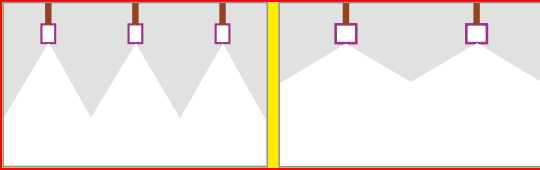


Roger Cadiergues



L'éclairage

L10. SOMMAIRE

1. Les bases de l'éclairage *p. 3*

- 1.01. Classer les rayonnements
- 1.02. L'efficacité lumineuse
- 1.03. Mesurer les rayonnements
- 1.04. Assurer le confort et l'efficacité visuels
- 1.05. Retour sur le classement des rayonnements
- 1.06. La température de couleur
- 1.07. Le rendu des couleurs
- 1.08. Le rôle des parois

2. L'éclairage artificiel *p. 7*

- 2.01. Les projets d'éclairage
- 2.02. Le classement des configurations
- 2.03. Le calcul des installations

3. L'éclairage naturel *p. 9*

- 3.01. Le facteur de jour
- 3.02. Les angles de référence
- 3.03. Le facteur de référence
- 3.04. Le correctif de vitrage
- 3.05. L'influence sur l'éclairage artificiel
- 3.06. Les facteurs de jour recommandés

Livraison 10 . 12 mars 2009
(prochaine livraison le 29 mars 2009)

LA COLLECTION DevCad

Livrets des précédentes livraisons :

- L00 : AuxiDev** (8 janvier 2009)
- L01 : Le développement durable** (8 janvier 2009)
- L02 : Le cadre DevCad** (15 janvier 2009)
- L03 : Les plans énergétiques** (22 janvier 2009)
- L04 : L'insertion du solaire** (29 janvier 2009)
- L05 : La biomasse énergie** (5 février 2009)
- L06 : Les productions électriques** (12 février 2009)
- L07 : La conception du neuf** (19 février 2009)
- L08 : L'amélioration de l'existant** (26 février 2009)
- L09 : Les analyses écoénergétiques** (5 mars 2009)

Livrets prévus dans les prochaines livraisons :

- L11 : Les sources de lumière** (29 mars 2009)
- L12 : Les calculs d'éclairage** (26 mars 2009)



**L'ACCES AUX MODULES AuxiDev, ET LEUR UTILISATION SONT GRATUITS,
MAIS N'OUBLIEZ PAS, AUPARAVANT, DE VOUS INSCRIRE**

La loi du 11 mars 1957 n'autorisant, aux termes des alinéas 2 et 3 de l'article 41, d'une part que les «copies ou reproductions strictement réservées à l'usage privé du copiste et non destinées à une utilisation collective», et d'autre part que les analyses et courtes citations dans un but d'exemple et d'illustration «toute reproduction intégrale, ou partielle, faite sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayants cause, est illicite».

Texte établi par Roger Cadiergues (© février 2009)

1. LES BASES DE L'ÉCLAIRAGE

1.01. Classer les rayonnements

1. Chaque **rayonnement** peut être caractérisé par sa **longueur d'onde**, la *longueur d'onde* étant mesurée en **micron**, ou micromètre [μm] (parfois en nanomètre).

2. Les rayonnements nous concernant sont classés schématiquement comme suit :

catégorie de rayonnement	longueur d'onde
rayonnement ultraviolet (UV)	0,1 à 0,38 [μm]
rayonnement visible	0,38 à 0,78 [μm]
rayonnement infra-rouge (IR)	> 0,78 [μm]

3. Le **rayonnement ultraviolet**, qui peut être utilisé pour la stérilisation de l'air, n'est pas pris en compte en éclairage, sauf pour ses effets négatifs.

4. Le **rayonnement infra-rouge**, qui joue un rôle important dans les échanges thermiques et la qualification des ambiances, n'est pas - non plus - pris en compte en éclairage.

5. Le **rayonnement visible**, qui joue le rôle central en éclairage, possède des efficacités lumineuses variables selon la longueur d'onde (paragraphe suivant).

1.02. L'efficacité lumineuse

LES DEUX DOMAINES DE LA VISION

On distingue traditionnellement deux domaines :

- . celui des niveaux d'éclairage les plus usuels : le domaine **photopique**,
- . celui des niveaux d'éclairage très faibles (la nuit) : le domaine **scotopique**.

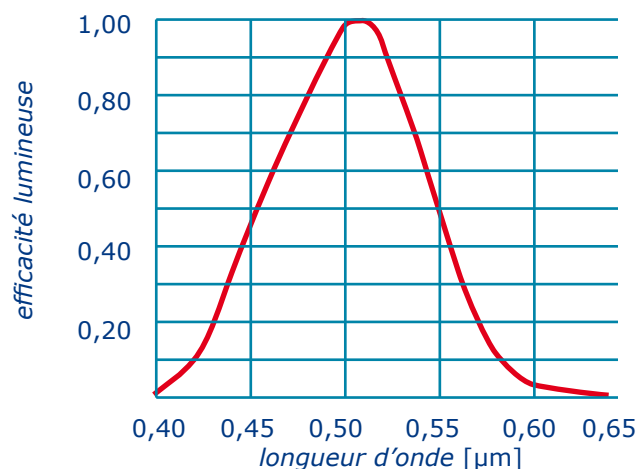
En éclairage courant *nous ne prenons en compte que le domaine photopique*.

LES RÔLE DES LONGUEURS D'ONDE

L'action visuelle de chaque rayonnement variant selon sa longueur d'onde, la définition des grandeurs lumineuses (paragraphe suivant) prend appui sur la fonction traduisant l'**efficacité visuelle** des rayonnements en fonction de leur longueur d'onde.

