

LUMIÈRE ET ÉCLAIRAGE : DÉFINITIONS, GRANDEURS ET CONCEPTS DE BASE

Comprendre la lumière et ses grandeurs associées est une étape essentielle pour concevoir un éclairage adapté aux lieux de travail. Avant d'aborder les aspects réglementaires et normatifs (Cf. Article pp. 40-48), cet article présente les notions fondamentales : définition de la lumière, systèmes d'unités énergétiques et visuelles. Il présente également les principales sources lumineuses, ainsi que les grandeurs photométriques de base : flux, éclairement, intensité, luminance. Ces concepts permettent d'expliquer comment la lumière est perçue par l'œil humain et comment elle influence la visibilité et le confort visuel des travailleurs.

MAXIME
BERGET,
JEAN-MARC
DENIEL
INRS,
département
Ingénierie des
équipements
de travail

La lumière

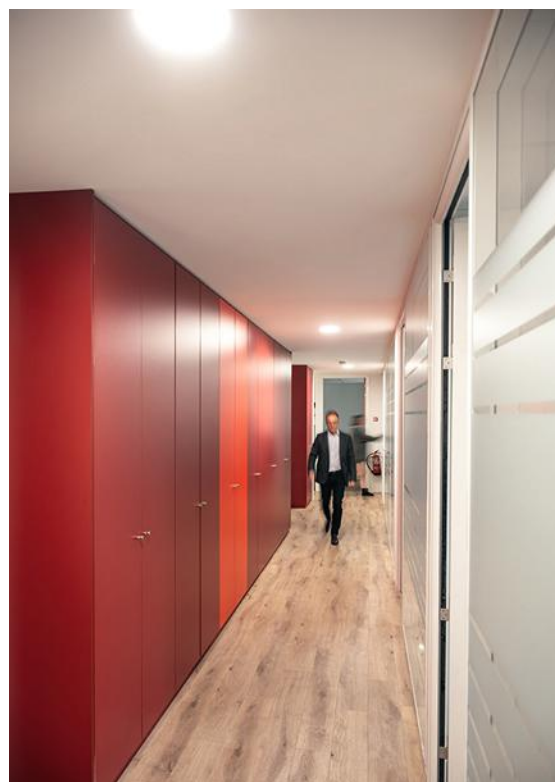
Nous percevons ce qui nous entoure grâce aux rayonnements optiques, qui appartiennent à la famille des ondes électromagnétiques [1-3], au même titre que les rayons X, les micro-ondes ou les ondes radio. Ces rayonnements peuvent être décrits à la fois comme des ondes, correspondant à des variations synchrones des champs électrique \vec{E} et magnétique \vec{B} , et comme un flux de particules (photons). Les photons se propagent en ligne droite à environ $300\,000\text{ km}\cdot\text{s}^{-1}$ dans le vide. Chacun d'eux transporte une quantité d'énergie proportionnelle à sa fréquence et est caractérisé par sa longueur d'onde λ , exprimée en nanomètres ($1\text{ nm} = 10^{-9}\text{ m}$). Cette longueur d'onde correspond à la distance parcourue pendant une oscillation complète des champs électrique et magnétique (Cf. Figure 1). Le terme « lumière » désigne les rayonnements optiques visibles par l'œil humain, dont les longueurs d'onde λ s'étendent de 380 nm (violet) à 780 nm (rouge), plage de sensibilité des photorécepteurs de la rétine¹. Les rayonnements ultraviolets (UV : $\lambda < 380\text{ nm}$) et infrarouges (IR : $\lambda > 780\text{ nm}$) sont donc invisibles à l'œil humain (Cf. Figure 2). Un photon capté par un photorécepteur rétinien déclenche des réactions biochimiques qui créent un signal électrique. Ce signal est ensuite transmis sous forme d'influx nerveux jusqu'au cerveau, qui interprète cette stimulation en une perception visuelle colorée plus ou moins intense selon la longueur d'onde λ et la quantité de photons reçus.

Les grandeurs décrites ci-après permettent de quantifier la lumière, depuis son émission par une source jusqu'à sa perception par l'œil humain.

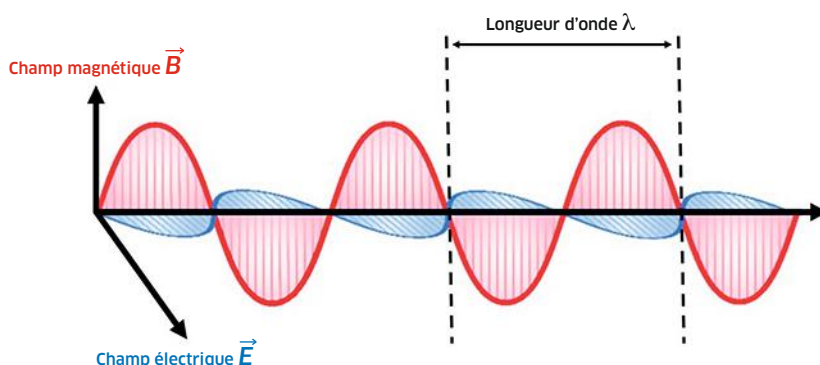
Elles constituent le socle nécessaire à toute démarche d'éclairage adaptée aux exigences des lieux de travail, pour assurer la sécurité et la santé des salariés.

Les systèmes d'unités

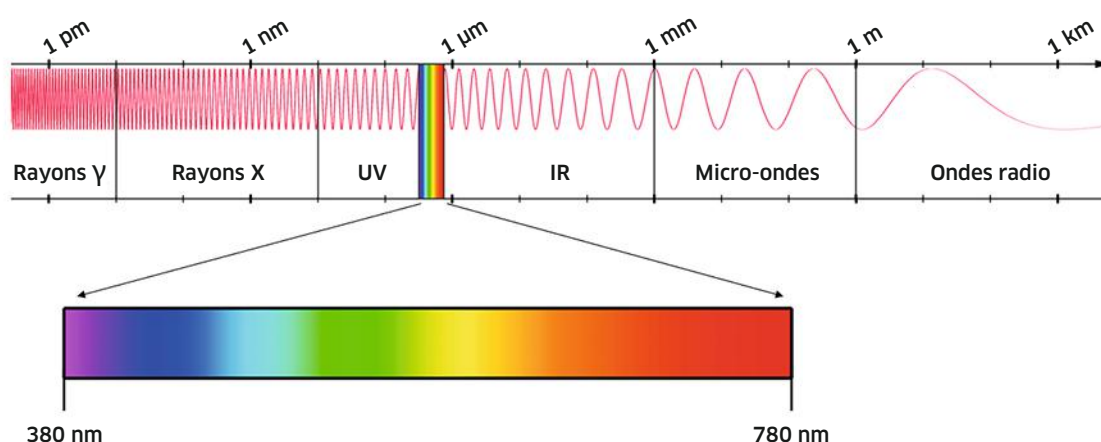
Les grandeurs physiques utilisées pour caractériser la lumière – flux, éclairement, intensité, luminance



© Guillaume J. Plisson pour l'INRS / 2024



← FIGURE 1
Longueur d'onde d'un rayonnement optique, définie par la distance de propagation parcourue lors d'une période d'oscillation des champs électrique et magnétique.



