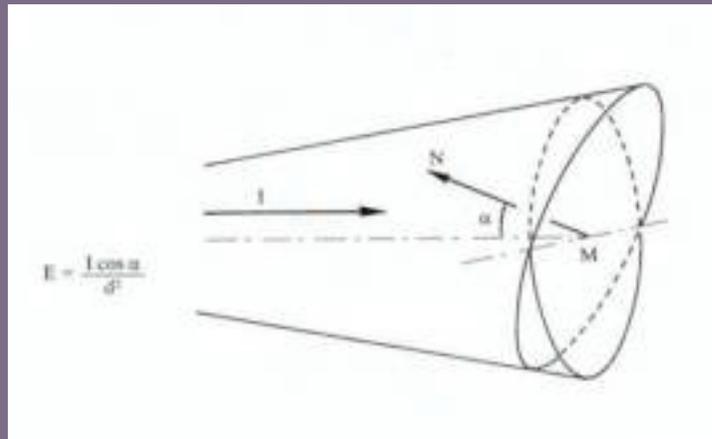
### Loi du cosinus

$$E = I / d^2 \cos \alpha \text{ en lx}$$

avec I : intensité lumineuse au point considéré (M)

d : distance de la source au point M

$\alpha$  : angle d'inclinaison de la surface éclairée



Source : AFE

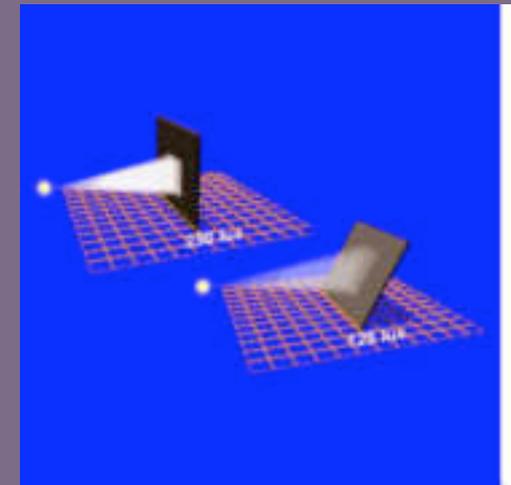
La surface réceptrice S est fonction de la surface de projection perpendiculaire à l'axe du faisceau, et de l'angle d'inclinaison  $\alpha$ .

Surface réceptrice = K x Surface de projection

si  $\alpha = 0^\circ$ , flux maxi, K = 1

si  $\alpha = 90^\circ$ , flux nul, K = 0

On utilise donc le  $\cos \alpha$  pour K



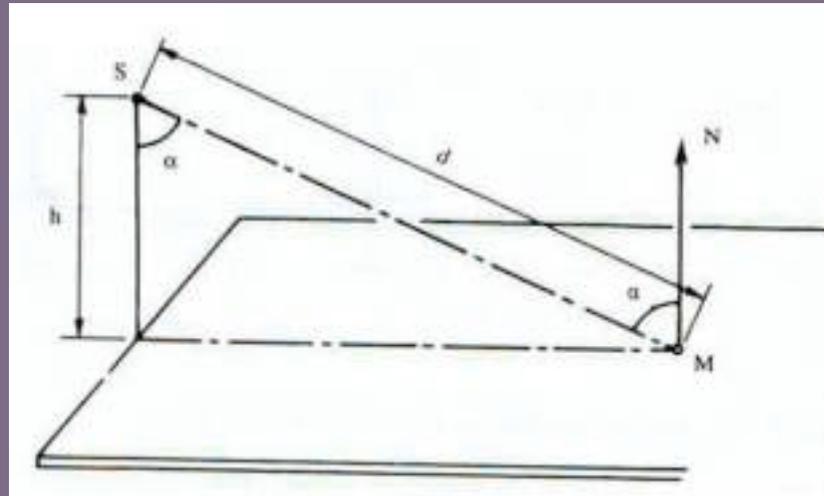
Source Thorn

Plus l'inclinaison du faisceau par rapport à la surface réceptrice est grande, moins le flux reçu par cette surface est dense.