Cette fonction est fournie :

- . graphiquement ci-contre à titre d'illustration,
- . numériquement ci-dessous au travers d'un tableau.



Le diagramme comme le tableau ne correspondent qu'au *domaine photopique*.

EFFICACITÉS LUMINEUSES

longueur d'onde [μm]	efficacité lumineuse	longueur d'onde [μm]	efficacité lumineuse	longueur d'onde [μm]	efficacité lumineuse	longueur d'onde [μm]	efficacité lumineuse	longueur d'onde [μm]	efficacité lumineuse
0,38	0,00059	0,45	0,455	0,52	0,935	0,59	0,0655	0,66	0,00031
0,39	0,00221	0,46	0,567	0,53	0,911	0,60	0,03315	0,67	0,00015
0,40	0,00929	0,47	0,676	0,54	0,650	0,61	0,01593	0,68	0,00007
0,41	0,03484	0,48	0,793	0,55	0,481	0,62	0,00737	0,69	0,00004
0,42	0,0966	0,49	0,904	0,56	0,3288	0,63	0,00334	0,70	0,00002
0,43	0,1998	0,50	0,982	0,57	0,2076	0,64	0,00150	0,71	0,00001
0,44	0,3281	0,51	0,997	0,58	0,1212	0,65	0,00068	0,72	-

1.03. Mesurer les rayonnements

LES GRANDEURS ÉNERGÉTIQUES

N.B. CERTAINES DES GRANDEURS QUI SUIVENT FONT RÉFÉRENCE À L'UNITÉ D'ANGLE SOLIDE : LE STÉRADIAN [sr].

. Le **flux énergétique** émis par une source thermique, étant une puissance, se mesure en **watt** [W].

. Le flux transmis dans une direction, l'**intensité énergétique**, se mesure en **watt par stéradian** [W/sr].

. Le flux surfacique transmis dans une direction (la **radiance**) se mesure en **watt par stéradian et par mètre carré** [W/sr m²].

. Le flux surfacique reçu par une surface est l'**éclairage énergétique**. Il se mesure en **watt par mètre carré** [W/m²].

En éclairage ce ne sont pas ces grandeurs énergétiques qui sont utilisées, mais les *grandeurs lumineuses*.

LES GRANDEURS LUMINEUSES

POUR CHAQUE RAYONNEMENT, IL EST POSSIBLE D'ÉVALUER L'ÉQUIVALENT «LUMINEUX» EN UTILISANT LES EFFICACITÉS DU PARAGRAPHE PRÉCÉDENT. CE QUI CONDUIT À PLUSIEURS GRANDEURS.

La première d'entre elles est le **flux** lumineux (on dit aussi **puissance lumineuse**) émis par une source, flux exprimé en **lumen** [lm], le transposé du *watt*.

Il est très rare que l'on ait à décomposer les rayonnements longueur d'onde par longueur d'onde : on se base plutôt sur des mesures directes et globales, avec des instruments pondérant directement les longueurs d'onde, fournissant directement les grandeurs lumineuses. C'est ainsi, par exemple, qu'on définit l'**efficacité lumineuse (globale)**, qui est exprimée en **lumen par watt** [lm/W]. On utilise également les grandeurs suivantes.

. Le *flux lumineux* émis par une source, dans une direction, est l'**intensité lumineuse**. Elle est exprimée en **candela** [cd].

. La **luminance** est l'intensité surfacique dans une direction, l'unité étant la **candela par mètre carré** [cd/m²].

. Le flux lumineux reçu par mètre carré de surface éclairée est l'**éclairage**. Il se mesure en **lux** [lx], l'équivalent du lumen par mètre carré.

La plupart des éclairages sont dimensionnés à partir d'*éclairagements conventionnels* (définis plus loin), les sources étant définies quantitativement par leur *flux lumineux*, et qualitativement (risques d'éblouissement) par leur *luminance*. Le paragraphe suivant en indique les bases essentielles.

1.04. Assurer le confort et l'efficacité visuels

LES DEUX CRITÈRES DE BASE

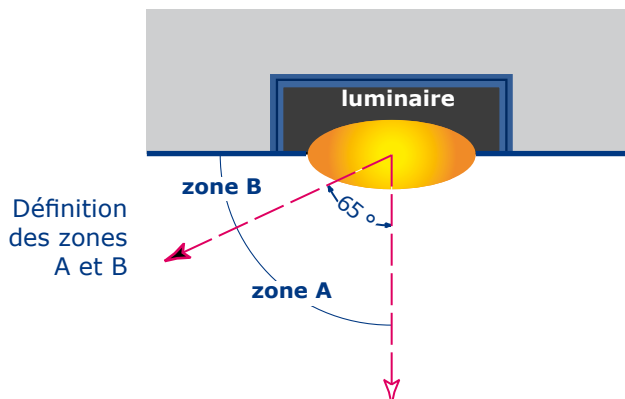
En *éclairage* les deux critères essentiels de qualité sont :

- . l'**éclairage** des objets,
- . la **luminance** des sources.

1. L'*éclairage*, exprimé en lux [lx] est la caractéristique la plus traditionnelle. Il est généralement mesuré sur le *plan utile* défini au chapitre 2. Des *tables* (voir également le chapitre 3), ayant beaucoup évolué avec le temps, fournissent les valeurs recommandées selon le type d'occupation des locaux.

2. La *luminance* des sources, exprimée en candela par mètre carré [cd/m²] dans chaque direction, sert à évaluer les risques d'éblouissement. Malgré l'existence de procédures confirmées (plus ou moins complexes), le calcul des luminances étant souvent assez délicat, des recommandations pratiques peuvent être préférables, surtout avec les multiples équipements modernes à base d'écrans (télévision, ordinateur, etc.).