← FIGURE 2
Spectre électromagnétique depuis les rayons Gamma ($\lambda=0,01$ nm) jusqu'aux ondes radio ($\lambda=1$ km). La lumière ne représente qu'une petite partie du spectre électromagnétique.

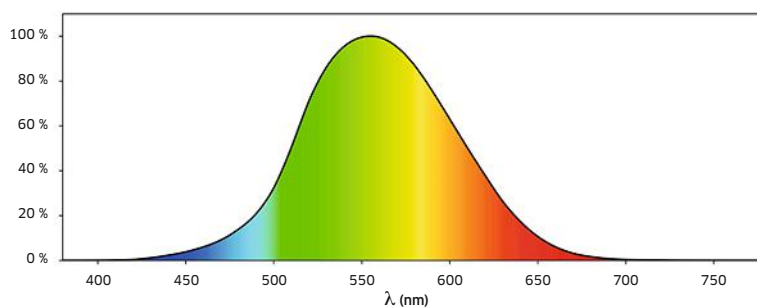
– présentées ci-après existent chacune sous deux formes : énergétique et visuelle (ou lumineuse). Leur version énergétique porte l'indice « e » (par exemple, pour le flux énergétique : ϕ_e). Par convention, toutes les grandeurs citées dans ce dossier sans indice ni précision particulière sont considérées comme des grandeurs visuelles.

Le système énergétique

Ce système décrit le rayonnement en s'appuyant uniquement sur des grandeurs physiques absolues, comme la puissance rayonnée en watts (W), sans tenir compte de la perception humaine. Il prend en compte toutes les longueurs d'onde, qu'elles soient visibles ou non. On l'utilise notamment pour évaluer une exposition aux rayonnements IR et UV. On parle de grandeurs énergétiques.

Le système visuel

Ce système est centré sur la perception humaine : notre œil ne distingue pas chaque longueur d'onde séparément, mais les intègre toutes en les pondérant selon sa sensibilité spectrale $V(\lambda)$ pour produire une sensation de couleur (Cf. Figure 3). Sa sensibilité est maximale autour de 555 nm, ce qui correspond à la zone du vert-jaune.



↑ FIGURE 3
Courbe de sensibilité photopique $V(\lambda)$ de l'œil humain aux différentes longueurs d'onde. Il faut 20 fois plus de rayonnement à 450 nm (bleu) pour produire la même sensation visuelle qu'à 555 nm (vert).

Ce système s'exprime en unités adaptées à la vision : les grandeurs lumineuses. Elles sont dérivées des grandeurs énergétiques, mais chaque longueur d'onde est pondérée selon la réponse de l'œil humain. Cette « mesure des grandeurs relatives aux rayonnements, évaluées selon l'impression visuelle produite par ceux-ci et sur la base de certaines conventions » définit la photométrie, selon les dictionnaires courants. Contrairement au système énergétique, on ne mesure plus l'énergie physique brute, mais l'efficacité visuelle de l'énergie rayonnée. Ce système d'unités est utilisé en éclairagisme, car la qualité d'un éclairage dépend directement de la manière dont l'œil humain perçoit la lumière.





↑ FIGURE 4
Lampes à décharge, majoritairement utilisées en éclairage jusque dans les années 2010.
a) Lampe à sodium haute pression.
b) Lampe à iodures métalliques.
c) Lampe fluorescente compacte.
d) Tube fluorescent.

Les sources

Sources primaires

Sur terre, la seule source d'éclairage naturel direct est le soleil. Pendant longtemps, l'éclairage artificiel des lieux de travail a été majoritairement assuré par des lampes à décharge² (Cf. Figure 4), que ce soit à l'extérieur (projecteurs équipés de lampes à sodium haute pression de couleur jaune ou à iodures métalliques de couleur blanche) ou à l'intérieur (lampes à iodures métalliques, tubes fluorescents ou lampes fluorescentes). Depuis les années 2010, le développement rapide des diodes électroluminescentes (led), leurs atouts (compa-

rité, efficacité, durée de vie, faible consommation), ainsi que les décrets d'écoconception qui interdisent la mise sur le marché de produits contenant des substances nocives ou énergivores [4,5], ont entraîné un remplacement massif des lampes à décharge par l'éclairage led, aussi bien lors de la création de nouveaux espaces de travail que lors de rénovations.

Une led (Cf. Figure 5) est un composant semi-conducteur formé de la juxtaposition de deux parties d'un même cristal, mais « dopées » différemment. Le « dopage de type N » introduit un excédent d'électrons, tandis que le « dopage de type P » crée un déficit d'électrons, appelés « trous ». À l'interface se forme une zone appauvrie en porteurs de charge. Lorsqu'un courant électrique circule dans la led, électrons et trous se rencontrent dans cette zone et se recombinent. Dans les matériaux utilisés pour les led, cette recombinaison émet des photons : c'est la lumière émise par le composant.

La longueur d'onde émise dépend du matériau semi-conducteur utilisé (nitrure de gallium, indium, arséniure de gallium-indium, etc). Les led destinées à l'éclairage des lieux de travail les plus répandues actuellement émettent dans une bande de longueur d'onde relativement étroite centrée autour de 450 nm (bleu). Une couche de matériau luminescent (de type YAG, jaune), déposée au-dessus

