

**Roger Cadiergues**

**MémoCad nD41.a**

# **LES BASES DE L'ÉCLAIRAGE**

## **SOMMAIRE**

- mD41.1.** Les rayonnements
- mD41.2.** Mesure et évaluation des rayonnements
- mD41.3.** Le problème des couleurs
- mD41.4.** Le rendu des couleurs
- mD41.5.** Le rôle du local et des parois



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».

## nD41.1. LES RAYONNEMENTS

### CLASSER D'ABORD LES RAYONNEMENTS

Chaque **rayonnement** peut être caractérisé par sa **longueur d'onde**, la *longueur d'onde* étant mesurée en **micron**, ou micromètre [ $\mu\text{m}$ ] (parfois en nanomètre). Les rayonnements nous concernant ici sont classés schématiquement comme suit :

catégorie de rayonnement	longueur d'onde
rayonnement ultraviolet (UV)	0,1 à 0,38 [ $\mu\text{m}$ ]
rayonnement visible	0,38 à 0,78 [ $\mu\text{m}$ ]
rayonnement infra-rouge (IR)	> 0,78 [ $\mu\text{m}$ ]

1. 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.

2. Le **rayonnement visible**, qui joue le rôle central en éclairage, possède des efficacités lumineuses variables selon la longueur d'onde (voir ci-dessous).

3. 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.

### LES DEUX DOMAINES DE LA VISION

En éclairage on distingue traditionnellement deux domaines :

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

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

### LE RÔLE DES LONGUEURS D'ONDE

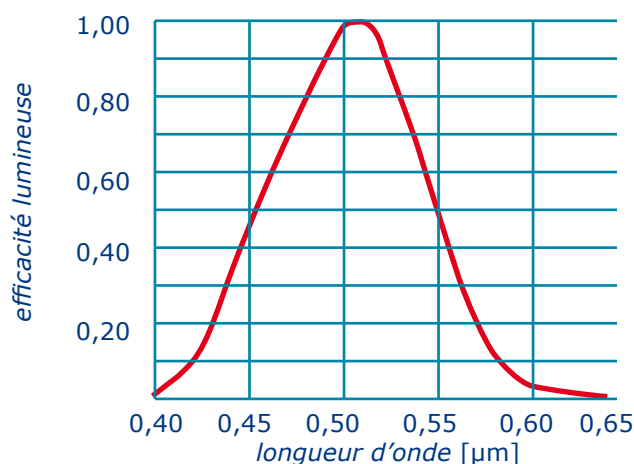
L'action visuelle de chaque rayonnement variant selon sa longueur d'onde, la définition des grandeurs lumineuses (paragraphe suivant) prend appui sur la fonction traduisant l'**efficacité visuelle** des rayonnements en fonction de leur longueur d'onde.

Cette efficacité est fournie, en fonction des longueurs d'onde :

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

Attention : toutes ces données ne valent que pour le domaine photopique.

D'une manière générale il s'agit là de valeurs de référence que, dans la pratique courante (hors fabricants de lampes) on n'a pas à utiliser directement.



### EFFICACITÉS LUMINEUSES

longueur d'onde [ $\mu\text{m}$ ]	effic. lumineuse	longueur d'onde [ $\mu\text{m}$ ]	effic. lumineuse	longueur d'onde [ $\mu\text{m}$ ]	effic. lumineuse	longueur d'onde [ $\mu\text{m}$ ]	effic. lumineuse	longueur d'onde [ $\mu\text{m}$ ]	effic. 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	-

## mD41.2. MESURE ET ÉVALUATION DES 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 m<sup>2</sup>]**.
  - . Le flux surfacique reçu par une surface est l'**éclairement énergétique**. Il se mesure en **watt par mètre carré [W/m<sup>2</sup>]**.
- 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 DE LA FICHE PRÉCÉDENTE. 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* en unités «visuelles».

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 les longueurs d'onde et 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]** caractérisant la quantité de lumière par quantité d'énergie. On utilise également les grandeurs suivantes.

- . le *flux lumineux* émis par une source, dans une direction, dite **intensité lumineuse** et mesurée en **candela [cd]** ;
- . la **luminance**, qui est l'intensité dans une direction, mesurée en **candela par mètre carré [cd/m<sup>2</sup>]** ;
- . l'**éclairement** qui est le flux lumineux reçu par mètre carré de surface éclairée, qui 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 (par suite des risques d'éblouissement) par leur *luminance*.