Par exemple, si - en éclairage artificiel - vous utilisez les références adoptées par le schéma ci-contre, vous pouvez utiliser les critères suivants, l'objectif de limitation des luminances étant d'éviter l'atteinte directe des yeux, ou la réflexion sur un écran.



DEUX CRITÈRES TYPES DE BASE

A. Dans la zone A (0 à 65 °) **calculer l'éclairage** : il suffit que celui-ci atteigne une valeur suffisante (voir, par exemple, les valeurs indiquées au chapitre 3).

B. Dans la zone B (65 à 90 °) **limiter la luminance**. Avec des luminaires modernes, correctement conçus, on peut adopter la limite suivante, si les écrans possèdent un fond blanc : 1500 [cd/m²].

1.05. Retour sur le classement des rayonnements

Parmi les principaux types de rayonnement nous allons, ici, retenir les deux types suivants :

. le **rayonnement propre**, celui de tout corps face à un milieu transparent, fonction de la température superficielle de ce corps ;

. le **rayonnement naturel**, celui reçu directement du soleil, ou indirectement à la suite des phénomènes de diffusion dans l'atmosphère.

Ces deux types de rayonnements bénéficient des propriétés suivantes.

LE RAYONNEMENT PROPRE

Le *rayonnement propre*, pris comme référence, est celui d'un corps dit «noir» correspondant (terminologie conventionnelle) à une émissivité égale à un. Dans ce cas l'**émittance** (le flux en watt émis par unité de surface) varie en fonction de la longueur d'onde comme l'indique le schéma ci-contre, chaque «corps noir» étant caractérisé par sa température mesurée en kelvin [K].

Comme indiqué schématiquement au paragraphe **1.01**, il est possible de classer les rayonnements selon le domaine de longueurs d'onde en cause, dans les trois catégories fondamentales suivantes :

- . **ultraviolet** : longueurs d'onde de moins de 0,38 [μm],
- . **visible** : longueurs d'onde comprises entre 0,38 et 0,78 [μm],
- . **infrarouge** : longueurs d'onde de plus de 0,78 [μm].

Une bonne partie du rayonnement naturel se situe dans le visible, mais il se traduit par des **couleurs** différentes selon la longueur d'onde, ainsi que l'indique la table ci-contre, limitée à des valeurs types.

LE RAYONNEMENT NATUREL

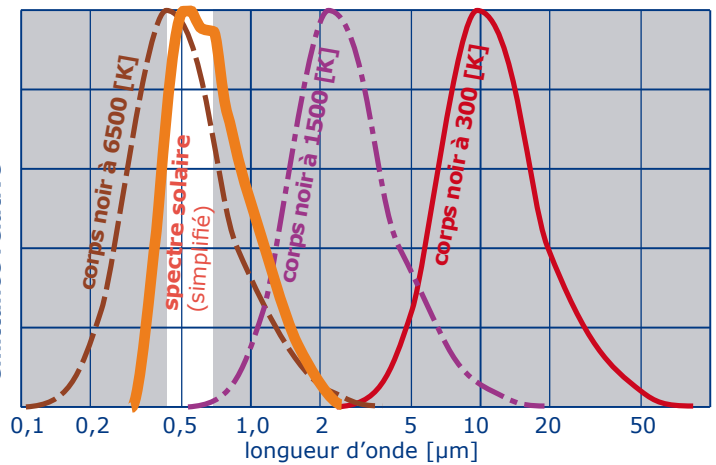
Le *rayonnement naturel* est la combinaison du *rayonnement direct* reçu du soleil et du *rayonnement diffus* reçu de l'atmosphère en dehors du précédent.

1. Le *rayonnement direct* possède un spectre voisin de celui indiqué au schéma du haut, sous le titre «spectre solaire». En fait le spectre réel est un peu plus compliqué que celui représenté dans la figure. Le spectre du rayonnement direct est voisin de celui d'un corps noir d'une température de l'ordre de 5000 [K].

2. Le *rayonnement diffus* est celui diffusé par le ciel. Son spectre est très différent du précédent, ce qui provoque les résultats suivants.

Le *rayonnement global*, somme (sur une surface quelconque) du flux direct plus le flux diffus, possède un spectre très affecté par la position du soleil (voir ci-contre).

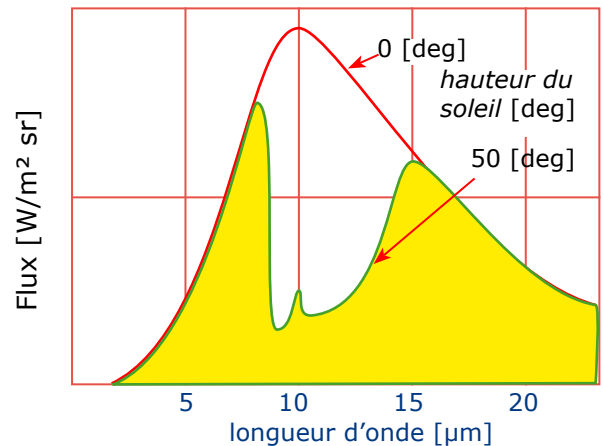
Les rayonnements propres



Les couleurs

LES COULEURS TYPES		
couleur type	couleur au sens courant	longueurs d'onde types [μm]
	violet	0,38 à 0,42
	bleu	0,47
	vert	0,52
	jaune	0,58
	orange	0,61
	rouge	0,65 à 0,78

Le spectre du rayonnement global



1.06. La température de couleur

LA TEMPÉRATURE DE COULEUR

Avec les nouvelles sources de lumière la couleur joue un rôle croissant. Ce qui conduit à choisir les sources selon leur **température de couleur**. Cette dernière, mesurée en kelvin [K], est celle du rayonnement propre le plus proche - en matière de couleur apparente - de celle de la source examinée. C'est ainsi, par exemple, que la lumière de chaque type de lampe est caractérisée par sa température de couleur, comme vous pourrez le voir au chapitre suivant. La température de couleur, notée ici T_c , exprimée en kelvin [K], est liée à l'impression visuelle.

