

Introduction aux techniques de l'éclairage

J.J. Embrechts, chargé de cours à l'Université de Liège
Département d'électricité, électronique et informatique (Institut Montefiore)

Résumé

L'éclairage est l'ensemble des moyens mis en œuvre pour permettre la perception visuelle correcte de notre environnement. Cet article définit tout d'abord les grandeurs (et leurs unités) attachées au rayonnement lumineux, grandeurs qui seront utilisées par les éclairagistes pour analyser la répartition de la lumière dans notre champ visuel : la luminance, l'éclairement, le flux lumineux et l'intensité. Nous montrons également comment la définition de ces grandeurs est intimement liée à notre système visuel, et en particulier à la sensibilité spectrale de l'œil. Après un bref aperçu des recommandations et des projets d'éclairage, nous terminerons par quelques principes de base relatifs à la couleur de la lumière.

1. Eclairage, vision et lumière

La Commission Internationale de l'Eclairage (C.I.E.) définit ainsi l'éclairage dans son Vocabulaire International [1] :

« Application de lumière à un site, à des objets ou à leur entourage pour qu'ils puissent être vus ».

Les techniques de l'éclairage sont donc indissociables de la vision, et leur mise en œuvre sera toujours conditionnée par un objectif primordial : celui de « bien voir », celui de bien percevoir notre environnement à travers notre sens visuel.

La vision est, parmi nos cinq sens, celui qui nous aide à nous déplacer dans l'espace, celui qui nous permet de repérer des obstacles et de les éviter. Grâce à la vision, nous pouvons reconnaître les objets de notre environnement, nous pouvons lire un texte, nous pouvons apprécier une toile de maître. Bien éclairer, c'est donc avant tout apporter les moyens techniques pour que nous puissions mener toutes ces actions dans les meilleures conditions.

La lumière est la matière première de l'éclairagiste. Comme un artisan, il va la produire au moyen de sources lumineuses, la façonner et la transformer, en qualité et en quantité, jusqu'à obtenir l'effet désiré. Pour les physiciens et les ingénieurs, la lumière est avant tout un rayonnement électromagnétique, dont la longueur d'onde est comprise entre 0.38 et 0.78 micron. Ce rayonnement lumineux transporte de l'énergie électromagnétique que l'on caractérise par sa **puissance**, qui représente l'énergie émise, transportée ou observée en une seconde. La puissance est exprimée en **watts**.

La figure 1 représente le **spectre** lumineux : les longueurs d'onde électromagnétiques y sont associées aux couleurs observables dans l'arc-en-ciel. En dehors de ce petit intervalle de longueurs d'onde, pas de vision possible donc : les radiations de longueurs d'onde immédiatement inférieures à 0.38 micron sont les ultra-violets, tandis que celles supérieures à 0.78 micron sont les infra-rouges.

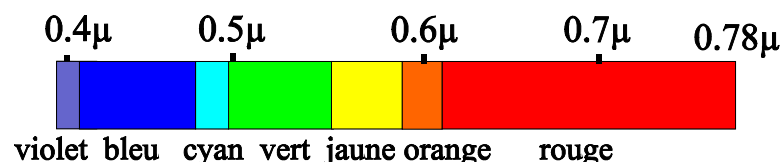


Figure 1 : Spectre lumineux.

Cette figure exprime bien le lien étroit entre la longueur d'onde et la **couleur**, qui est avant tout une sensation résultant de l'interprétation de la lumière par notre cerveau. Pour analyser la couleur d'une lumière, l'éclairagiste

a l'habitude de porter dans un diagramme la puissance rayonnée en fonction de la longueur d'onde : il obtient ainsi la **répartition spectrale** de la puissance rayonnée, ou encore (en abrégé) le spectre (figure 2).

