

Les fiches techniques

28

L'éclairage
L'éclairage



28 Éclairage

28.1 Lumière

La lumière est composée d'une infinité de radiations qui donnent à l'œil humain l'impression de couleurs allant du violet au rouge. La longueur d'onde est exprimée en nanomètres : (1 nm = 10⁻⁹ m).

L'œil n'est sensible qu'aux radiations situées entre 380 et 780 nm, sa sensibilité maximale se situe vers 555 nm dans la couleur jaune orangée.

28.2 Courbe d'efficacité lumineuse

La sensibilité de l'œil est nulle de part et d'autre des limites de ce qui est appelé la lumière visible.

■ En dessous de 380 nm :

Le rayonnement ultraviolet est fourni par les sources : soleil, lampes fluorescentes. Ce rayonnement ultraviolet doit être filtré pour éviter les brûlures de la peau, l'agression de l'œil.

On utilise la lumière ultraviolette pour :

- le bronzage de la peau ;
- l'impression de surfaces sensibles ;
- les effets spéciaux (lumière noire).

■ Au-dessus de 780 nm :

Le rayonnement infrarouge est utilisé pour transmettre des messages invisibles par l'œil, car les faisceaux sont peu perturbés par la lumière ambiante.

EXEMPLE : Capteurs photoélectriques.

L'utilisation de lumière infrarouge pour les capteurs évite les perturbations dues à la lumière ambiante (éclairage artificiel, soleil, ...).

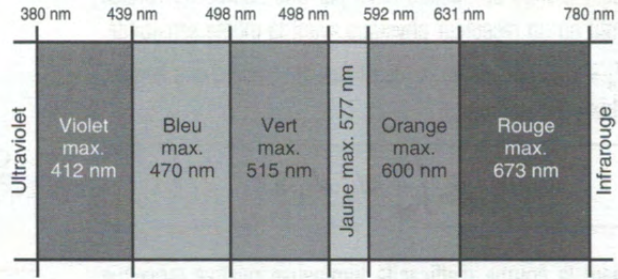
28.3 Caractéristiques des sources

Une source lumineuse est un convertisseur d'énergie dont la puissance d'entrée est électrique et s'exprime en watts.

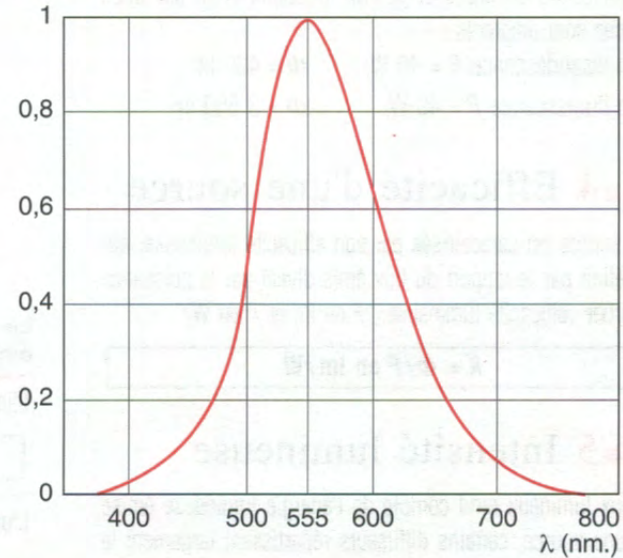
$$P = U \times I \cos \varphi$$

La grandeur de sortie est le flux lumineux Φ qui s'exprime en lumens de symbole lm.

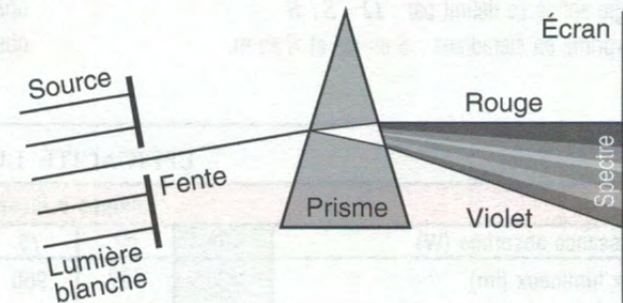
LIMITES DES COULEURS SPECTRALES



COURBE D'EFFICACITÉ DE LA LUMIÈRE



DÉCOMPOSITION DE LA LUMIÈRE



EXEMPLE D'UNE SOURCE DE LUMIÈRE



Ce flux lumineux Φ représente l'énergie de chaque bande de longueur d'onde du spectre émis par une source interprétée par l'œil ou un récepteur physique ayant la même sensibilité. Si $W_\lambda = f(\lambda)$ représente la répartition spectrale d'une source, son flux est défini par :

$$\Phi = K_m \int_{380}^{780} W_\lambda \cdot V_\lambda \cdot d\lambda$$

V_λ étant la courbe d'efficacité lumineuse relative moyenne définie internationalement.