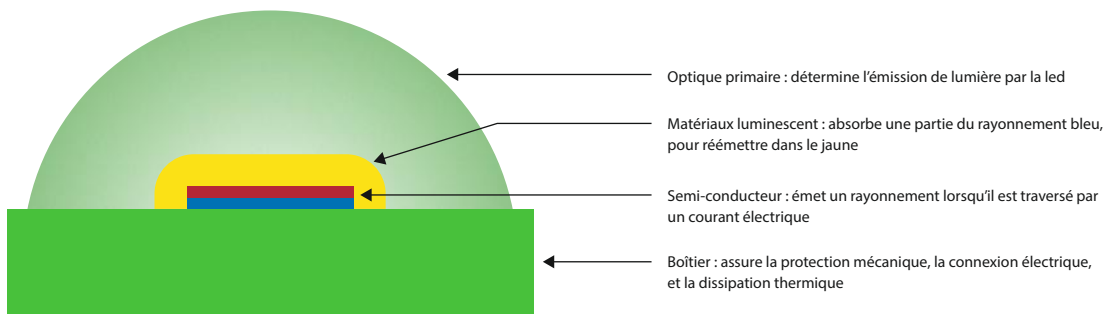
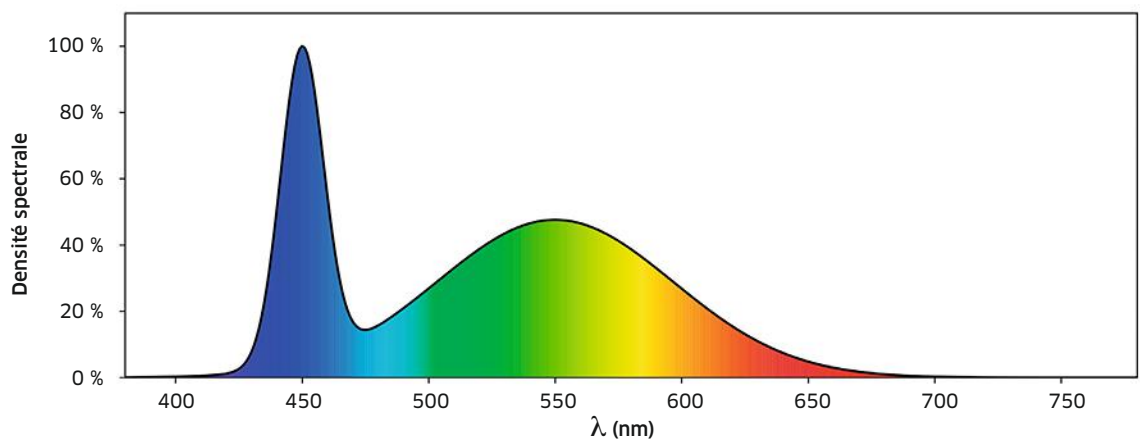


FIGURE 5 →
Représentation schématique en coupe d'une source led.

FIGURE 6 →
Spectre d'émission relatif d'une led blanche, combinaison d'un pic étroit centré à 450 nm (émission de la puce bleue) et d'une bande large de phosphorescence centrée autour de 550 nm (vert-jaune). Après normalisation à 1 au maximum bleu (450 nm), la densité spectrale relative est d'environ 0,17 nm à 470 nm et 0,45 nm à 550 nm.



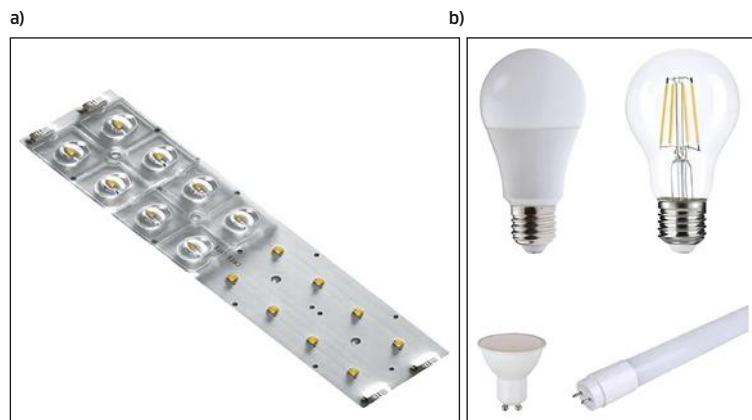
de la puce led, absorbe une partie de cette lumière bleue et la réémet dans une bande beaucoup plus large centrée autour de 550 nm, dans la zone vert-jaune du spectre. L'association du pic bleu résiduel et de cette large réémission est interprétée par notre système visuel comme une lumière blanche, c'est-à-dire un mélange spectral qui produit une sensation de lumière non colorée pour l'œil humain (Cf. Figure 6).

Pour l'éclairage, les sources led peuvent être directement utilisées comme sources primaires, éventuellement équipées d'optiques secondaires afin de répartir la lumière sur le poste de travail. Elles peuvent également être intégrées dans un élément mécanique, comme une lampe équipée d'un culot ou un tube à led (Cf. Figure 7).

Sources secondaires

Toute surface éclairée peut, à son tour, devenir une source secondaire de lumière. Selon son état de surface (mat, satiné, brillant, etc.) et ses propriétés optiques (absorption, transmission, réflexion), une surface peut en effet renvoyer tout ou partie du rayonnement qu'elle reçoit, dans une ou plusieurs directions. Ce phénomène dépend également de la distribution spectrale de la lumière incidente, c'est-à-dire des longueurs d'onde qui la composent.

Ainsi, la source lumineuse initiale est dite directe (comme un luminaire led). Les surfaces qu'elle éclaire deviennent, par réflexion, des sources indirectes. Elles participent elles aussi à l'éclairage



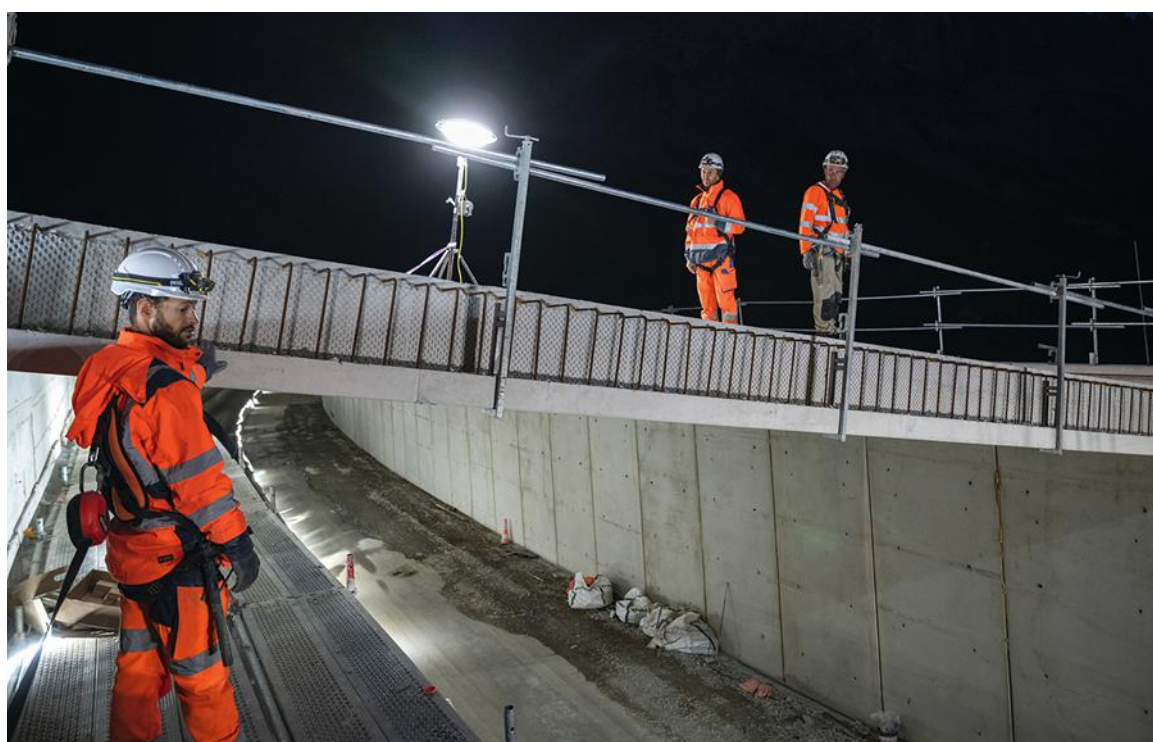
d'un espace, et peuvent être caractérisées par les mêmes grandeurs photométriques que les sources directes (flux, luminance, etc.).