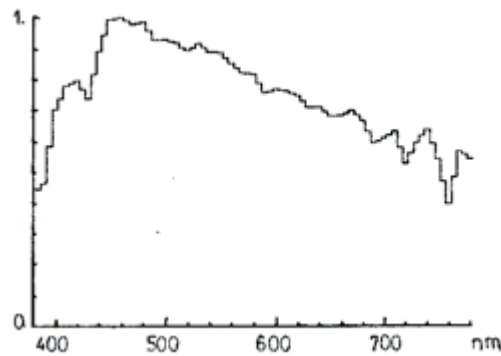


Figure 2 : Spectre typique de la lumière du jour par ciel couvert. En abscisse : la longueur d'onde en nanomètres. En ordonnée : la densité de puissance spectrale, en unités relatives.

Selon la répartition de la puissance rayonnée dans le spectre, l'éclairagiste pourra ainsi conclure si cette lumière tend vers le bleu, le rouge, ou une autre couleur de l'arc-en-ciel. Une lumière dont la puissance est répartie de manière équilibrée dans l'intervalle de longueurs d'onde visibles $[0.38\mu\text{m}, 0.78\mu\text{m}]$ est dite (et perçue) blanche. Telle est la lumière naturelle (du jour), représentée à la figure 2. Mais attention : la lumière blanche n'est pas unique ! On pourrait obtenir le même effet visuel de lumière blanche avec un spectre de trois raies : une bleue, une verte et une rouge. Cette propriété de notre système visuel d'attribuer la même couleur (blanche, en particulier) à plusieurs rayonnements de spectres différents s'appelle le **métamérisme**.

2. Scène visuelle et luminance

Comme un appareil photographique, notre œil forme sur la **rétine** l'image (en deux dimensions) de notre champ visuel. La figure 3 représente une **scène visuelle** particulière, ce qui est un autre mot pour désigner l'image (à un instant donné) de notre champ visuel.



Figure 3 : Une scène visuelle.

Dans cette scène, nous reconnaissons des sources de lumière artificielles (les spots encastrés au plafond), des sources naturelles (à travers les vitrages), mais aussi de nombreux objets qui réfléchissent la lumière, c'est-à-dire

qu'ils nous sont visibles parce qu'ils renvoient vers notre œil une partie de la lumière qu'ils reçoivent directement des sources.

Ce qu'il faut bien comprendre, c'est qu'à chaque « pixel » de cette image formée sur la rétine correspond **dans l'espace réel** une très petite surface, appartenant à une source ou à un objet, cette surface envoyant en direction de l'œil de l'observateur un rayonnement lumineux. Cette situation est représentée schématiquement par la figure 4.

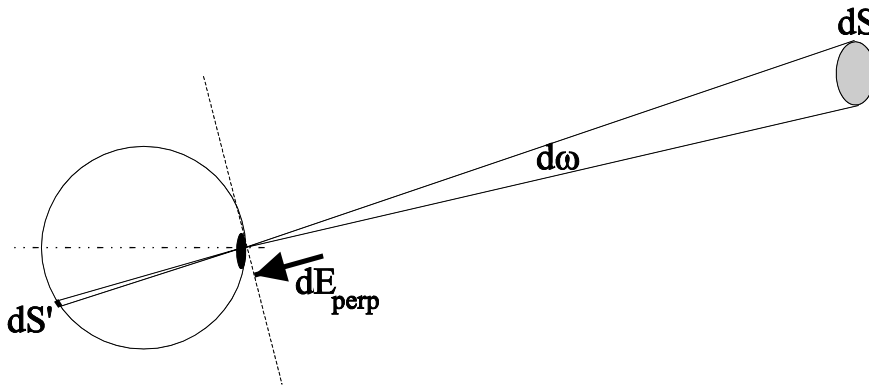


Figure 4 : La surface élémentaire « réelle » dS envoie, en direction de l'œil de l'observateur, un rayonnement lumineux qui forme sur la rétine le « pixel » dS' ; $d\omega$ est l'angle solide sous lequel la surface dS est vue par l'œil. La luminance $L(dS) = dE_{\text{perp}} / d\omega$.