## 1. ECLAIREMENT 1.2 Formules

Loi du cosinus

Cas particulier :  $E = I \cos \alpha^3 / h^2$  en lx



Source : AFE

On retrouve ici un triangle rectangle où :

d représente l'hypoténuse

h représente le côté adjacent

$\cos \alpha = h / d$

donc  $E = I \cos \alpha / d^2$  devient  $E = I \cos \alpha \times \cos \alpha^2 / h^2 = I \cos \alpha^3 / h^2$

### Remarques sur l'éclairage

- L'éclairage se donne toujours par rapport à une surface, horizontale (table, atelier...), verticale (mur, tableau...) ou oblique. L'éclairage n'est pas limité à des surfaces planes mais s'applique également à l'éclairage sphérique, cylindrique...
- l'éclairage est indépendant de la nature de la surface, mais dépend : de l'intensité lumineuse arrivant dans une direction donnée ; de la distance à la source et de l'inclinaison de la surface éclairée.
- Les formules sont valables pour des sources ponctuelles (valable si la distance, par rapport aux dimensions de la source, est suffisamment grande).
- Il est très difficile de comparer deux éclairages entre eux.

## 1. ECLAIREMENT 1.3 Ordres de grandeur

Sources	E (lx)
Pleine lune, ciel sans nuage	0,2
Bougie de ménage à 1m	1
Route / Rue éclairée	20 à 30
Aube, crépuscule	50
Bureau normalement éclairé	400
Eclairage horizontal extérieur	5000
- temps couvert	10 à 20 000
- beau temps	100 000
- maximum mesurable	

## 1. ECLAIREMENT

### 1.4 Mesure de l'éclairement

#### Luxmètre

L'éclairement se mesure avec un luxmètre. C'est un appareil muni d'une cellule photoélectrique (qui transforme l'énergie de rayonnement en énergie électrique). Pour que la lecture ne soit pas qu'une lecture de courant électrique (en Ampères) il est nécessaire d'interposer dans le circuit un filtre qui restitue une courbe de réponse identique à celle de l'œil humain standard. La surface de la cellule doit en outre être revêtue d'un filtre diffusant qui joue le rôle de correcteur d'incidence.

## 2. LUMINANCE

### 2.1 Définition et expression

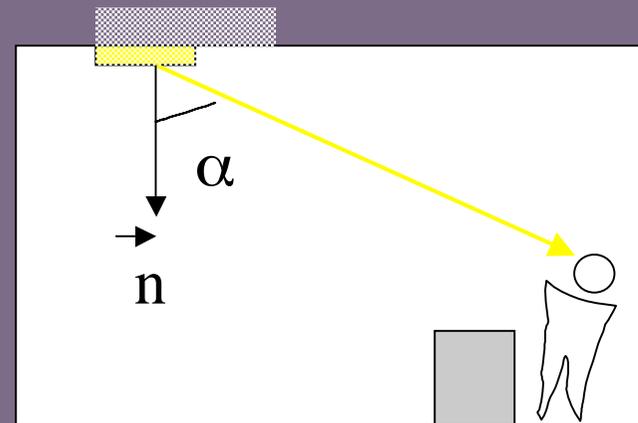
La luminance permet de quantifier l'impression lumineuse perçue par un observateur qui regarde une source. Elle s'exprime comme le rapport entre l'intensité émise en direction de l'œil et la surface apparente qui émet cette intensité. La luminance s'exprime en  $\text{cd} / \text{m}^2$ .

$$L = I / S \cos\alpha \quad \text{en } \text{cd} / \text{m}^2$$

où  $I$  : intensité lumineuse de la source

$S$  : surface réelle de la source

$\alpha$  : angle sous lequel est vue cette source

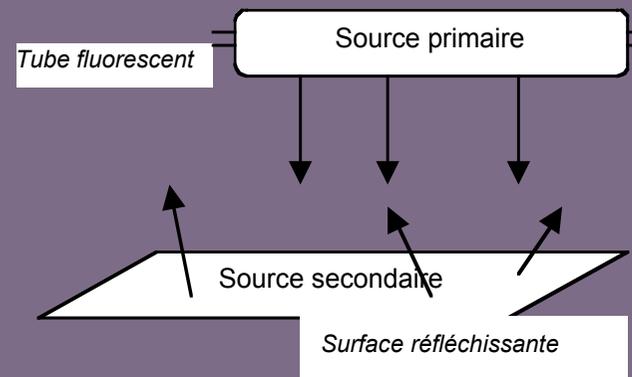


## 2. LUMINANCE

### 2.1 Définition et expression

#### Luminances primaires et luminances secondaires

Les *luminances primaires* sont causées par des sources lumineuses.  
Les *luminances secondaires* sont causées par des réflexions (sur un bureau...) ou transmission (à travers un vitrage ...).