La puissance absorbée et le flux lumineux émis par deux sources sont différents :

- en incandescence $P = 40 \text{ W}$, $\Phi = 430 \text{ lm}$;
- en fluorescence $P = 40 \text{ W}$, $\Phi = 3\,500 \text{ lm}$.

28.4 Efficacité d'une source

Une source est caractérisée par son efficacité lumineuse, qui se définit par le rapport du flux émis divisé par la puissance absorbée (efficacité lumineuse : F en lm et P en W).

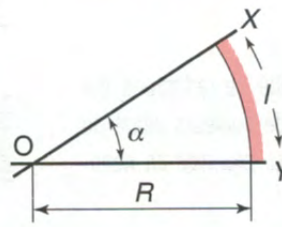
$$K = \Phi / P \text{ en lm/W}$$

28.5 Intensité lumineuse

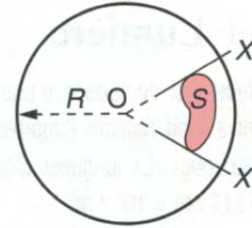
Le flux lumineux rend compte de l'énergie lumineuse émise par une source, certains diffuseurs répartissent largement la lumière émise. L'intensité lumineuse est le quotient du flux lumineux émis par un élément de l'angle solide.

L'angle solide se définit par : $\Omega = S / R^2$
 Ω exprimé en stéradians ; S en m^2 et R en m.

ANGLE PLAN

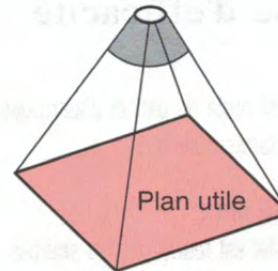


ANGLE SOLIDE



INTENSITÉ LUMINEUSE

Source de flux lumineux Φ



Le plan utile est la surface destinée à recevoir la lumière émise par les sources. (Plan de travail.)

L'intensité lumineuse est :

$$I = \Phi / \Omega$$

L'unité d'intensité lumineuse est la candela (symbole cd).

Un projecteur de scène, un spot possèdent une grande intensité lumineuse selon une direction particulière. Au contraire, un diffuseur opale a une intensité lumineuse qui varie peu avec la direction observée.

EFFICACITÉ LUMINEUSE									
Lampes à incandescence									
Puissance absorbée (W)	40	60	75	100	150	200	300	500	1 000
Flux lumineux (lm)	430	730	960	1 380	2 220	2 950	4 950	8 400	18 800
Efficacité lumineuse (lm/W)	10,75	12,2	12,8	13,8	14,8	14,75	16,5	16,8	18,8
Lampes fluorescentes de substitution									
Puissance absorbée (W)	10	13	18	26	36	40	55		
Flux lumineux (lm)	600	900	1 200	1 800	2 900	3 500	4 800		
Efficacité lumineuse (lm/W)	60	69,2	66,7	69,2	80,5	87,5	87,2		
Tube fluorescent diamètre 26 mm									
Puissance absorbée (W)	15	18	30	36	58	La gamme de puissance des tubes fluorescents est plus restreinte que celle des lampes à incandescence.			
Flux lumineux (lm)	1 000	1 300	2 300	3 250	5 200				
Efficacité lumineuse (lm/W)	66,7	72,2	76,7	90,3	89,6				

28.6 Courbe photométrique

La courbe photométrique, généralement polaire, représente l'intensité lumineuse dans un plan passant par la source, en fonction de l'angle formé dans une direction donnée.

Cette répartition est souvent exprimée en pourcentage et ramenée à 1 000 lm dans deux directions perpendiculaires.

Cette courbe photométrique est liée à la position de la source et à l'organisation de l'appareil d'éclairage, elle peut être :

- symétrique par rapport à l'axe de l'appareil ;
- dissymétrique, car l'appareil privilégie une direction particulière de la lumière émise.