Il est dès lors évident que plus le rayonnement lumineux envoyé par dS est intense (en terme de puissance rayonnée), plus la rétine sera illuminée et plus le « pixel » correspondant apparaîtra « clair ». Et inversement : les objets sombres (noirs à la limite) sont ceux qui envoient peu (pas) de lumière.

Comment caractériser la quantité d'énergie lumineuse qui, émise par dS , atteint finalement la rétine ? Les éclairagistes ont défini pour ce faire le concept de **luminance** : par définition, la luminance de la surface « rayonnante » dS est le rapport entre :

- l'éclairement (le nombre de watts par m^2) qu'elle produit par son rayonnement sur une surface plane passant par la pupille et perpendiculaire au rayonnement
- et l'angle solide $d\omega$ sous lequel elle est vue (voir figure 4).

Cette définition peut sembler un peu compliquée : retenons avant tout que plus la luminance d'une surface est élevée, plus elle nous apparaît lumineuse (brillante) et inversement. De telle manière que l'on puisse affirmer finalement que **la scène visuelle est l'image de la répartition des luminances dans notre champ visuel**.

Ainsi, comment pouvons-nous identifier un objet dans notre environnement ? Comment pouvons-nous interpréter une ligne d'écriture à l'encre noire sur une feuille blanche ? Nous le pouvons parce que l'objet (ou l'encre) a une **luminance** différente du fond, de l'entourage, des objets voisins. C'est le **contraste** de luminances, c'est-à-dire la différence relative des luminances, qui va permettre cette tâche visuelle d'identification ou de discrimination (nous ne parlerons pas ici du contraste entre les couleurs ou les textures, qui est un autre moyen d'identification).

C'est dire si le concept de luminance et de contraste de luminances est important en éclairage.

D'après la définition précédente, la luminance s'exprime en watts par m^2 et par stéradian ($Wm^{-2}sr^{-1}$), le stéradian étant l'unité d'angle solide. C'est ce que l'on appelle dans le jargon des éclairagistes la luminance **énergétique**. Pour introduire la « vraie » luminance, la luminance « lumineuse », il nous faut tout d'abord présenter la photométrie.

3. Sensibilité de l'œil en longueur d'onde et photométrie

Le watt est l'unité de puissance des physiciens. Elle ne tient pas compte des caractéristiques propres au récepteur de rayonnement et considère indifféremment toutes les composantes spectrales de la lumière. Autrement dit,

pour mesurer la puissance totale d'un rayonnement lumineux tel que celui de la figure 2, il suffit d'additionner la puissance de toutes les composantes spectrales (cfr. le spectre) comprises entre $0.38\mu\text{m}$ et $0.78\mu\text{m}$.

L'éclairagiste raisonne un peu différemment. Pour lui, les composantes spectrales d'une lumière ne sont pas toutes de même importance. Cela peut se comprendre en analysant la sensibilité de notre système visuel en fonction de la longueur d'onde λ : la fameuse courbe $V(\lambda)$, représentée à la figure 5. Celle-ci exprime qu'à puissance égale (en watts), ce sont les composantes proches de 555nm ($0.555\mu\text{m}$) qui sont les mieux perçues par l'œil, en termes d'intensité. Par contre, l'œil est relativement moins sensible aux composantes spectrales bleues ou rouges.