# ECLAIREMENT et LUMINANCE

## 2. LUMINANCE

### 2.2 Ordres de grandeur

Sources primaires	L (cd/m <sup>2</sup> )
Soleil	1,6 10 <sup>9</sup>
Lampe incandescence 100W	6; 10 <sup>6</sup>
Tube fluorescent 36 W	10 000
Bougie de ménage	5000

Sources secondaires	L (cd/m <sup>2</sup> )
Lune	2500
Papier éclairé à 400 lx - blanc	100
- gris	50
Mur ou plafond d'un local	50 à 150
Chaussée normalement éclairée	1 à 2

## 2. LUMINANCE 2.3 Cas particulier

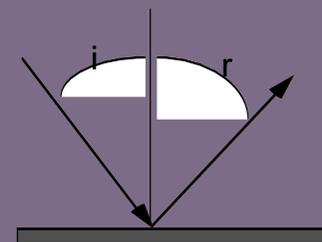
### Relation entre E et L dans le cas des surfaces diffusantes

Dans le cas des matériaux diffusants, il existe une relation simple entre éclairement et luminance :

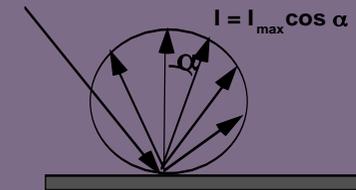
$$L = (\rho \pi) \times E \text{ en cd / m}^2$$

où  $\rho$  : facteur de réflexion de la surface diffusante  
 $\pi : 3,1416$

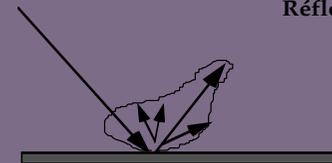
#### Comportement d'un matériau en réflexion



Loi de DESCARTES  
angle d'incidence = angle de réflexion  
**Réflexion régulière**



Loi de LAMBERT  
quelque soit l'angle d'incidence, la réflexion se fait dans toutes les directions, de façon à ce que l'extrémité des rayons réfléchis soit sur la sphère tangente au point de contact.  
**Réflexion diffuse**



Comportement d'un matériau quelconque, plus proche de la loi de Lambert que de celle de Descartes

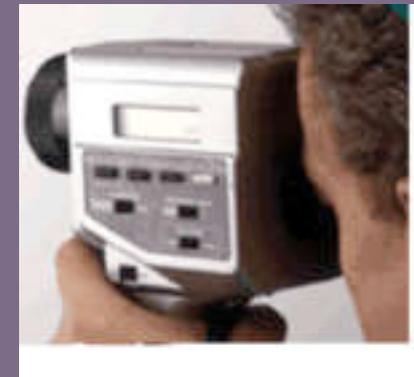
Matériaux		Peintures	claire	Moy.	Foncée
Béton clair	0,35	blanc	0,8	0,7	
Béton sombre	0,15	jaune	0,7	0,5	0,3
brique	0,2	gris	0,5	0,2	0,05
Bois sapin	0,35	bleu	0,5	0,2	0,1
vitrage	0,08	rouge	0,35	0,2	0,1

## 2. LUMINANCE

### 2.4 Mesure de la luminance

#### Luminancemètre

Un luminancemètre se présente comme une caméra. Cet appareil utilise un viseur, qui au moyen d'un jeu de miroirs (pour la visée) et d'un photomultiplicateur (pour la mesure) permet de mesurer en continu les valeurs de luminance en tout point. L'angle de visée du luminancemètre peut être très réduit ( $1^\circ$  voire moins).



### Enjeux

Le contraste -entre deux luminances- constitue un élément essentiel de notre perception.

Dans un objectif de confort visuel, on cherchera à :

- obtenir un équilibre entre les luminances présentes dans le champ visuel
- éviter l'éblouissement

*L'éblouissement perturbateur* : il se produit quand la luminance atteint des valeurs extrêmes ou quand le contraste devient trop important ; il entraîne une perte momentanée de la vision.