Spectre d'émission

Une source n'émet pas la même quantité d'énergie pour toutes les longueurs d'onde. La densité spectrale indique comment l'énergie émise par la source se répartit selon la longueur d'onde.

Le spectre d'émission (ou distribution spectrale d'émission) est simplement la représentation de cette densité spectrale en fonction de la longueur d'onde. Dans la pratique, le spectre est souvent représenté sous une forme relative (Cf. Figure 6), c'est-à-dire ramené à la valeur maximale, ce qui permet de comparer facilement différentes sources lumineuses.

↑ **FIGURE 7**
a) Sources led, équipées ou non d'optiques secondaires.
b) Sources led intégrées dans des lampes à culot et un tube.

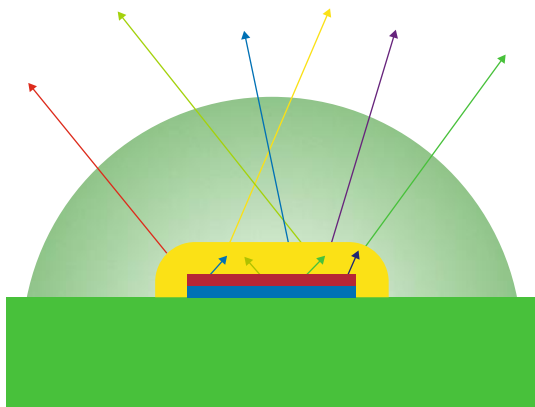


© Claude Almodovar pour l'INRS / 2025



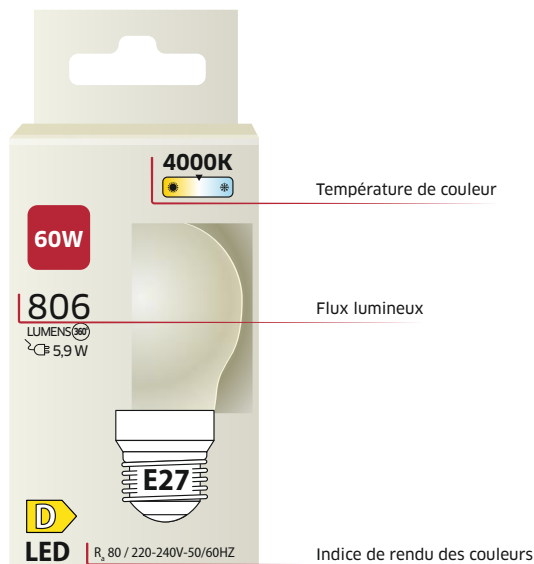
TABLEAU →
Glossaire des grandeurs visuelles et des unités correspondantes.

GRANDEUR	SYMBOLE	UNITÉ	DÉFINITION
Flux	Φ	Lumen (lm)	Puissance lumineuse émise par une source
Intensité	I	Candela (cd)	Flux émis dans une direction
Éclairement	E	Lux (lx, ou lm/m ²)	Flux reçu par unité de surface
Luminance	L	Candela par mètre carré (cd/m ²)	Flux émis dans une direction, par unité de surface vue par un observateur. Par approximation (loi de Lambert) : $\rho \cdot E = \pi \cdot L$ avec $0 \leq \rho \leq 1$
Température de couleur	T _{cp}	Kelvin (K)	Apparence colorée de la lumière, de chaude pour les lumières rouges à froide pour les lumières blanches/bleues
Indice de rendu des couleurs	IRC / R _a	sans	Capacité d'une source à restituer les couleurs des objets éclairés, par comparaison avec le soleil



↑ FIGURE 8 Le flux énergétique Φ_e d'une source de rayonnement est la quantité d'énergie totale émise dans tout l'espace par unité de temps.

FIGURE 9 →
Les indications qu'il est possible de trouver sur l'emballage d'une source.



Par analogie avec les spectres d'émissions qui caractérisent les sources, les surfaces et leurs matériaux sont caractérisés par leur distribution spectrale d'absorption, de transmission et de réflexion, qui représentent les proportions relatives d'énergie absorbées, transmises ou réfléchies.

Tous les matériaux et toutes les surfaces n'ont pas le même comportement. Certains matériaux transmettent une grande partie de la lumière visible, comme le verre utilisé pour les fenêtres. D'autres au contraire en absorbent une grande partie (verre teinté, etc.), ou réfléchissent préférentiellement certaines longueurs d'onde (peinture teintée, etc.).

À noter : les paragraphes qui suivent décrivent l'ensemble des grandeurs utilisées pour caractériser la lumière, ainsi que leurs unités. Ces informations sont synthétisées et rassemblées dans le Tableau ci-dessus.