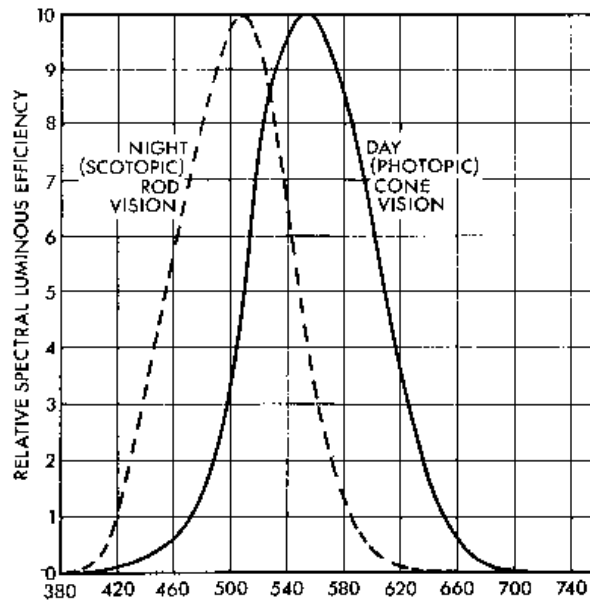


Figure 5 : En trait plein, la courbe de sensibilité de l'œil $V(\lambda)$ pour la vision de jour, en fonction de la longueur d'onde exprimée en nanomètres. En traits discontinus, courbe de sensibilité pour la vision de nuit : $V'(\lambda)$.
D'après la publication [2].

Si, lors de la mesure de puissance, chaque composante spectrale, de puissance $w(\lambda)d\lambda$, est pondérée par la sensibilité de l'œil $V(\lambda)$, on obtient alors une nouvelle grandeur, image de la puissance « perçue par l'œil », que l'on appelle le **flux lumineux** (ϕ). Donc, en éclairage, plutôt que de parler de la puissance rayonnée par une lampe en watts, on parlera de son flux lumineux en **lumens** :

$$\phi = 683 \int_{0.38\mu\text{m}}^{0.78\mu\text{m}} w(\lambda)V(\lambda)d\lambda \quad (1)$$

Dans cette définition, le constante « 683 » est un facteur de conversion d'unité, permettant de passer des watts aux lumens (puisque $V(\lambda)$ n'a pas de dimension). A titre indicatif, une ampoule à incandescence consommant 100W (watts électriques) émet un flux d'environ 1400 lumens, alors qu'un tube fluorescent de 1m50 de long produit 5000 lumens.

On définit parfois le flux lumineux d'une manière plus simple : « le flux, exprimé en lumens, est la quantité de lumière émise ou observée par seconde ». Cette définition, plus imagée mais moins scientifique, cache en réalité ce qu'on entend par « quantité de lumière ». La définition (1) est, à ce propos, sans ambiguïté.

Avec la définition du flux lumineux, nous entrons dans le domaine de la **photométrie**, cette science qui étudie et évalue les grandeurs se rapportant au rayonnement en tenant compte de $V(\lambda)$.

En photométrie, la puissance reçue par unité de surface (**l'éclairement**) ne s'exprime plus en watts par m^2 , mais en lumens par m^2 ou **lux**. La puissance émise par unité d'angle solide (**l'intensité**) s'exprime en lumens par stéradian ou **candélas (Cd)**. La luminance ne s'exprime plus en $\text{Wsr}^{-1}\text{m}^{-2}$, mais en **candélas par m^2 (Cdm^{-2})**.

Quelques ordres de grandeur : l'installation d'éclairage artificiel d'un bureau est conçue pour obtenir environ 500 lux sur la table de travail, mais l'éclairage naturel est capable de donner (par ciel couvert) plus de 20000 lux, au mois de juin et à midi, sur un sol extérieur en rase campagne (espace dégagé). Cet éclairement naturel est cependant essentiellement variable selon l'heure, le mois de l'année, le lieu géographique et le climat. En éclairage public, la luminance d'une chaussée doit être (en moyenne) de 2 Cd m^{-2} , alors que les luminances des surfaces en éclairage intérieur (lampes non comprises) sont de l'ordre de 10 à 100 Cd m^{-2} . La luminance d'un ciel approche les 100000 Cd m^{-2} .