Cette dernière peut être exprimée comme suit :

- . Teinte «**chaude**» : $T_c < 3300$ [K]
 - . Teinte **neutre** : $T_c = 3300$ à 5500 [K]
 - . Teinte «**froide**» : $T_c > 5500$ [K].
- La température de couleur doit être, si possible, choisie en fonction de l'ambiance à créer, par exemple :
- . pour l'habitat $T_c = 3000$ à 4500 [K]
 - . pour les salles de classe : $T_c = 3000$ à 4000 [K]
 - . pour les magasins de vente selon activité,
 - boulangerie ou boucherie : 3000 à 3500 [K]
 - pharmacie : 4500 à 5000 [K]
 - fleuriste : 4000 à 6500 [K].

1.07. Le rendu des couleurs

LE RENDU DES COULEURS

Le rendu des couleurs, qui permet de mesurer l'adaptation d'un éclairage au rendu colorimétrique, est une notion surtout utilisée en éclairage artificiel : elle est caractérisée par l'**indice de rendu de couleurs (IRC)**. Cet indice repose sur un classement conventionnel, de 0 à 100, ce nombre dépendant de la forme du spectre dans la zone visuelle. Les valeurs obtenues peuvent, schématiquement, être cataloguées comme l'indique la table ci-contre.

Une valeur de 80 est suffisante dans les circulations. Une valeur de 85 est satisfaisante dans la plupart des locaux occupés. Une valeur de 90 est souhaitable dans les zones un peu critiques (enseignement spécialisé, zone de vente ou d'exposition, etc.).

SIGNIFICATION DE L'INDICE DE RENDU DES COULEURS

- . **IRC > 90** : excellent rendu des couleurs (appréciation aussi exacte que possible)
- . **IRC de 80 à 90** : rendu de qualité, valeur type recommandée
- . **IRC de 70 à 80** : rendu de couleur acceptable
- . **IRC de 60 à 70** : n'est acceptable que dans des ambiances industrielles peu exigeantes
- . **IRC < 60** : n'est acceptable qu'en ambiance industrielle sans aucune exigence en matière de couleur.

1.08. Le rôle des parois

L'ÉCLAIREMENT LOCAL

Dans un local, en chaque point de la zone occupée, le premier paramètre intervenant en matière d'éclairage est l'**éclairage** en ce point. Comme celui-ci varie selon l'inclinaison et l'orientation du plan récepteur, la convention courante est de se référer (sauf précision contraire) à l'éclairage du **plan horizontal**. Cet éclairage est dû à la combinaison de deux flux lumineux :

- . le **flux direct**, celui reçu directement des appareils d'éclairage,
- . le **flux indirect**, celui reçu des parois du local, parois qui réfléchissent plus ou moins le flux qu'elles reçoivent.

LES RÉFLEXIONS DES PAROIS

Dans le local chaque paroi reçoit un certain flux lumineux, et réfléchit plus ou moins ce flux, ce qui conduit à définir le facteur de réflexion de la paroi :

$$\text{FACTEUR DE RÉFLEXION} = \text{FLUX RENVOYÉ} / \text{FLUX REÇU}$$

Dans le local les flux lumineux vont ainsi de réflexions en réflexions sur les parois (les «réflexions multiples»).

C'est le résultat de ces réflexions multiples qui constitue le **flux indirect**, celui-ci étant lié aux **facteurs de réflexion** des parois du local. Dans le calcul de l'installation d'éclairage (voir livret **L12**) il en est tenu compte en séparant les parois en trois zones : le *plafond*, les *murs* (en fait les parois verticales) et le *sol*.

Les valeurs des facteurs de réflexion que nous prendrons généralement en compte sont indiquées au tableau ci-dessous. Dans ce tableau la partie basse du local est le «**plan utile**», plan horizontal virtuel à 0,85 [m] au-dessus du sol, plan défini avec plus de précision au livret **L12**.

VALEURS DES FACTEURS DE RÉFLEXION

Zone	Facteurs de réflexion	
	réels	de calcul
plafond	0,5 à 0,9	0,5 0,7
murs	0,4 à 0,8	0,1 0,3 0,5
sol (plan utile)	0,1 à 0,3 -	- 0,1

Dans ce livret général sur l'éclairage, après les **bases** (ce chapitre 1) vous trouverez, aux deux chapitres suivants, les éléments essentiels en matière de conception :

- . au chapitre 2 pour tout ce qui concerne l'**éclairage artificiel**,
- . au chapitre 3 pour tout ce qui concerne l'**éclairage naturel**.

* Les **sources de lumière** (lampes, luminaires et accessoires), essentielles mais aujourd'hui assez fluctuantes, font l'objet d'un *livret séparé*, fourni dans la prochaine livraison :

. **L11. Les sources de lumière.**

* Les problèmes de **calcul des installations** d'éclairage, ou de prévision des consommations font l'objet d'un *livret séparé*, fourni dans la livraison suivante :

. **L12. Les calculs d'éclairage.**

2. L'ÉCLAIRAGE ARTIFICIEL

2.01. Les projets d'éclairage

Le calcul correct des installations d'éclairage est l'une des bases essentielles de la qualité du résultat, ce calcul faisant plus ou moins complexes, qui ont d'ailleurs connu d'assez fortes évolutions dans le passé.