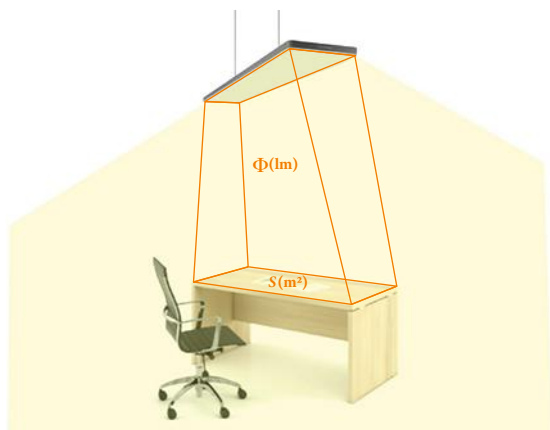
Les grandeurs et systèmes d'unités

Flux énergétique et flux lumineux

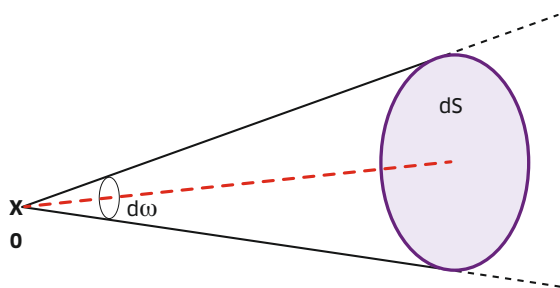
Une source d'éclairage émet des photons de longueur d'ondes différentes. Ils sont représentés sous forme de rayons lumineux colorés sur la Figure 8. Chacun de ces photons transporte une énergie qui dépend de sa longueur d'onde. Le flux énergétique Φ_e de cette source, exprimé en watts (W), correspond à la quantité totale d'énergie rayonnée par ses photons par unité de temps (en secondes). Il représente ainsi la puissance totale émise par la source dans tout l'espace.

L'équivalent visuel du flux énergétique Φ_e est le flux lumineux Φ . Il est obtenu en pondérant l'énergie de chaque photon de longueur d'onde λ émis par la courbe de sensibilité de l'œil $V(\lambda)$ (Cf. Figure 3). Il s'exprime en lumen (lm). Il est généralement indiqué sur les emballages des sources (Cf. Figure 9).

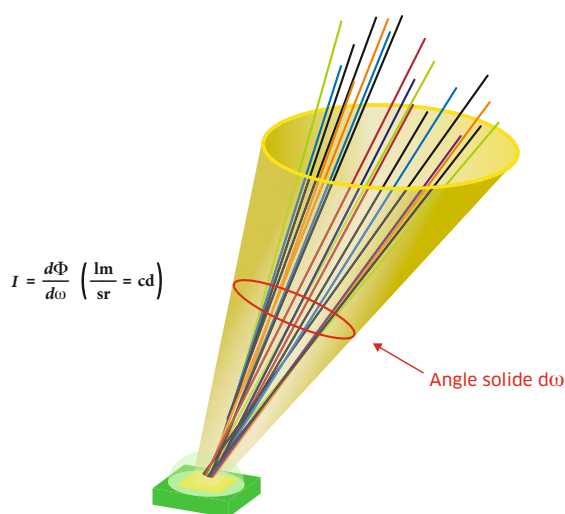
$$E = \frac{\Phi}{S} \left(\frac{\text{lm}}{\text{m}^2} = \text{lux, lx} \right)$$



↑ FIGURE 10 L'éclairement d'une surface S est la quantité de flux Φ reçu, rapportée à la surface S exposée.



↑ FIGURE 11 Angle solide : vue depuis le point O, la surface élémentaire dS occupe la portion de l'espace délimitée par l'angle solide dω.



$$I = \frac{d\Phi}{d\omega} \left(\frac{\text{lm}}{\text{sr}} = \text{cd} \right)$$

↑ FIGURE 12 Lorsque l'angle solide dω autour d'une direction devient très petit, le rapport entre le flux élémentaire dΦ contenu dans cet angle solide et la valeur de dω donne l'intensité lumineuse I émise dans cette direction.

Éclairement

L'éclairement E correspond au flux lumineux Φ reçu depuis tout l'espace par unité de surface S (Cf. Figure 10). Il s'agit d'une densité de puissance qui s'exprime en lumen par mètre carré, également appelé lux (ou lx) :

$$E = \frac{\Phi}{S} \left(\frac{\text{lm}}{\text{m}^2} = \text{lux, lx} \right)$$

Intensité

L'intensité I désigne le flux de lumière émis par une source dans une direction donnée, c'est-à-dire par unité d'angle solide dω. Un angle solide mesure la portion d'espace occupée par une surface vue depuis un point donné (Cf. Figure 11). Il correspond à l'angle d'ouverture du cône dont le sommet est le point (noté O) et dont les génératrices sont tangentes à la surface considérée. Il s'exprime en stéradian (sr). C'est l'analogue tridimensionnel de l'angle plan.

Si l'on ne considère que le flux lumineux élémentaire dΦ contenu dans un angle solide élémentaire dω, l'intensité lumineuse I est définie par (Cf. Figure 12) :

$$I = \frac{d\Phi}{d\omega} \quad (\text{lm/sr} = \text{cd})$$

L'intensité s'exprime en lumen par stéradian, ou en candela³ (cd=lm/sr). Elle est indiquée sur les emballages des sources de petites dimensions comme les spots. Les symboles I ou I₀ représentent l'intensité dans l'axe de la source. Cette intensité permet de calculer très simplement l'éclairement E à une distance d située face à la source, et orientée perpendiculairement à son axe :

$$E = \frac{I}{d^2} \quad (\text{lux})$$

Luminance

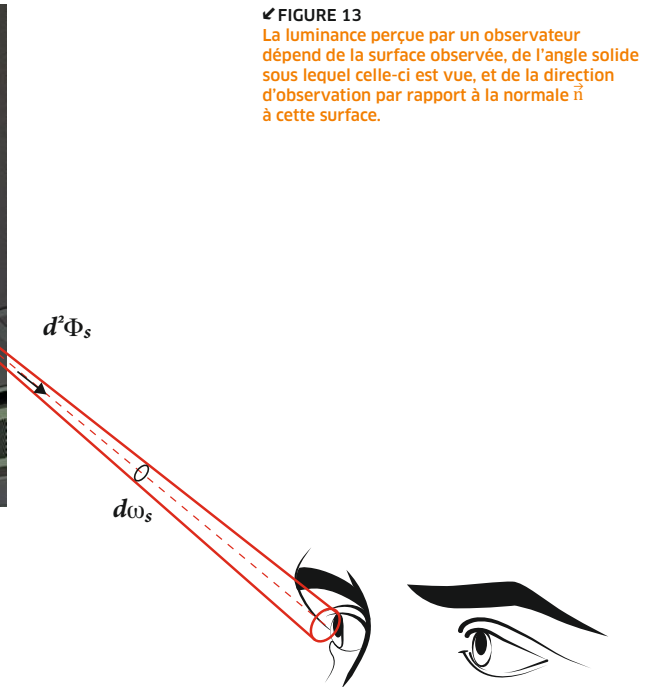
La luminance est la grandeur photométrique qui caractérise la manière dont une surface apparaît à l'œil dans une direction donnée. Elle détermine non seulement si une surface semble plus ou moins brillante, mais aussi comment sa couleur est perçue, puisqu'elle décrit la quantité de lumière provenant d'une zone donnée, dans une direction donnée, et pour chaque longueur d'onde. La luminance quantifie le flux lumineux émis ou réfléchi par unité de surface et par unité d'angle solide, c'est-à-dire dans une direction d'observation donnée. Elle est définie par l'expression suivante (Cf. Figure 13) :

$$L = \frac{d^2\Phi_s}{dS \cdot \cos(\theta_s) \cdot d\omega_s} \quad (\text{lm/sr/m}^2) \quad (\text{équation 1})$$

avec :