### ASSURER LE CONFORT ET L'EFFICACITÉ VISUELS : LES DEUX CRITÈRES DE BASE

En éclairage les deux critères essentiels de qualité sont :

- . l'**éclairement** des *objets*,
  - . la **luminance** des *sources*.
1. L'*éclairement*, exprimé en lux [lx] est la caractéristique la plus traditionnelle. Des *tables*, 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/m<sup>2</sup>] 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.).

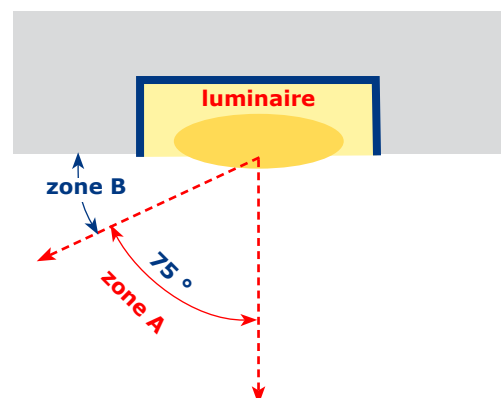
Par exemple, si - en éclairage artificiel - vous utilisez les références adoptées par le schéma ci-dessous, vous pouvez utiliser les critères suivants, l'objectif de limitation des luminances étant d'éviter l'atteinte directe des yeux, ou la réflexion sur un écran.

#### DEUX CRITÈRES TYPES DE BASE

**A.** Dans la zone A (0 à 65 °) **calculer l'éclairement** : il suffit que celui-ci atteigne une valeur suffisante (voir, par exemple les recommandations du livret **nd43**).

**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/m<sup>2</sup>].

Définition des zones A et B



## nD41.3. LE PROBLÈME DES COULEURS

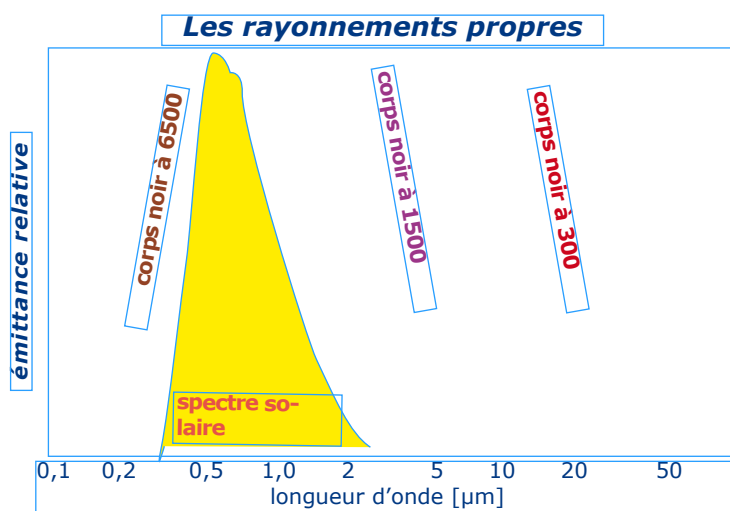
Parmi les principaux types de rayonnement nous allons, ici, retenir les deux types suivants :

- le **rayonnement propre**, celui de tous corps face à un milieu transparent, fonction de la température superficielles 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-dessous, chaque «corps noir» étant caractérisé par sa température mesurée en kelvin [K].



Comme déjà indiqué il faut classer les rayonnements, selon le domaine de longueurs d'onde, dans les trois catégories fondamentales que sont l'**ultraviolet** (longueurs d'onde de moins de 0,38  $\mu\text{m}$ ), le **visible** (longueurs d'onde comprises entre 0,38 et 0,78  $\mu\text{m}$ ), l'**infrarouge** (longueurs d'onde de plus de 0,78  $\mu\text{m}$ ). Dans la partie du rayonnement située dans le visible, la lumière se traduit par des **couleurs** différentes selon la longueur d'onde, ainsi que l'indique la table ci-dessous, limitée à des valeurs types.

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

### LA TEMPÉRATURE DE COULEUR

En éclairage la couleur joue un rôle croissant, conduisant à choisir les sources selon leur **température de couleur**. Cette dernière, mesurée en kelvin [K], est celle du rayonnement propre le plus proche en couleur apparente : c'est ainsi que la lumière de chaque type de lampe est caractérisée par sa température de couleur, la température de couleur, notée ici  $T_c$ , exprimée en kelvin [K], étant liée à l'impression visuelle. Cette dernière peut être classée 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, ainsi qu'indiqué à la fiche suivante.