La vision de jour, dite « photopique », correspond à des niveaux de luminance supérieurs à 1 Cd m^{-2} . Pour des luminances inférieures, le maximum de la courbe de sensibilité $V(\lambda)$ se déplace vers les courtes longueurs d'onde (vers les bleus). A très basse luminance (de l'ordre de 0.01 Cd m^{-2}), on est dans le domaine « scotopique », avec une courbe de sensibilité standardisée $V'(\lambda)$, dont le maximum est à 505nm (voir figure 5). La cause de cette modification de sensibilité spectrale est le passage d'une vision basée sur les récepteurs de type « cônes » aux récepteurs de type « bâtonnets », ces deux types de cellules photosensibles coexistant sur la rétine.

La photométrie nous donne également une relation fondamentale entre l'intensité I émise par une source de petites dimensions et l'éclairement E d'une surface située à « r » mètres de distance :

$$E = \frac{I \cos \alpha}{r^2} \quad (2)$$

Dans cette relation, α est l'angle d'incidence du rayonnement lumineux sur la surface (figure 6). Cette loi fondamentale indique que l'éclairement diminue en raison inverse du carré de la distance à la source.

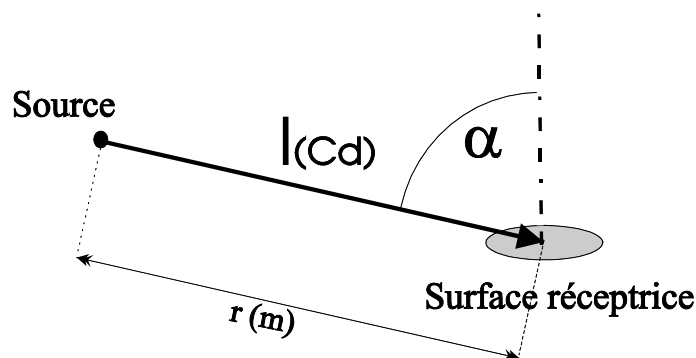


Figure 6 : Loi fondamentale de la photométrie

4. Eclairement ou luminance ?

Le concept de luminance découlant directement de notre perception de la scène visuelle, il semblerait logique que les critères d'un bon éclairage spécifient une répartition adéquate des luminances dans notre champ visuel. Cependant, à l'heure actuelle, de nombreuses normes et recommandations s'appuient encore sur l'éclairement, plutôt que sur la luminance.

Les raisons en sont multiples. Tout d'abord, si la luminance dépend du type d'objet réfléchissant la lumière en direction de l'œil, l'éclairement du même objet ne dépend que de l'installation d'éclairage. Il est donc plus simple, par l'éclairement, de spécifier la quantité de lumière reçue par les objets et surfaces d'un espace, que d'imposer une répartition de luminances (ce qui nécessiterait de définir les objets). Les recommandations en éclairage sont donc plutôt libellées comme la réalisation d'un certain éclairement moyen (en lux) sur le plan de travail (bureau, tableau dans une salle de cours, le sol en éclairage de sécurité). Tout au plus accompagne-t-on ces recommandations de rapports d'uniformités de luminances ($L_{\max}/L_{\min}$ dans le champ visuel) à ne pas dépasser.

Une exception cependant : l'éclairage routier, où le champ visuel du conducteur est dominé par la chaussée (du moins hors agglomération). L'objet principal étant connu, on recommande ici de réaliser au moins 1.5 à 2 Cdm⁻² en moyenne sur la chaussée.

Autre raison : l'éclairement (le résultat à obtenir) est directement lié à l'émission de lumière par les sources et à leur position dans l'espace, par la loi fondamentale de photométrie (2). Par conséquent, il est plus simple de « calculer » une installation d'éclairage en se basant sur des critères d'éclairement. Plusieurs outils mathématiques et informatiques sont aujourd'hui à la disposition du concepteur : le lecteur intéressé pourra en trouver une description plus détaillée dans la publication [3].