28.7 Luminance

La luminance est liée au confort et à l'éblouissement, elle s'applique à toutes les surfaces réfléchissantes, les murs, le plafond, la feuille de papier posée sur le plan utile. La luminance est le quotient de l'intensité lumineuse par la surface apparente de la source dans une direction donnée.

La luminance s'exprime en candela par mètre carré : cd / m².

Valeurs de luminance
Pleine lune : 2 500 cd/m ²
Soleil : 1,6 × 10 ⁹ cd/m ²
Chaussée de route : 1 à 2 cd/m ²

28.8 Éclairément

L'éclairément, en un point du plan à éclairer, est le quotient du flux lumineux émis par la surface éclairée :

$$E = \Phi / S$$

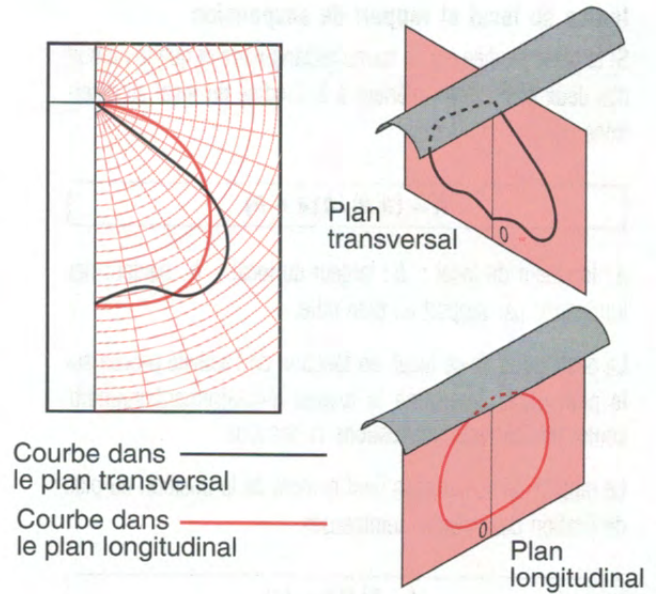
E en lux : lx ; Φ en lumen : lm ; S en mètre carré : m².

L'éclairément varie selon :

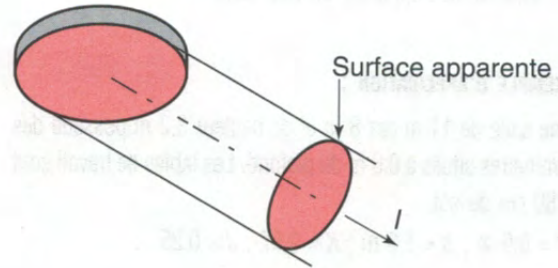
- l'angle formé par la surface éclairée et la direction de la surface ;
- le carré de la distance entre la source et la surface éclairée.

Valeurs d'éclairément
Plein soleil jusqu'à 100 000 lux
Près d'une fenêtre par temps couvert : 1 000 à 3 000 lux
Pleine lune dans un ciel clair : 0,25 lux

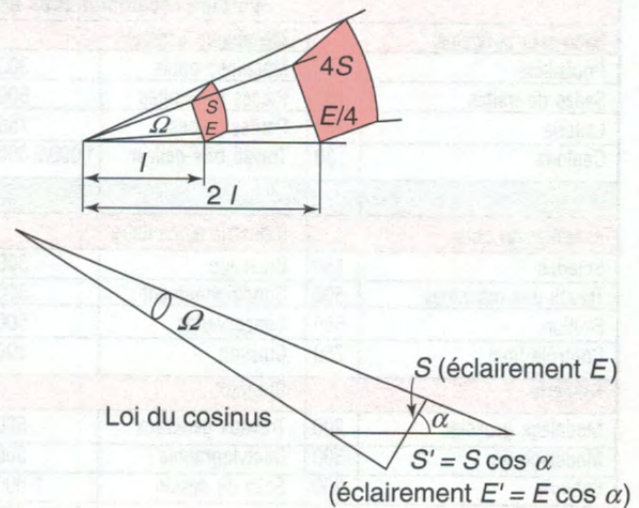
COURBE PHOTOMÉTRIQUE



LUMINANCE



ÉCLAIREMENT



28.81 Projet d'éclairage simplifié

Indice du local et rapport de suspension

Si la pièce étudiée est de forme rectangulaire et que le rapport des deux côtés reste inférieur à 3, l'indice du local se détermine par :

$$K = (a \cdot b) / h(a + b)$$

a : longueur du local ; b : largeur du local ; h : hauteur des luminaires par rapport au plan utile.