- dS (m²) : la surface observée ;
- dω_s (sr) : l'angle solide d'observation ;
- θ_s (rad) : l'angle entre la normale à la surface de la source et la direction d'observation ;





✓ FIGURE 13
La luminance perçue par un observateur dépend de la surface observée, de l'angle solide sous lequel celle-ci est vue, et de la direction d'observation par rapport à la normale \vec{n} à cette surface.

- $d^2 \phi_s$ (lm) : le flux lumineux émis dans cette direction.
La luminance est la grandeur photométrique la plus importante en éclairage : l'œil humain n'est pas sensible à l'éclairage, la perception visuelle repose sur les variations de luminance entre zones adjacentes dans le champ de vision. Ces variations peuvent être des variations d'amplitude, ou des variations colorées.
- Variation d'amplitude : elle apparaît lorsque deux surfaces de même couleur reçoivent des éclairages différents. La surface la plus éclairée renvoie davantage de flux lumineux, ce qui

- entraîne une différence de luminance perçue (Cf. Figure 14). Elle peut également apparaître lorsque les surfaces, bien que recevant le même éclairage, présentent des orientations ou des états de surface différents : ces caractéristiques modifient la direction et la quantité de lumière réfléchie vers l'observateur.
- Variation colorée : elle apparaît lorsque deux surfaces, qui possèdent des distributions spectrales de réflexion différentes, reçoivent un éclairage identique. Elles ne réfléchissent pas la même partie du spectre et apparaissent donc de couleurs différentes (Cf. Figure 15).

FIGURE 14 → Ombre perçue et variation de luminosité du plateau de la machine (zones délimitées en rouge). Cette différence correspond à une variation de luminance due à un éclairage non uniforme.



© Mikhail Nilov / Pexels.com

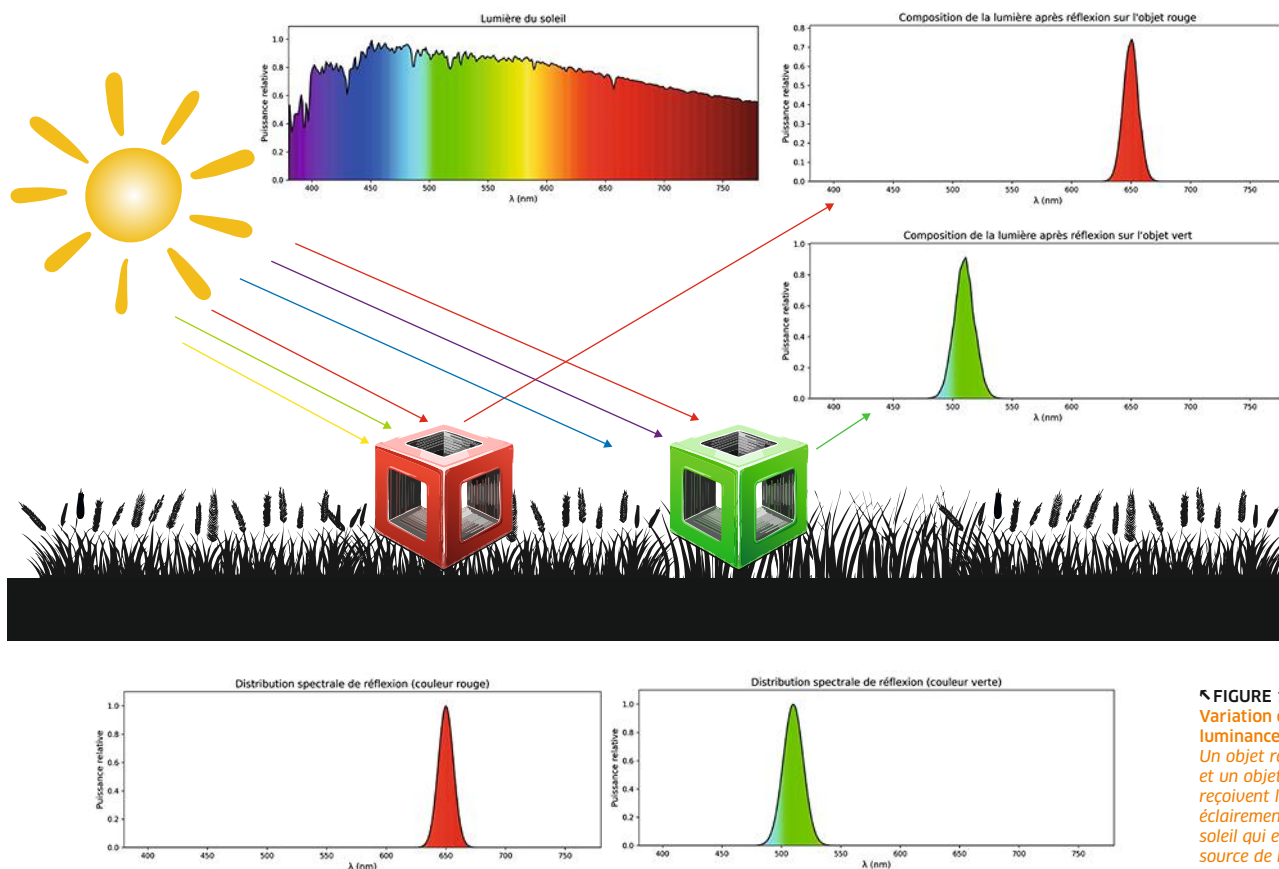


FIGURE 15
Variation de luminance colorée. Un objet rouge et un objet vert reçoivent le même éclairement du soleil qui est une source de lumière blanche. Après réflexion, chacun d'eux renvoie un spectre différent. L'œil perçoit alors une différence de couleur.

Cette variation colorée s'accompagne toujours d'une variation d'amplitude, car l'œil humain n'a pas la même sensibilité selon les longueurs d'onde.