Enfin, les instruments de mesure, qui permettent d'analyser une situation d'éclairage ou de vérifier si une installation est conforme, sont là aussi très différents. L'éclairement est mesuré par un **luxmètre** : une photopile, posée sur la surface réceptrice (la table de travail, par exemple) délivre un courant photoélectrique qui est mesuré par un galvanomètre. Un instrument très simple donc. Bien entendu, la photopile est associée à un filtre optique qui lui confère la même sensibilité spectrale que l'œil, c'est-à-dire $V(\lambda)$. Un **luminancemètre**, par contre, est souvent plus complexe, et donc plus onéreux. Cet instrument est équipé d'une optique pointue, de manière à ne mesurer que le rayonnement en provenance d'un angle de vision très étroit (souvent de l'ordre du degré). De plus, les rayonnements analysés étant de faible puissance, le photorécepteur utilisé doit être plus sensible que dans un luxmètre.

Toutes ces raisons de simplicité ou de convivialité militent donc en faveur de critères en éclairage. Mais comment exprimer une « quantité suffisante de lumière » à partir de la notion de « luminance ou contraste adéquats » ? De nombreuses études ont conduit à la définition de niveaux d'éclairement satisfaisants, en fonction de la tâche visuelle. Certains résultats de ces travaux sont résumés dans le tableau 1.

Eclairements recommandés (lux)	Type de tâche visuelle ou de local
20 – 30 - 50	Aires de circulations ou éclairage extérieur
100-150-200	Locaux de travail peu fréquentés
200-300-500	Tâches visuelles peu exigeantes
300-500-700	Tâches visuelles moyennement exigeantes (travail de bureau)
500-750-1000	Tâches visuelles exigeantes (examen des couleurs)
> 1000	Tâches spéciales demandant une vision accrue des détails (horlogerie, certains examens médicaux)

Tableau 1 : Inspiré de la publication C.I.E. 29.2 « Eclairage Intérieur » [4].

Il faut aussi savoir que l'éclairement et la luminance d'un objet ou d'une surface sont liés : ils sont même directement proportionnels ! En effet, plus un objet reçoit de lumière, plus son éclairement augmente, et plus l'intensité lumineuse qu'il réfléchira (en particulier en direction de l'œil de l'observateur) augmentera. Si l'éclairement de l'objet double ou triple, il en sera de même pour l'intensité réfléchie, et donc pour la luminance. Pour une catégorie particulière de surfaces (les surfaces diffusantes, qui renvoient la lumière dans toutes les directions), la relation simple suivante peut être adoptée :

$$L = \frac{\rho E}{\pi} \quad (3)$$

Dans cette formule, L est la luminance (par réflexion) de la surface considérée (en Cdm⁻²), E est son éclairement (en lux) et ρ son « facteur de réflexion », c'est-à-dire le rapport entre le flux lumineux réfléchi par cette surface et le flux lumineux incident ($0 < \rho < 1$).

5. L'installation d'éclairage

Une installation d'éclairage artificiel est constituée de sources (les lampes), de luminaires contenant les sources, de leurs fixations et de leur raccordement électrique. Le luminaire est « l'habillage » de la source : outre la

lampe, il comprend le boîtier, les éléments optiques (réflecteurs, grilles de défilement) et les auxiliaires électriques éventuels (starter, ballast, éventuellement transformateur).

Dimensionner une installation d'éclairage artificiel consiste, tout d'abord, à choisir un type de lampe et un type de luminaire répondant aux exigences fonctionnelles, de confort et/ou d'esthétique de l'espace à éclairer. Il s'agit ensuite de déterminer leur nombre et leur position dans l'espace de manière à atteindre les critères photométriques recommandés (éclairage ou luminance de la tâche visuelle).

Le projet d'éclairage peut ainsi être très simple : l'éclairage d'un petit bureau de forme parallélépipédique, par exemple, est un cas tout à fait classique qui ne pose aucune difficulté. Par contre, l'éclairage nocturne d'un monument classé peut à lui seul mobiliser toute une équipe de concepteurs : architectes-urbanistes, ingénieurs spécialisés en éclairage, électriciens et autres utilisateurs ou pouvoirs communaux. Il est clair que, dans un tel projet, l'aspect esthétique peut prendre le pas sur des arguments techniques ou économiques.