*L'éblouissement inconfortable* : il entraîne une diminution de la performance visuelle sans atteindre le seuil de la douleur. Cet éblouissement est exprimable par le contraste.

Première expression du contraste

$$C = L_o - L_f / L_f$$

où  $L_o$  : luminance de l'objet observé  
 $L_f$  : luminance de fond sur lequel  
l'objet est observé

Si  $L_o < L_f$ , on parle de  
*contraste négatif*

Si  $L_o > L_f$ , on parle de  
*contraste positif*

**Plus le contraste est faible,  
plus l'éclairage doit être important.**

**Plus le contraste est faible,  
plus l'éclairage doit être important.**

## 2. LUMINANCE 2.5 Contraste

Deuxième expression du contraste

$$C = L_1 / L_2$$

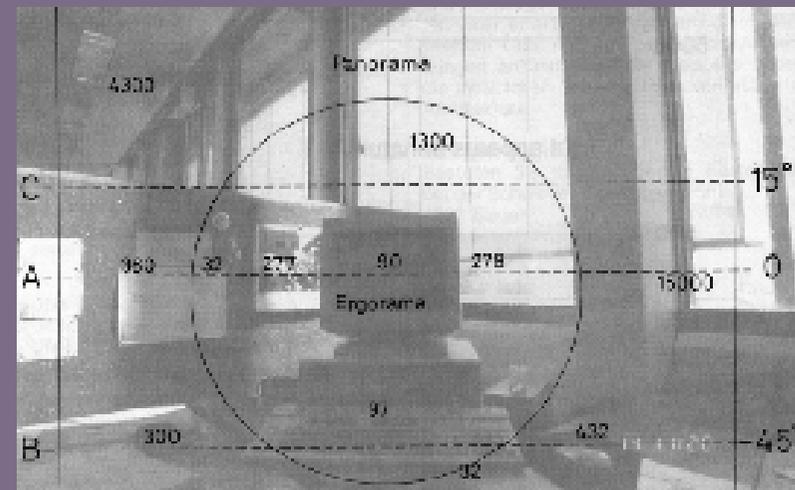
où  $L_1$  : luminance du point 1

$L_2$  : luminance du point 2

Le résultat est souvent donné sous la forme : 1 / X

Sur cet exemple, quelques  
valeurs de contrastes :

- écran / document : 1/3 à 1/5
- écran / store : 1/14
- écran / luminaire : 1/48
- écran / ciel : 1/167



Source :BAU DOC

## 3. DES OUTILS POUR LE PROJET 3.1 Recommandations et normes

### Outils réglementaires

L'éclairage fait souvent partie du cahier des charges d'un local.

Les valeurs d'éclairage recommandées varient en fonction de la tâche à accomplir. Elles sont en permanence reconsidérées en fonction de l'évolution des techniques, du contexte économique...

Pour les locaux de travail, les consignes européennes prennent aussi en compte le critère de luminance.

#### Valeurs d'éclairage moyens à maintenir en lux)

voie de circulation intérieure	125
hall d'accueil	250
bureaux (travaux généraux) et bibliothèques	425
salle de classe	325
salles de dessin	850
mécanique générale (pièces moyennes)	425
mécanique délicate	1250

Exemples, Recommandations de l'Association Française  
d'Eclairage (AFE), 1993

## Eclairage

Les mesures d'éclairage servent à quantifier la quantité de lumière reçue par une surface. Pour une installation neuve ou une installation en service, il s'agit le plus souvent de vérifier la conformité par rapport aux recommandations ou spécifications (éclairages initiaux, éclairages à maintenir).

Les éclairages seront mesurés en un ensemble de points judicieusement choisis.

Attention, l'éclairage moyen ne se mesure pas mais se calcule.

### *Quelques consignes élémentaires :*

- Les mesures d'éclairage en éclairage artificiel doivent être effectués de nuit ou fenêtres occultées. Les sources doivent être en régime stable.
- Les mesures effectuées ne sont valables que dans les conditions existants au moment de la mesure. Il est donc important de noter en particulier : l'état de propreté de l'installation, les lampes et appareils en panne, les conditions météo (en extérieur)...
- Veiller à éliminer les ombres parasites sur la cellule.
- Répéter certaines mesures afin d'éviter les erreurs.

## 3. DES OUTILS POUR LE PROJET 3.2 Des outils de contrôle et d'évaluation

### Luminances

Les mesures de luminances n'ont pas de valeur contractuelle (mesures difficiles à réaliser).