LES NORMES

Il existe deux normes pour le dimensionnement des installations d'éclairage :

- . la norme NF S 40-001, que l'on peut considérer comme la référence, servant essentiellement aux fabricants et distributeurs de luminaires pour établir les tables de calcul de leurs appareils,
- . la norme NF C 71-121, simplifiant un peu l'application de la norme précédente, mais restant utilisée dans les mêmes conditions.

De nombreuses tables figurent dans ces normes mais nous ne les reproduisons pas ici. En effet nous adopterons une démarche largement équivalente, mais beaucoup plus simple et rapide. Elle repose sur la procédure que nous allons maintenant décrire.

LA PROCÉDURE DE BASE

Toutes les méthodes reposent sur l'adoption d'une même formule fournissant, pour un local donné, le flux lumineux Φ [lm] total des lampes à installer :

$$\Phi = (E A \delta) / (\eta U)$$

formule dans laquelle les différents symboles utilisés possèdent les significations indiquées plus loin, formule que nous remplacerons par la suivante :

$$\Phi = (E A / U) \cdot (\delta / \eta)$$

Dans ces formules :

- . Φ [lm] est le **flux lumineux à fournir**,
- . A [m²] est la **surface du plan utile** (§ 2.03),
- . E [lx] représente l'**éclairage prévu** pour le local (§ 2.03),
- . U représente l'**utilance**, caractéristique du local et du système d'éclairage (§ 2.04/2.05),
- . δ représente le **facteur de dépréciation** des luminaires, et η le **rendement** de ces luminaires, le **ratio** (δ/η) étant fourni par le paragraphe 2.06.

Auparavant, avant d'effectuer les calculs il faut définir le **type d'éclairage** utilisé (§ 2.02).

2.02. Le classement des configurations

Les luminaires peuvent relever de deux classements, le premier étant découplable en deux.

1. Les **luminaires** sont d'abord classés selon la **répartition des flux** vers le haut et vers le bas, (deux classements ci-contre).

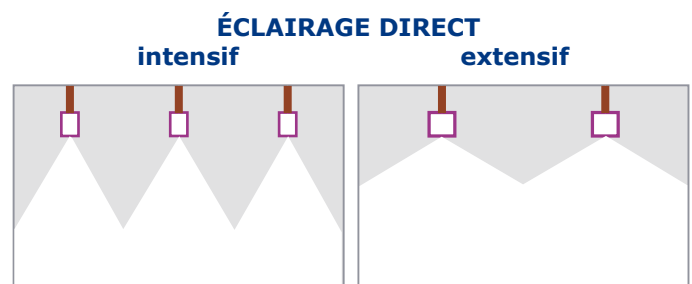
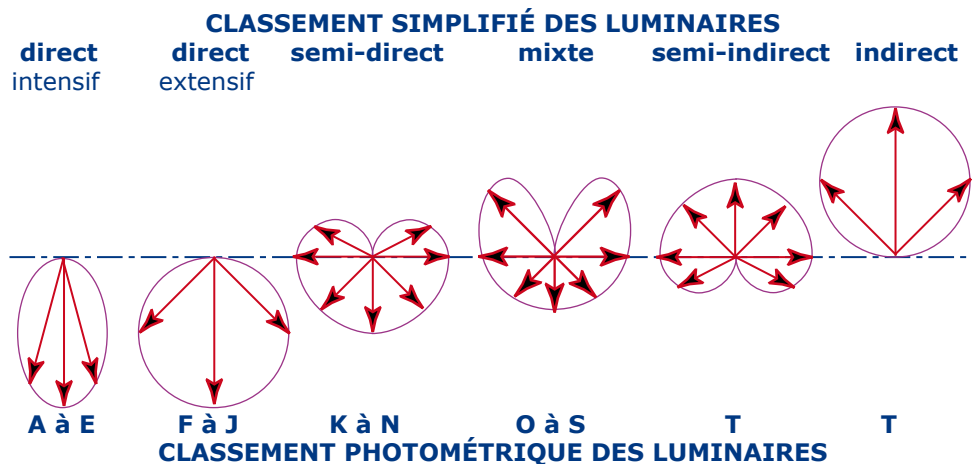
1a. **Classement simplifié** selon le **pourcentage vers le bas** :

- direct** : plus de 90 %,
- semi-direct** : de 60 à 90 %,
- mixte** : de 40 à 60 %,
- semi-indirect** : de 10 à 40 %,
- indirect** : moins de 10 %.

1b. **Classement photométrique**, celui-ci étant plutôt réservé aux spécialistes (classes A, B, C, etc., voir le livret **L12**).

2. Les **luminaires** peuvent être également classés selon l'**extensivité** du flux lumineux émis, avec deux situations extrêmes (voir schéma ci-contre) :

- . les éclairages **intensifs**, au flux majoritairement dirigé sous le luminaire,
- . les éclairages **extensifs** à flux étendu sous quasi-toute la surface du luminaire.



2.03. Le calcul des installations

Toute installation d'éclairage doit, normalement, résulter d'une étude et d'un calcul absolument indispensable, qui peut toutefois supporter différentes versions. Cette étude, une fois choisis les *lampes* et *luminaires*, dimensionne l'installation (*nombre* et *disposition* des lampes et luminaires), et ce en fonction des caractéris-

tiques du *local éclairé* et de la nature des *activités visuelles* à y effectuer.