La destination de ce local, en fonction de l'activité prévue sur le plan utile, détermine le niveau d'éclairage souhaité conforme aux recommandations ci-dessous.

Le rapport de suspension tient compte de la position du plan de fixation des sources lumineuses.

$$J = h' / (h + h')$$

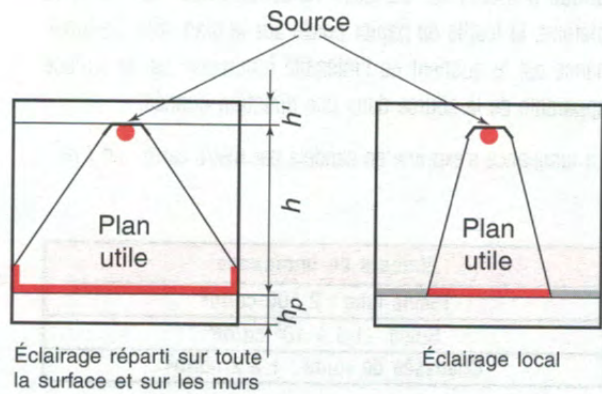
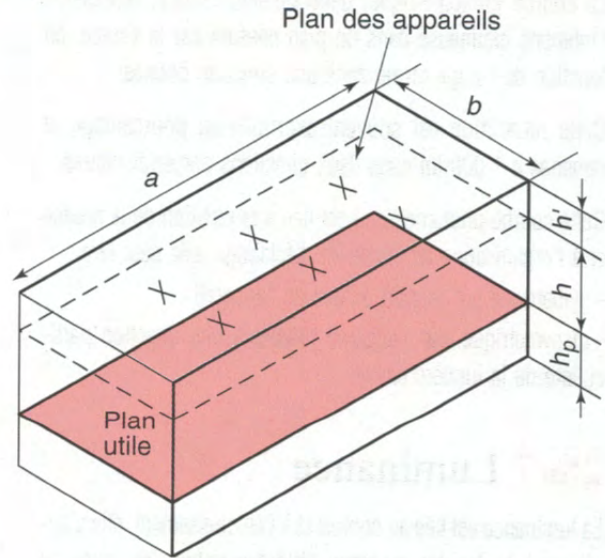
h' : distance des appareils par rapport au plafond ;
 h : distance des appareils au plan utile.

EXEMPLE D'APPLICATION :

Une salle de 11 m par 8 m et de hauteur 3,2 m possède des luminaires situés à 0,6 m du plafond. Les tables de travail sont à 80 cm du sol.

$h' = 0,6$ m ; $h = 1,8$ m ; $K = 2,57$; $J = 0,25$.

PROJET D'ÉCLAIRAGE SIMPLIFIÉ



28.82 ÉCLAIREMENT RECOMMANDÉ EN FONCTION DU TYPE DE L'ACTIVITÉ

Valeurs recommandées de l'éclairage exprimé en lux							
Bâtiments agricoles		Mécanique générale		Habitations		Hôtels	
Poulaillers	50	Machines-outils	300	Lecture	300	Réception, halls	300
Salles de traites	150	Pièces moyennes	500	Travail d'écolier	300	Salle à manger	200
Laiterie	300	Petites pièces	750	Chambre	200	Cuisines	300
Couloirs	30	Travail très délicat	1 000/2 000	Cuisine	300		
				Couture	500/750		
Industrie du bois		Industrie alimentaire		Loisirs		Expositions	
Scieries	150	Brassage	300	Salles de spectacle	100	Salles publiques	500
Travail aux machines	500	Conditionnement	500	Foyers	150	Circulation	100
Finition	500	Conserveries	500	Salles de cinéma	50	Couloirs, escaliers	100/300
Contrôle final	750	Cuisson	300	Amphithéâtres	100		
Fonderie		Bureaux		Industrie du livre		Espaces découverts	
Modelage grossier	200	Travaux généraux	500	Typographie	500	Entrées, cours	30
Modelage fin	500	Dactylographie	500	Composition	750	Docks, quais	75
Sablerie	300	Salle de dessin	1 000	Lithographie	1 000	Station-service	300
Fabrication de noyaux	500	Bureaux paysagés	750/1 000	Reliure de livres	500		

28.9 Température de couleur

Les sources se caractérisent par leur température de couleur. Une lumière dite « froide » est émise par un tube fluorescent, sa température de couleur est de l'ordre de 6 500 K, la lumière émise est plutôt bleutée.

