

GUIDE
AFE - SBA

afe
Association française de l'éclairage

SBA
SMART BUILDINGS ALLIANCE
FOR SMART CITIES

LA RÉNOVATION
DE L'ÉCLAIRAGE

HUMAN CENTRIC
LIGHTING





REMERCIEMENTS

LA COMMISSION SMART LIGHTING

La Commission Smart Lighting est issue de la rencontre de deux associations : la Smart Buildings Alliance – SBA et l'Association Française de l'Éclairage – AFE qui ont abouti à un contrat commun sur le rôle spécial de l'éclairage dans la mutation digitale et environnementale de nos espaces de vie.



Tout au long de l'année 2019 plus de 80 membres actifs provenant d'horizons aussi divers que variés (fabricants, intégrateurs, bureaux d'études, architectes, concepteurs, utilisateurs finaux, chercheurs, universitaires) ont contribué à mettre en forme et structurer nos nombreux échanges riches et passionnés.

Ces échanges sont formalisés par trois ouvrages AFE, dans la même collection :

- IOT ET DIGITAL
- HCL, CONFORT VISUEL ET QUALITÉ DES AMBIANCES LUMINEUSES
- LA RÉVOLUTION LED

Ces ouvrages sont téléchargeables librement sur le site Internet de l'AFE : <http://www.afe-eclairage.fr/guides-et-recommandations/guides-afe-sba--la-renovation-de-l-eclairage-82.html>

Ainsi qu'un document synthétique, dans la collection « Théma » de la SBA, disponible sous format électronique : <https://www.smartbuildingsalliance.org/ressources/publications-sba>

Ces guides n'auraient pu voir le jour sans la contribution des membres de la commission, nous remercions particulièrement :

Comité de pilotage

Charles Chirey - Enlighted | Jacques Darmon - Lux Éditions | Véronique Gerval - Tridonic | Jérôme Lutz - Trilux | Laurent Meunier - Citelum | Catherine Rambaud - Arcom / Citylone

Contributions remarquables

Christine Arzano-Daurelle - EDF | Kevin Bertin - Université de Toulouse | Laurent Canale - CNRS / Université de Toulouse | Sophie Camelio - École Nationale Supérieure d'Ingénieurs de Poitiers | Didier Chapron - BETOM | Jean Jacques Ezrati | Cyril Fernbach - Sermes | Patrick Govindaraju - AXIANS | Nicolas Houel - CNRS & Nantes Métropole | Philippe Hunault - SERCE | Guillaume Ruffin - ARTELIA | Sébastien Sarrazin - EDF | Pascal Tigreat - WAGO | Stéphane Vasse - Zumtobel | Paul Verny - CEREMA

Direction de la publication : Marie-Pierre ALEXANDRE

Direction éditoriale : François DARSY

Photo de couverture - Trilux

■ SOMMAIRE

P.5 ■

DESCRIPTION DU HCL

- Un éclairage LED agréable
- Rythme circadien et rôle de l'éclairage

P.11 ■

AMÉLIORER L'ATTRACTIVITÉ ET LA QUALITÉ D'USAGE DES ESPACES

- Bureaux : mieux éclairer pour mieux travailler
- Etablissements de santé : un éclairage body-dynamique pour le bien-être des patients et des soignants
- Eclairage des écoles : mieux éclairer pour mieux apprendre
- Industrie : mieux éclairer pour mieux produire
- Utiliser la lumière comme vecteur d'émotion et de lien entre les usagers et les espaces urbains

P.18 ■

CONCLUSION

DESCRIPTION DU HCL

Nous ressentons la lumière à plusieurs niveaux. L'aspect visuel est le plus évident : la lumière nous permet de voir, de nous orienter, d'accomplir nos tâches quotidiennes et d'être vu. Elle favorise également notre bien-être et influence nos émotions. Citons par exemple, la sensation apaisante ou relaxante d'un coucher de soleil en bord de mer ou l'effet stimulant et dynamisant d'un sommet enneigé baigné par le soleil. Nous percevons également la lumière au niveau biologique : elle agit sur notre santé et en particulier sur notre horloge interne qui contrôle notre rythme circadien.