## mD01.4. LE RENDU DES COULEURS

### UNE PREMIÈRE APPROCHE

D'une manière générale la température de couleur de la source de lumière doit être 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].

Mais il existe une autre manière - normalisée - de spécifier cette obligation : le **rendu des couleurs**.

### LE RENDU DES COULEURS

Le rendu des couleurs, qui permet de mesurer l'adaptation d'un éclairage au rendu correct des objets, est une notion surtout utilisée en éclairage artificiel, exprimé au travers du paramètres suivant :

l'**indice de rendu de couleurs** (noté jadis **IRC**, noté maintenant  **$R_a$** ).

Cet indice repose sur un classement conventionnel noté 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-dessous. Sur le plan pratique :

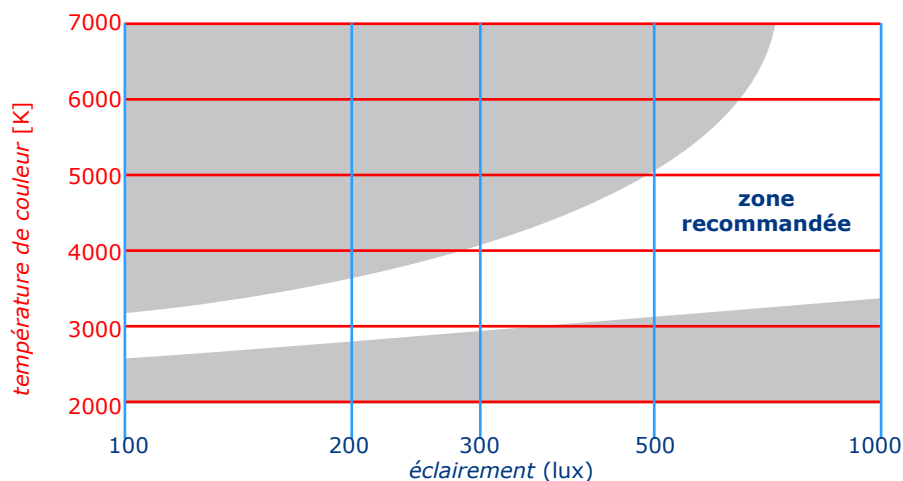
- . une valeur de 80 est suffisante dans les circulations, mais insuffisante ailleurs,
- . une valeur de 85 est satisfaisante dans la plupart des locaux occupés,
- . une valeur de 90 est souhaitable dans les zones plus critiques sur le plan colorimétrique (ex. : locaux d'enseignement spécialisé, zones de vente ou d'exposition, etc.).

### SIGNIFICATION DE L'INDICE DE RENDU DES COULEURS

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

### UNE AUTRE PRÉSENTATION

Elle consiste à choisir la couleur en fonction de l'éclairement en zone ombrée (diagramme de Kruthof ci-dessous) :



## nD41.5. LE RÔLE DU LOCAL ET DE SES PAROIS

Les résultats obtenus et la qualité de l'éclairage dépendent, non seulement, de l'équipement lui-même, mais également du local éclairé. C'est la raison pour laquelle le présent livret est complété par les deux livrets suivants :

- . nD42 : **Les sources de lumière** (artificielle), qui traite de l'équipement,
- . nD43 : **Les installations d'éclairage**, qui traite des locaux et des calculs d'installations.

**ATTENTION** : ces livrets complémentaires ne concernent que l'éclairage artificiel, l'éclairage naturel étant traité avec le bâti (nF10 : **L'éclairage naturel**).

### L'ÉCLAIREMENT EN UN POINT D'UN 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**, dit **plan utile**. 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 par le facteur de réflexion :

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

Dans tout 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 nD03) 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 nD43.

<b>VALEURS TYPES DES FACTEURS DE RÉFLEXION</b>		
<b>Zone</b>	<b>Facteurs de réflexion</b>	
	<b>réels</b>	<b>de calcul (mD03)</b>
<b>plafond</b>	0,5 à 0,9	<b>0,5   0,7</b>
<b>murs</b>	0,4 à 0,8	<b>0,1   0,3   0,5</b>
<b>sol</b> ( <i>plan utile</i> )	0,1 à 0,3 -	- <b>0,1</b>