Ce calcul d'installation, mettant en jeu d'assez nombreux concepts et procédures, est regroupé (avec le calcul prévisionnel des consommations) dans un livret spécial, à paraître : **L12. Les calcul d'éclairage.**

3. L'ÉCLAIRAGE NATUREL

3.01. Le facteur de jour

Le **facteur de jour** (ou **facteur de lumière du jour**) est le rapport entre :

- . l'éclairement intérieur en un point du plan utile
- . et l'éclairement extérieur horizontal de la voûte du ciel.

La seule application ici retenue (les autres étant très conventionnelles et pratiquement inappliquées) consiste à utiliser le concept pour calculer les durées d'éclairage artificiel. En fait l'expérience prouve :

- . qu'en cas de *commande manuelle* de l'éclairage les occupants présentent des comportements variés et très peu prévisibles, rendant les calculs assez arbitraires,
- . qu'en cas de *commande automatique* de l'éclairage on peut, par contre, se baser sur la méthode fournie à la suite.

LE CALCUL DU FACTEUR DE JOUR

Le calcul complet des facteurs de jour dans un local peut être assez complexe. Nous nous limitons ici :

- . à l'évaluation du **facteur de jour le plus défavorable** dans chaque local éclairé naturellement,
- . à un *calcul assez simplifié*, mais souvent suffisant.

La méthode adoptée s'articule en trois phases :

1. déterminer les *angles de référence* qui serviront de base aux calculs ultérieurs (§ 3.02),
2. calculer le «*facteur référentiel*», qui exploite les angles déterminés au paragraphe précédent (§ 3.03),
3. in fine, déterminer les «*correctifs de vitrage*», cette dernière phase faisant intervenir le détail des fenêtres (§ 3.04).

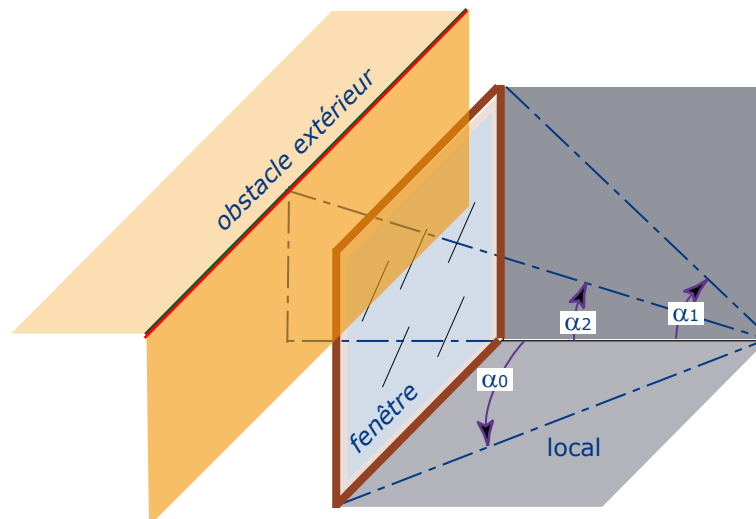
3.02. Le calcul du facteur de jour : les angles de référence

La méthode implique que vous déterminiez d'abord les angles α_0 , α_1 et α_2 définis par le schéma ci-dessous. L'utilisation des données géométriques conduisant normalement à des tangentes, vous pouvez transformer celles-ci en angles grâce au tableau ci-contre qui vous fournit :

- . en fonction de la *tangente*, facile à déterminer en fonction de la fenêtre et des obstacles,
- . l'angle α (α_0 , α_1 ou α_2 , en degré) qui lui correspond et que vous pouvez utiliser par la suite.

tg	0,18	0,20	0,25	0,30	0,35	0,40	0,45
[deg]	10,2	11,3	14,0	16,7	19,3	21,8	24,7
tg	0,50	0,55	0,60	0,65	0,70	0,75	0,80
[deg]	26,6	28,8	31,0	33,0	35,0	36,9	38,7
tg	0,85	0,90	0,95	1,00	1,10	1,20	1,30
[deg]	40,4	42,0	43,5	45,0	47,7	50,2	52,4
tg	1,40	1,50	1,60	1,80	2,00	2,20	2,40
[deg]	54,5	56,3	58,0	60,9	63,4	65,6	67,4
tg	2,60	2,80	3,00	3,50	4,00	5,00	6,00
[deg]	69,0	70,3	71,6	74,1	76,0	78,7	80,5

Définition des angles de référence



3.03. Le calcul du facteur de jour : le facteur de référence

LE FACTEUR DE RÉFÉRENCE

Une fois les angles α_1 , α_2 et α_3 déterminés, vous pouvez déterminer le **facteur de référence** F_0 du local au moyen de la formule :

$$F_0 = f(\alpha_0, \alpha_1) - f(\alpha_0, \alpha_2),$$

dans laquelle apparaissent les fonctions :

$$f(\alpha_0, \alpha_1) \text{ et } f(\alpha_0, \alpha_2)$$

qui ne sont que des fonctions $f(\alpha_0, \alpha_i)$ dont les valeurs sont fournies en fonction de α_0 , α_1 et α_2 au tableau fourni ci-dessous, avec les conventions suivantes.

. Le paramètre α_0 est, dans tous les cas, celui défini au schéma de la page précédente,

. Le paramètre α_i du tableau vaut : soit α_1 soit α_2 (définis également au schéma de la page précédente).