Visibilité et confort visuel

Plus de 80 % des informations utiles à l'exécution du travail transigent par la vision [3]. Pour se déplacer et accomplir ses tâches en toute sécurité, un salarié doit distinguer clairement les éléments de son environnement ainsi que les informations visuelles nécessaires à son activité. Un éclairage adéquat doit :

- assurer une « bonne visibilité », c'est-à-dire une perception claire des objets et de l'environnement immédiat [3]. La visibilité d'un objet dépend de nombreux facteurs, notamment du contraste $c = \frac{L_0 - L}{L}$ entre sa luminance L_0 (le détail à percevoir) et celle L du fond sur lequel il se détache (Cf. Figure 16) ;
- garantir le « confort visuel » [3], en assurant une répartition harmonieuse des luminances dans le champ de vision : cela va limiter la fatigue visuelle et les effets d'éblouissement, directs ou par réflexion.

La luminance apparaît donc comme le principal paramètre photométrique sur lequel agir pour garantir un bon éclairage.

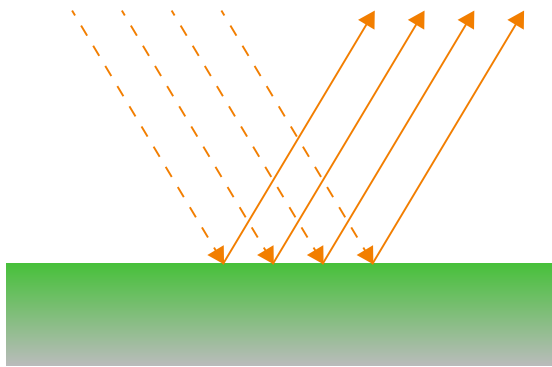
Relation entre la luminance et l'éclairement

La luminance L d'une surface (Cf. Équation 1, p. 35) dépend du flux lumineux qu'elle émet dans une direction donnée. Ce flux, qui fait de la surface une source secondaire, résulte de son éclairement E , de sa distribution spectrale de réflexion et de l'état de sa surface. Une surface parfaitement lisse renvoie les rayons lumineux dans une seule

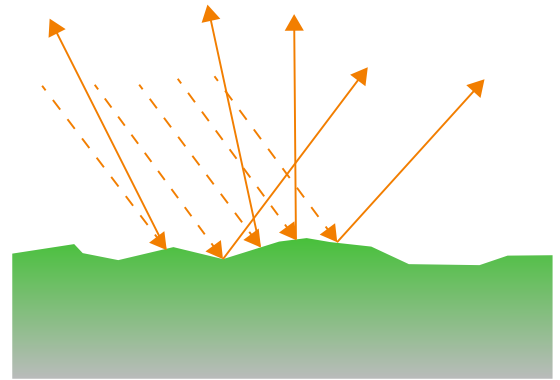


FIGURE 16
Lien entre le contraste de luminance et la visibilité d'un objet. Lorsqu'un objet a la même luminance que le fond sur lequel il doit apparaître, sa visibilité devient nulle. a) Affichage d'un texte en noir sur un fond de niveau de gris variable. b) Difficulté à percevoir l'environnement intérieur depuis l'extérieur : risque de collision engin-piéton.





↑ FIGURE 17 Miroir parfait : les rayons sont tous réfléchis dans la même direction.



↑ FIGURE 18 Surface mate : il n'y a pas de direction privilégiée pour la réflexion.

direction (réflexion spéculaire ; Cf. Figure 17), alors qu'une surface parfaitement mate diffuse la lumière de manière uniforme dans toutes les directions (réflexion diffuse ; Cf. Figure 18). Une surface réelle n'est jamais parfaitement mate ou parfaitement lisse. Son comportement se situe entre ces deux extrêmes. La manière dont elle réfléchit la lumière se décrit par une fonction de réflectivité ρ , qui dépend de la direction d'incidence, de la direction d'observation (réflexion) et de la longueur d'onde λ considérée. Dans le cas général, la luminance d'une surface éclairée peut s'écrire (Cf. Figure 19) :

$$L = \rho(\text{direction incidente, direction d'observation, } \lambda) \cdot E$$

En pratique, la détermination précise de la luminance se heurte à des difficultés : la direction du regard et les propriétés optiques des matériaux sont trop complexes ou trop variables pour être mesurées précisément dans un espace de travail. Une simplification couramment adoptée est de

considérer les matériaux visibles (murs, sols, plafonds, etc.) comme parfaitement diffusants, avec une réflectance ρ constante et indépendante de la longueur d'onde. Dans ce cas, leur luminance ne dépend plus de la direction d'observation, ce qui permet d'utiliser la loi de Lambert :

$$L = \frac{\rho}{\pi} \cdot E \quad \text{avec } \rho \text{ compris entre 0 et 1.}$$

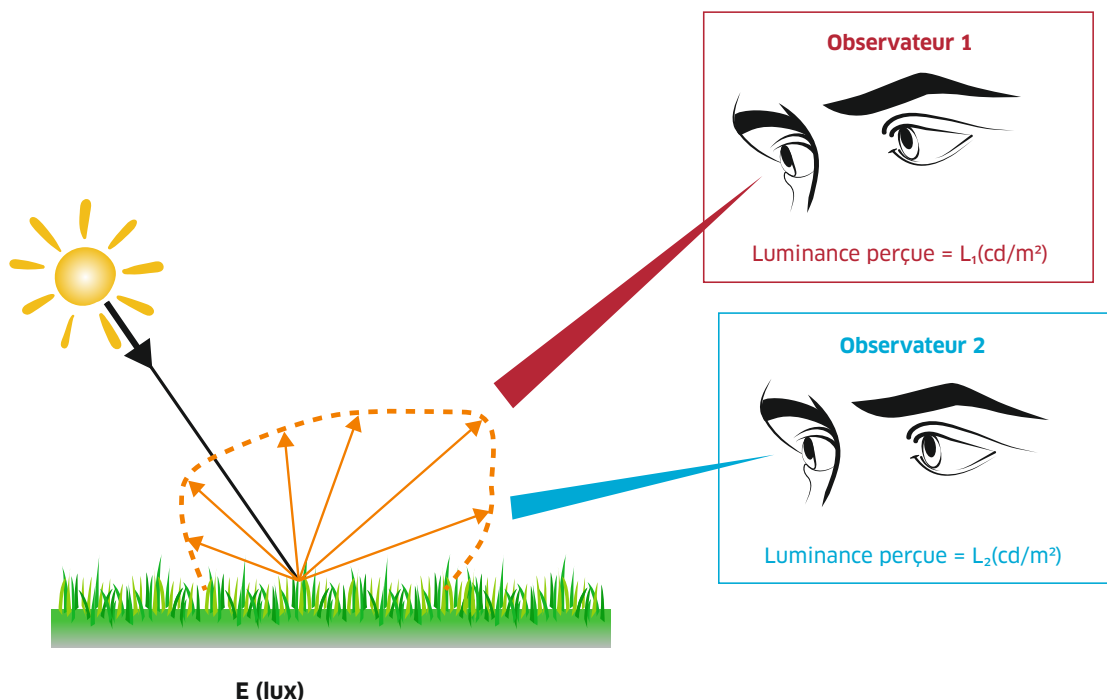
L'éclairage est plus simple et moins coûteux à mesurer que la luminance. Les textes de référence fixent ainsi des objectifs photométriques en matière d'éclairage (Cf. Article 2 pp. 40-48).