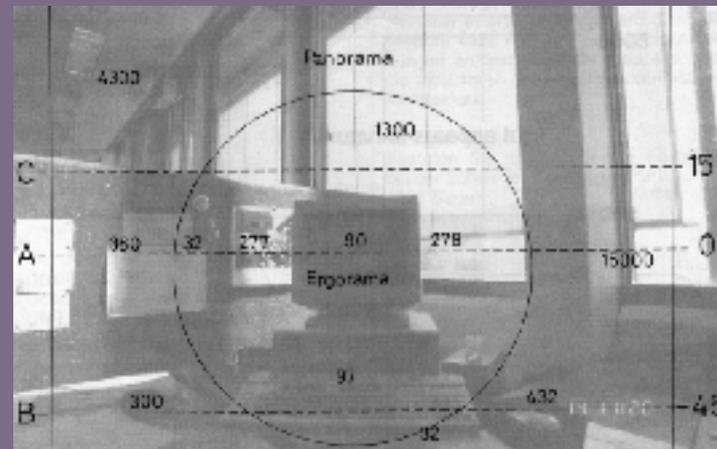
Elles permettent :

- d'évaluer les conditions de confort visuel d'une situation particulière
- de caractériser une scène visuelle.

Elles peuvent ainsi porter sur tout point singulier pouvant avoir une importance dans le champ visuel.

Sur cet exemple, quelques valeurs de contrastes :

- écran / document : 1/3 à 1/5
- écran / store : 1/14
- écran / luminaire : 1/48
- écran / ciel : 1/167



## 3. DES OUTILS POUR LE PROJET

### 3.2 Des outils de contrôle et d'évaluation

#### Luminances : exemples commentés

Source : Mudri L., « a comparative analysis of luminous ambience designed for equivalent functions », 3d international conference for teachers of architecture, Oxford (UK), 9-12 July 2000



Une partition de l'espace renforcée par la lumière  
Café de la cité de la musique (Paris, C. de Portzamparc)



Confusion intentionnelle  
entre réalité et illusion  
Hall de l'IMA (Paris, J. Nouvel)

## 3. DES OUTILS POUR LE PROJET 3.2 Des outils de contrôle et d'évaluation

### Luminances : exemples commentés

Source : Fiori S., Thomas R. et alii, *Les facteurs lumineux des ambiances publiques nocturnes*, Grenoble, Cresson, 2002.



symétrie, cadrage et ouverture visuelle  
Place Schuman (Grenoble, éclair.: Y. Kersalé)



## 3. DES OUTILS POUR LE PROJET

### 3.2 Des outils de contrôle et d'évaluation

#### Luminances : exemples commentés

Source : Fiori S., Thomas R. et alii, *Les facteurs lumineux des ambiances publiques nocturnes*, Grenoble, Cresson, 2002.



- Ex. valeurs Luminances
- sol place :  $< 0,3 \text{ cd/m}^2$
  - façade place :  $< 0,6 \text{ cd/m}^2$
  - verrière gare :  $2 \text{ cd/m}^2$
  - sucette decaux gare :  $90 \text{ cd/m}^2$
  - projecteur cage ascenseur :  $< 5000 \text{ cd/m}^2$



Les luminances les plus fortes sont situées à l'arrière plan  
Place Schuman (Grenoble, éclair.: Y. Kersalé)

## 3. DES OUTILS POUR LE PROJET 3.2 Des outils de contrôle et d'évaluation

### Luminances : exemples commentés

Source : Fiori S., Thomas R. et alii, *Les facteurs lumineux des ambiances publiques nocturnes*, Grenoble, Cresson, 2002.



- Ex. valeurs Luminances
- fibres optiques : 0,8 -> 6,6 cd/m<sup>2</sup>
  - sol place : 0,14-> 0,35 cd/m<sup>2</sup>
  - façades place : 0,03 - 0,4 cd/m<sup>2</sup>
    - : 2 cd/m<sup>2</sup>
  - sol lointain (tache lumière) : 0,9 cd/m<sup>2</sup>



Le sol a globalement une faible prégnance visuelle  
mais la constellation ménage des effets de surprise à mesure du  
cheminement  
Place Schuman (Grenoble, éclair.: Y. Kersalé)