EXEMPLE

$$\alpha_0 = 40 \text{ [deg]}, \alpha_1 = 45 \text{ [deg]}, \alpha_2 = 20 \text{ [deg]}$$

D'après la table ci-dessous :

$$. f(\alpha_0, \alpha_1) = f(40, 45) = 0,051$$

$$. f(\alpha_0, \alpha_2) = f(40, 20) = 0,011$$

$$. F_0 = f(\alpha_0, \alpha_1) - f(\alpha_0, \alpha_2) = 0,040$$

α_0	$f(\alpha_0, \alpha_i)$										
	$\alpha_i = 10^\circ$	$\alpha_i = 15^\circ$	$\alpha_i = 20^\circ$	$\alpha_i = 25^\circ$	$\alpha_i = 30^\circ$	$\alpha_i = 35^\circ$	$\alpha_i = 40^\circ$	$\alpha_i = 45^\circ$	$\alpha_i = 50^\circ$	$\alpha_i = 55^\circ$	$\alpha_i = 60^\circ$
10 °	0,001	0,002	0,003	0,005	0,007	0,009	0,011	0,014	0,016	0,019	0,021
15 °	0,001	0,003	0,005	0,007	0,010	0,014	0,017	0,021	0,024	0,028	0,031
20 °	0,002	0,004	0,006	0,010	0,013	0,018	0,022	0,027	0,032	0,037	0,041
25 °	0,002	0,004	0,008	0,012	0,017	0,022	0,028	0,034	0,040	0,046	0,051
30 °	0,002	0,005	0,009	0,014	0,019	0,026	0,033	0,040	0,047	0,054	0,061
35 °	0,003	0,006	0,010	0,016	0,022	0,029	0,037	0,045	0,054	0,062	0,070
40 °	0,003	0,006	0,011	0,017	0,024	0,033	0,041	0,051	0,061	0,070	0,080
45 °	0,003	0,007	0,012	0,019	0,027	0,036	0,045	0,056	0,067	0,077	0,088
50 °	0,003	0,007	0,013	0,020	0,028	0,038	0,049	0,060	0,072	0,084	0,096
55 °	0,003	0,008	0,014	0,021	0,030	0,040	0,052	0,064	0,077	0,090	0,103
60 °	0,004	0,008	0,014	0,022	0,031	0,042	0,054	0,067	0,081	0,095	0,110
65 °	0,004	0,008	0,015	0,023	0,032	0,043	0,056	0,069	0,084	0,099	0,115
70 °	0,004	0,008	0,015	0,023	0,033	0,044	0,057	0,071	0,086	0,103	0,120
75 °	0,004	0,008	0,015	0,023	0,033	0,045	0,058	0,072	0,088	0,105	0,122
80 °	0,004	0,008	0,015	0,023	0,033	0,045	0,058	0,073	0,089	0,106	0,124

3.04. Le calcul du facteur de jour : le correctif de vitrage

LE CORRECTIF DE VITRAGE

Le **facteur de jour minimal** est finalement donné par l'expression suivante, F_0 étant fourni par le calcul (paragraphe) précédent :

$$\text{FACTEUR DE JOUR MINIMAL} = c_1 c_2 F_0,$$

Dans cette formule c_1 et c_2 sont des correctifs dépendant du **vitrage** et de sa **configuration**.

LE COEFFICIENT c_1

Le coefficient c_1 possède les valeurs (approchées) suivantes :

- . **simple vitrage** : $c_1 = 0,53$
- . **double vitrage** : $c_1 = 0,45$
- . **triple vitrage** : $c_1 = 0,38$
- . **verre dépoli (simple vitrage)** : $c_1 = 0,45$
- . **verre opale (simple vitrage)** : $c_1 = 0,25$
- . **pavé de verre 50 mm** : $c_1 = 0,25$
- . **pavé de verre 65 mm** : $c_1 = 0,20$

LE COEFFICIENT c_2

Pour déterminer la valeur de c_2 il faut tenir compte de l'espace occupé par le vitrage et de sa position par rapport à la paroi dans laquelle il est situé. Plus précisément il faut tenir compte des paramètres suivants :

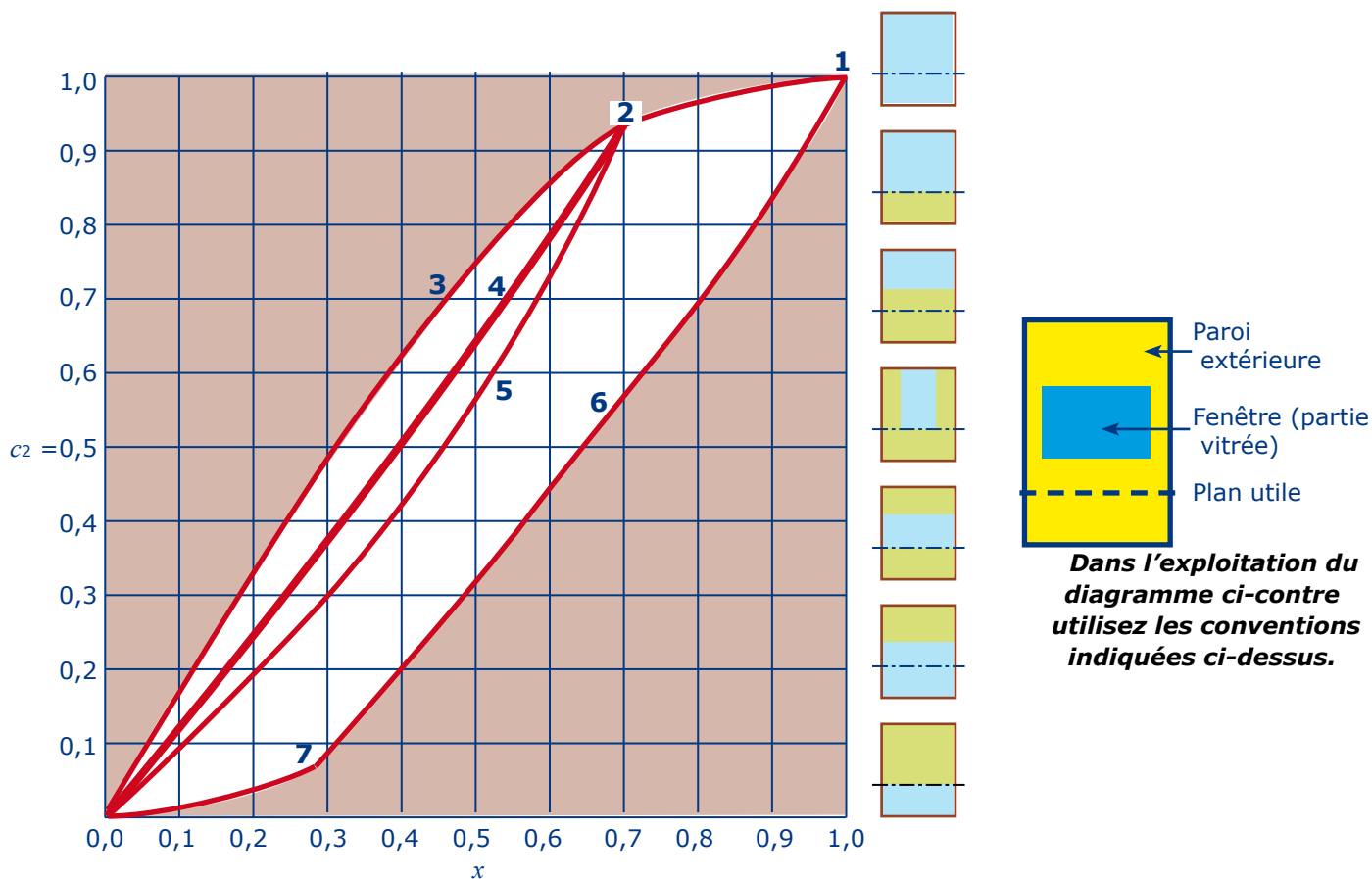
. la surface relative du vitrage par rapport à l'ensemble de la paroi (x),