Une lumière dite « chaude » présente un aspect doré, sa température de couleur est de 2 700 K.

La couleur apparente de la lumière émise par une source est liée au niveau d'éclairément.

Une lampe à incandescence possède une température de couleur voisine de 2 850 K.

28.10 Indice de rendu des couleurs

L'indice de rendu des couleurs est déterminé en comparant l'effet chromatique d'une source par rapport à une source de référence. Sa valeur maximale est 100.

28.11 Facteur de réflexion des parois

Le facteur de réflexion s'applique au plafond, aux murs, au plan utile.

Le facteur de réflexion du plafond et des murs varie de 30 à 80 %, il peut être nul (murs noirs mats).

Le facteur de réflexion du plan de travail, y compris le bas des murs, prend deux valeurs : 10 ou 30 %.

Le facteur de réflexion comporte trois chiffres.

Un facteur de réflexion de 751 signifie :

- 70 % de réflexion du plafond ;
- 50 % de réflexion des murs ;
- 10 % de réflexion du plan utile.

28.12 Utilance

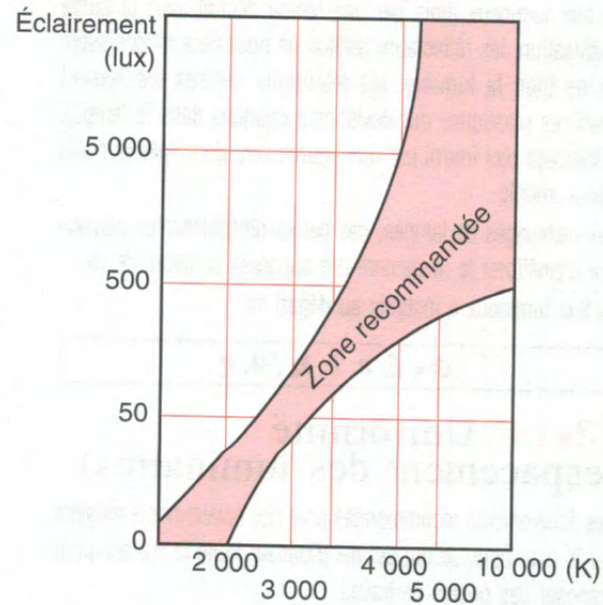
L'utilance se définit comme étant le rapport du flux lumineux qui atteint le plan utile au flux total émis par les sources. L'utilance, symbole U , se détermine sur des tableaux élaborés par les constructeurs, à partir de l'indice du local et du rapport de suspension.

Le flux total à générer est :

$$\Phi = (E \cdot a \cdot b) / U \cdot \eta$$

Φ : flux lumineux total en lm ; E : éclairement en lx ; a et b : dimensions du local en m ; U : utilance ; η : rendement du luminaire.

TEMPÉRATURE DE COULEUR PROXIMALE



CLASSIFICATION DES INDICES

IRC > 90 : Appréciation exacte des couleurs (galeries de peinture, examens cliniques).

80 < IRC < 90 : Éclairage agréable (habitations, hôtels, magasins, écoles).

60 < IRC < 80 : Bon rendu des couleurs (ateliers sans problème de couleurs).

50 < IRC < 60 : Pas d'exigence de rendu des couleurs (fonderie, mécanique lourde, stockage).

L'indice de rendu des couleurs IRC d'une source est donné en précisant la température de couleur proximale.

On évitera l'utilisation des sources dont l'IRC est inférieur à 50, un choix judicieux de lampes permet en général l'amélioration de l'indice.

EXEMPLE D'APPLICATION :

Déterminer le flux nécessaire pour éclairer un local de dessin de dimensions $a = 5,5$ m et $b = 12,5$ m. E souhaité = 1 000 lx.

- Rendement du luminaire : 0,85 ;
- Facteur de réflexion : 751 ;
- Utilance : $U = 0,88$; $\Phi = 104\,278$ lm ;
- $\Phi = 1\,000 \times 6,5 \times 12,5 / 0,88 \times 0,85$.

Il est nécessaire d'installer 20 tubes de 58 W (5 200 lm) donc 10 luminaires équipés de deux tubes de 58 W ou encore 47 lampes de 1 500 W (2 220 lm) incandescentes.

La puissance à installer est :

- en fluorescence 1 160 W,
- en incandescence 7 050 W.