Mentionnons brièvement le cas de l'éclairage naturel. L'utilisation des vitrages dans un espace de travail est recommandée. Non seulement pour des raisons économiques évidentes liées à la consommation d'électricité, mais également pour des raisons de confort visuel. La lumière du jour, changeante, non uniforme, apporte dans un espace une dynamique agréable à l'œil, que ne permettent pas les installations d'éclairage artificiel. La fenêtre est en outre une ouverture vers l'extérieur, un contact avec le monde, et une occasion pour l'œil de reposer son système d'accommodation en « regardant au loin ».

Peu de recommandations existent actuellement pour la conception d'un projet d'éclairage naturel. Plus complexe, ce problème mobilise actuellement de nombreux chercheurs, notamment au sein de la C.I.E., dont le but est de mieux connaître les possibilités offertes par la lumière du jour et d'étudier les outils permettant de l'utiliser de la meilleure manière qui soit.

6. La couleur

Jusqu'à présent, notre approche de la scène visuelle et des grandeurs la caractérisant (éclairéments, luminances) a fait peu mention de la couleur. Or, c'est bien entendu une dimension importante de notre perception de l'environnement.

L'installation d'éclairage intervient principalement de deux manières sur la couleur de notre champ visuel : via la **température de couleur** et le **rendu des couleurs**.

Les éclairages fonctionnels utilisent des sources de lumière blanche, c'est-à-dire qu'elles émettent une lumière dont la répartition spectrale d'énergie est bien équilibrée dans le domaine visible de longueurs d'onde. Mais il est possible de distinguer plusieurs types de lumière blanche :

- on appellera « **blanc chaud** » un rayonnement lumineux dont la couleur blanche tend vers le jaune et le rouge (qui, psychologiquement parlant, sont qualifiées de couleurs chaudes, car elles nous rappellent le feu) ;
- un rayonnement lumineux « **blanc froid** », au contraire, est caractérisé par une couleur blanche qui tire vers le bleu ;
- un rayonnement « **blanc** », enfin, ne s'approche ni du jaune ou du rouge, ni du bleu.

Pour classer objectivement une lumière donnée dans une des trois catégories (autrement que par l'observation visuelle), on a défini une « mesure » adéquate : la température de couleur du rayonnement lumineux. Sans entrer dans des considérations scientifiques trop pointues, cette échelle de température fait référence à ce que l'on appelle en physique le corps noir. Ce corps, lorsqu'il est chauffé, émet un rayonnement lumineux par incandescence qui, en fonction de la température, passera par les trois phases précitées. A basse température, le corps noir « rougeoie ». Au delà de 3000K, le rayonnement devient « blanc » et, à très haute température, la couleur blanche du rayonnement tire vers le bleu.

Par définition, la température de couleur de la lumière émise par une lampe sera la température à laquelle il faut porter le corps noir pour atteindre la même « blancheur » de lumière. Par analogie avec le comportement du corps noir, on a déterminé les domaines suivants :

- le « blanc chaud » correspond à une température de couleur inférieure à 3000K ;
- le « blanc » correspond à une température de couleur comprise entre 3000K et (environ) 5000K ;
- le « blanc froid » ou « blanc lumière du jour » : au-delà de 5000K.

Certains types de lampes, comme les tubes fluorescents, existent dans les trois catégories. Le consommateur en sera informé par une inscription gravée sur la lampe elle-même (ou sur l'emballage), soit sous la forme du type de blanc, soit via la température de couleur.