Température de couleur

Lorsque la lumière atteint la rétine, elle déclenche un signal électrique interprété par le cerveau. La perception de la couleur globale dépend de la répartition spectrale de la lumière.

La température de couleur, exprimée en kelvin (K), décrit cette impression : une lumière nous semblera « chaude » si elle contient une proportion impor-

FIGURE 19 → La luminance d'un objet éclairé par une source dépend de son niveau d'éclairage E , de la direction incidente de la lumière, de la position de l'observateur et de la longueur d'onde.





Tcp = 6000 K



Tcp = 4000 K



Tcp = 2700 K

tante de grandes longueurs d'onde (rouge, orange) et « froide » si elle contient davantage de courtes longueurs d'onde (bleu-violet).

La température de couleur correspond à la température à laquelle il faudrait chauffer un corps noir⁴ pour qu'il émette une lumière ayant le même aspect coloré que celle de la source. Comme pour un métal chauffé qui passe progressivement du rouge-orangé au blanc bleuté à mesure que sa température augmente. Dans l'usage, cela conduit au fait qu'une lumière dite « froide » possède une température de couleur plus élevée qu'une lumière « chaude » (Cf. Figure 20).

Dans le cas d'une source de lumière réelle (hors source à incandescence), le spectre émis ne correspond pas à celui d'un corps noir, on parle alors de température de couleur proximale T_{cp} , c'est-à-dire celle du corps noir dont la lumière serait la plus proche visuellement de celle de la source, sans qu'il y ait de correspondance physique.

Indice de rendu des couleurs

La perception que nous avons des objets qui nous entourent dépend de la manière dont ils réfléchissent la lumière qui les éclaire vers notre œil (Cf. Figure 15). Ainsi, un objet qui ne réfléchit que du vert ne paraîtra de cette couleur que si la lumière qui l'éclaire comporte du vert.

L'indice de rendu des couleurs R_a (parfois noté IRC) est un nombre sans dimension compris entre 0 et 100 qui caractérise la capacité d'une source lumineuse à restituer les couleurs. Il vaut 100 pour le soleil ou pour une source à incandescence, qui possèdent un spectre continu (toutes les longueurs d'onde du spectre visible).

Un minimum de 80 est demandé pour un travail intérieur ; et de 90 si le travail nécessite la distinction des teintes, par exemple dans l'imprimerie. Cette information est généralement indiquée sur l'emballage de la source⁵.

Ce premier article a présenté les grandeurs physiques liées à la lumière. Le deuxième article (Cf. pp.40) rappelle les principaux textes de référence qui fixent les niveaux adéquats en fonction des activités : le Code du travail, qui définit les obligations du maître d'ouvrage et de l'employeur, ainsi que les normes techniques, qui précisent les critères d'éclairage applicables à la lumière naturelle comme

à la lumière artificielle, en intérieur comme en extérieur. Ces bases sont essentielles pour garantir la santé et la sécurité des travailleurs. Les articles suivants approfondissent l'apport en lumière naturelle et en éclairage artificiel (Cf. pp. 49-58 et 59-71), afin d'assurer un éclairage optimal dans toutes les situations de travail. Enfin, le dernier article (Cf. pp. 72-75) propose un panorama sur les effets non visuels de la lumière, en lien avec la santé et la sécurité au travail. ●

1. Il existe deux types de photorécepteurs rétiniens impliqués dans la vision : les cônes (au centre de la rétine, responsables de la perception des couleurs) et les bâtonnets (en périphérie de la rétine, davantage sollicités en faible luminosité).

2. Une lampe à décharge produit de la lumière en faisant circuler un courant électrique entre deux électrodes, à travers un gaz ou une vapeur métallique. L'arc électrique ainsi créé provoque l'émission lumineuse.

3. La référence historique est la bougie (candel en anglais), qui présente une intensité lumineuse de 1 cd et génère un éclairage de 1 lx à une distance de 1 m autour d'elle.

4. Un corps noir est un objet idéal qui absorbe la totalité du rayonnement électromagnétique qu'il reçoit, sans en réfléchir ni en transmettre. Il émet un rayonnement uniquement en fonction de sa température, décrit par la loi de Planck.

5. D'autres indicateurs existent pour caractériser la capacité d'une source à restituer les couleurs, notamment l'indice de fidélité R_f issu de la méthode TM-30, plus pertinent que l'indice de rendu des couleurs R_a pour les sources led. Cette métrique n'est toutefois pas encore intégrée dans les normes d'éclairage en vigueur (telles que la norme NF EN 12464-1), qui continuent de s'appuyer sur l'indice R_a .

↑ FIGURE 20
Bureau éclairé avec des sources de températures de couleur variant de 2700 K à 6000 K. C'est la plage de températures de couleur communément rencontrée pour l'éclairage des lieux de travail.

BIBLIOGRAPHIE

[1] DILAURA D. ET AL. – *The lighting handbook: reference and application* [en ligne], 10^e ed. New York, Illuminating engineering society of North America, 2011. Accessible sur : www.ies.org

[2] BURRUS J. – *La photométrie en éclairage*. Société d'éditions Lux.

[3] FLORU R. – *Éclairage et vision* [en ligne]. INRS, 1996, Note scientifique et technique. Accessible sur : https://hal-lara.archives-ouvertes.fr/hal-01420151v1/file/INRS_149.pdf

[4] **RÈGLEMENT (UE) 2019/2020 DE LA COMMISSION** du 1^{er} octobre 2019 établissant des exigences d'écoconception pour les sources lumineuses et les appareillages de commande séparés. Accessible sur : <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/TXT/PDF/?uri=CELEX:32019R2020>

[5] **DIRECTIVE 2011/65/UE DU PARLEMENT EUROPÉEN ET DU CONSEIL** du 8 juin 2011 relative à la limitation de l'utilisation de certaines substances dangereuses dans les équipements électriques et électroniques. Accessible sur : <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/TXT/HTML/?uri=CELEX:32011L0065>