. la configuration du vitrage par rapport à l'ensemble de la paroi (profils de 1 à 7).

Il faut fixer ces paramètres avant d'utiliser le diagramme de la page suivante, diagramme qui fournit la valeur de c_2 en fonction des deux paramètres suivants:

. x qui représente le rapport de la surface vitrée nette à la surface globale de la paroi dans laquelle le vitrage est inclus,

. la configuration (1 à 7), chaque courbe correspondant à l'emplacement du vitrage dans la paroi extérieure.



3.05. L'influence sur l'éclairage artificiel

RÉSERVES DE DÉPART

Le niveau plus ou moins élevé d'éclairage naturel influe sur l'utilisation de l'éclairage artificiel. Malheureusement les études in situ révèlent des comportements très variés des occupants. De sorte que les calculs qui suivent ne sont vraiment utiles que si la mise en service de l'éclairage artificiel est automatisée.

PRINCIPES DE CALCUL

Pour effectuer ces calculs nous conseillons, en France métropolitaine, de se baser sur les éclairements (horizontaux) extérieurs fournis, pour chaque heure (solaire), à la table ci-dessous.

N.B. Cette table est exprimée en jours, alors que le calcul s'effectue apparemment en heures (voir exemple).

heure solaire	Nombre de jours par an où l'éclairement extérieur est inférieur à ...						
	2000 [lx]	3000 [lx]	4000 [lx]	5000 [lx]	6000 [lx]	8000 [lx]	10 000 [lx]
5 ou 19	275-290	285-295	300-300	310-300	315-300	320-300	325-305
6 ou 18	200-200	215-205	230-215	245-220	250-225	265-230	275-235
7 ou 17	125-100	140-110	160-125	175-140	190-145	200-155	210-160
8 ou 16	60-20	80-40	100-50	120-65	130-75	150-85	160-90
9 ou 15	25-5	40-10	55-15	70-20	85-25	105-35	120-45
10 ou 14	10-0	20-5	30-5	40-10	50-10	70-20	90-25
11 ou 13	5-0	10-5	20-5	25-5	30-10	50-15	70-20

La table ci-dessus indique la fréquence en jour, avec deux valeurs (exemple : «275-290»)

- . la première valeur correspondant au Nord de la France (275 = Valenciennes)
- . la deuxième valeur correspondant au Sud (290 = Toulon).

EXEMPLE (Site : Paris, assimilé à France Nord (Valenciennes))

- . Facteur de jour minimal : 0,01 (1 %)
- . Eclairement intérieur de mise en service : 100 [lx]
- . Niveau d'éclairement extérieur déclenchant l'allumage :
 $100 / 0,01 = 10\ 000$ [lx]

. Occupation-éclairage : locaux utilisés 7 jours sur 7, de 7 h solaire à 19h

. Durée d'éclairage artificiel en heures par an
 $210+160+120+90+70+70+90+120+160+210+275+325 = 1900$ [h/an].

3.06. Les facteurs de jour recommandés

LE PRINCIPE DES RECOMMANDATIONS

Il n'existe pas de facteur de jour recommandé (même dans les normes nationales éventuelles) qui ne souffre du caractère extrêmement conventionnel des choix. La plupart du temps les deux bases sont les suivantes :

- . un éclairage minimum sur le plan utile en un point de référence,
- . un éclairage extérieur pris comme base, 3000 ou 5000 [lx] la plupart du temps.

Le tableau ci-contre en fournit un exemple.

UN EXEMPLE

Le tableau ci-dessous est établi pour la France métropolitaine, pour un éclairage extérieur de 5000 [lx].

tâche visuelle	éclairage <i>intérieur</i> [lx] correspondant	facteur de jour recommandé
circulation	50	0,01
tâche moyenne	100	0,02
tâche fine	150	0,03
tâche très fine	300	0,06