28.13 Facteur de dépréciation

Le flux lumineux émis par une lampe décroît avec la durée d'utilisation, les réflecteurs revêtus de poussière réfléchissent moins bien la lumière, les matériaux utilisés vieillissent (matières plastiques qui deviennent opaques dans le temps). L'éclairage réel fourni par une source sera donc inférieur à la valeur initiale.

Des nettoyages de lampes, des parois réfléchissantes permettent d'améliorer le rendement des appareils en cours de vie.

Le flux lumineux à installer au départ est :

$$\Phi = E \cdot a \cdot b \cdot k_4 / U \cdot \eta$$

28.14 Uniformité (espacement des luminaires)

Les éclairages recommandés sont des éclairages moyens sur le plan utile, ce qui permet d'utiliser toute la surface pour disposer des postes de travail.

L'uniformité dépend de la courbe du luminaire (la répartition dans l'espace de l'émission lumineuse) et de l'espacement des luminaires.

Les appareils munis de lampes fluorescentes ont une répartition différente dans le sens de la longueur et dans le sens de la largeur. Un confort correct est obtenu pour un rapport :

$$\frac{\text{Éclairage minimal}}{\text{Éclairage moyen}} \geq 0,8$$

EXEMPLE D'APPLICATION :

L'éclairage d'un local est 200 lx avec $a = 15$ m, $b = 18$ m, $h = 3,25$ m, $h' = 0,2$ m, rendement des luminaires $\eta = 0,7$. Classe A, facteur du local 873, $U = 1,187$.

Le flux lumineux nécessaire est environ 65 000 lm.

Si ce local propre et réfléchissant (873) possédait des parois peu réfléchissantes et sombres avec un facteur de réflexion de 331, $U = 0,904$; le flux lumineux nécessaire serait 85 335 lm soit 31 % plus élevé.

FACTEUR DE DÉPRÉCIATION

L'AFE, Association Française de l'Éclairage, indique les valeurs suivantes :

Niveau d'empoussiérage	k_1	k_2	k_3	k_4
Faible	0,9	0,9	0,8	1,25
Moyen	0,8	0,9	0,7	1,4
Élevé	0,7	0,9	0,6	1,6

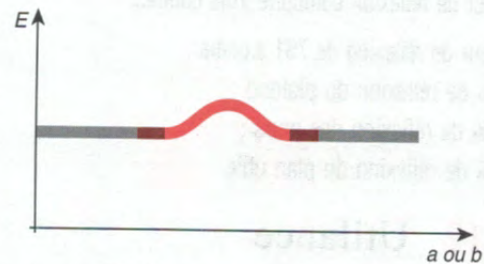
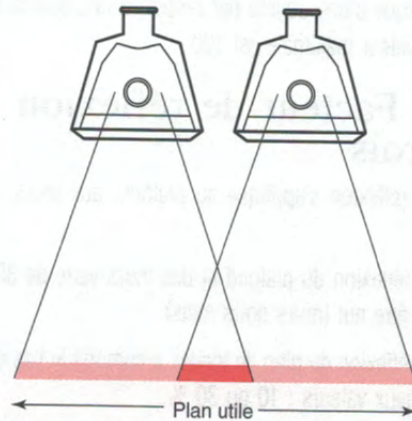
k_1 : facteur d'empoussiérage ;

k_2 : facteur lampes ;

k_3 : facteur maintenance $k_3 = k_1 \cdot k_2$;

k_4 : facteur compensateur de la dépréciation $k_4 = 1/k_3$.

UNIFORMITÉ



VALEURS DE L'UTILANCE POUR $J = 0$; $K = 2,50$

Classe	873	753	731	711	531	331	311
A	1 187	1 102	967	948	954	942	929
B	1 162	1 068	930	905	916	904	886
C	1 128	1 021	879	847	865	852	828
D	1 105	989	843	806	829	816	788
E	1 081	957	809	766	794	780	748
T	851	653	547	515	383	226	215

Les constructeurs fournissent les valeurs d'utilance pour $J = 0$ et $J = 1/3$ et $K = 0,6$ à $K = 5$.

Les tableaux d'utilance comportent 4 variables :

- K indice du local ;
- J rapport de suspension ;
- classe du luminaire A, B, C ;
- facteur de réflexion (873) en tête de chaque colonne.

Nota : La classe du luminaire est indiquée sur les catalogues des constructeurs.