Le choix de la lampe pour une application donnée pourra être guidé par la température de couleur. Ainsi, il semblerait que des espaces où un certain confort, une certaine intimité, soient recherchés (restaurants, livings d'habitations domestiques), un niveau d'éclairement modéré et une température de couleur basse soient préférés. L'éclairage des locaux de travail, au contraire, doit inspirer un certain dynamisme, d'où éclairage et température de couleur plus élevés.

Le **rendu des couleurs** est une autre propriété des lampes : il caractérise l'effet du rayonnement lumineux émis (et en particulier de sa répartition spectrale) sur la couleur des objets éclairés. Nous avons déjà tous observé la « déformation des couleurs » apportée par certaines lampes. Déformation par rapport à quoi ? En général, par rapport à l'idée que nous avons de la couleur des objets lorsqu'ils sont éclairés par la lumière naturelle.

L'**indice de rendu des couleurs** R_a d'une lampe est une mesure de cet effet. C'est une propriété fondamentale de la lampe. Une valeur de l'indice égale à 100 renseigne l'utilisateur sur la parfaite fidélité du rayonnement émis par rapport à la lumière naturelle ; $R_a > 80$ est considéré comme un bon rendu des couleurs, tandis que des valeurs inférieures à 40 sont en général trop faibles pour un éclairage intérieur de qualité.

De nouveau sans entrer dans les détails, il faut attirer l'attention du lecteur sur la signification de cet indice de rendu des couleurs. La lumière naturelle, qui sert de référence, n'est pas unique. Ainsi, la procédure d'évaluation du rendu des couleurs d'une lampe demande tout d'abord que l'on détermine la lumière naturelle de référence, à laquelle on va la comparer. On décide par convention de choisir la lumière naturelle **de même température de couleur** que la lampe testée.

La conséquence de ce choix est que l'on ne peut comparer entre elles que des lampes qui ont été évaluées par comparaison avec la même référence, c'est-à-dire des lampes de même température de couleur. Il ne faut pas comparer des pommes et des poires, suggère la sagesse populaire ! Ainsi, l'ampoule à incandescence classique et la lumière du jour par ciel couvert sont toutes deux gratifiées d'un indice $R_a = 100$: cela ne veut pas dire que les couleurs sont identiques sous ces deux éclairages. A méditer !

7. Bibliographie

Pour en apprendre plus, le lecteur peut consulter les ouvrages suivants :

- [1] C.I.E. Publication n°17.4 : Vocabulaire international de l'éclairage, Bureau Central de la Commission Electrotechnique Internationale (Genève), 1987.
- [2] IES Lighting Handbook, reference and application, 8th edition, Illuminating Engineering Society of North America (New York), 1993.
- [3] C. Eugène, P. Rombauts, J.J. Embrechts et M. Renglet : L'éclairage : une technique en évolution. Première partie : de la performance visuelle à l'émotion. Deuxième partie : les méthodes de calcul et de simulation, Revue E, 155^{ème} année, n°3/4, 1999.
- [4] C.I.E. Publication n°29.2 : Guide on interior lighting, second edition, Central Bureau of the CIE (Vienna), 1986.
- [5] J.J. Embrechts , Eclairage, notes de cours, Université de Liège, 1992.
- [6] S .T. Henderson and A.M. Marsden, Lamps and Lighting (2nd edition), Edward Arnold Publishers Ltd (London), 1972.

Les publications de la C.I.E. et du C.N.B.E. (Comité National Belge de l'Eclairage) peuvent être obtenues auprès de ce dernier organisme : Secrétariat c/o VUB-TW, Pleinlaan 2, 1050 Bruxelles (bncv-cnbe@vub.ac.be).

Les principales revues scientifiques suivantes sont consacrées à l'éclairage :

- The Journal of the Illuminating Engineering Society of North America (New York)
- Lighting Design and Application (IES, New York)
- Lighting Research and Technology (Chartered Institution of Building services Engineers, London)
- Light and Engineering , Svetotekhnika (Allerton Press Inc, New York)
- Lux (Assoc. Française de l'Eclairage, Paris)