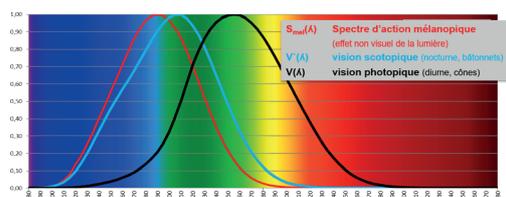
C'est grâce à l'œil que nous pouvons percevoir les effets de la lumière. L'œil dispose de trois types de récepteurs qui captent la lumière.

- La vue à un niveau d'éclairement plus élevé et la distinction des couleurs est assurée par les cônes.
- Les bâtonnets permettent de voir à un niveau d'éclairement faible (nuances de gris).

Les cônes et les bâtonnets traduisent, en images au cerveau, les différentes longueurs d'onde.

- Les photorécepteurs circadiens (cellules ganglionnaires rétiniennes), quant à eux, influent sur notre horloge interne. Ils ne servent pas directement à la vue, mais captent les effets non visuels de la lumière.

L'angle d'incidence (ou d'impact) de la lumière joue également un rôle. Son effet est le plus important lorsque l'angle est compris entre 0° et +45°, ce qui correspond à la partie sensible de la rétine.



Source : TRILUX

L'œil s'adapte automatiquement aux

conditions de luminosité.

- Les cônes sont plutôt utilisés lorsqu'il fait jour (vision photopique avec un maximum à 555 nm).
- Les bâtonnets sont davantage mis à contribution la nuit (vision scotopique avec un maximum à 505 nm).
- Les cellules ganglionnaires rétiniennes (photorécepteurs circadiens) ne servent pas à voir, mais à rythmer le cycle circadien ; la teinte du spectre d'action mélanopique (effet non visuel de lumière) tend encore plus vers le bleu (470 à 490 nm).

Au fur et à mesure de la vie, l'œil vieillit. La captation des longueurs d'onde dans les bleus se réduit, ce qui pourrait être l'une des explications de l'émergence de troubles du sommeil.

1 ■ UN ÉCLAIRAGE LED AGRÉABLE

La technologie LED, bien qu'utilisée depuis les années 1970 dans certaines applications industrielles, n'est apparue que récemment dans l'éclairage des bâtiments et l'éclairage urbain.

Cette technologie a introduit de nouvelles notions qu'il est primordial d'intégrer pour élaborer un projet d'éclairage qualitatif et agréable, qui réponde à la fois aux normes en vigueur et aux besoins des personnes.

De nouveaux réflexes sont donc à adopter :

- Assurer le bien-être dans un environnement de travail commence par garantir le confort visuel des utilisateurs. Il est fondamental de veiller à une bonne qualité de la lumière, adéquate à l'espace de travail et aux tâches à effectuer. Les exigences visuelles (niveaux d'éclairement) doivent être définies selon le type d'activités du lieu éclairé (bureau, industrie de précision,...) et répondre à des normes propres à chaque environnement.
- Bien que subjectif, le confort visuel dépend de la quantité, de la qualité et de la distribution de la lumière. Un environ-

nement visuel de bonne qualité procure d'une part, une sensation de confort en réduisant significativement fatigue, maux de tête, irritation oculaire et d'autre part, une sensation de bien-être en procurant une ambiance lumineuse agréable.

Avant tout, rappelons les 4 grandeurs photométriques à la base de l'éclairage : le flux lumineux, l'intensité lumineuse, l'éclairement et la luminance (qui a, pour différence, d'être perçue par l'œil humain).

Flux Lumineux

Le flux lumineux, exprimé en lumen (lm), décrit la quantité de lumière émise par une source lumineuse.

Une bougie produit environ 12 lm, un tube fluorescent de 14 W 1 250 lm, et une source LED d'une puissance de 8 W 1 300 lm. Il est important de souligner qu'en fonction de la source, le flux peut être dirigé, semi-dirigé ou émis sur 360° (cas typique d'une lampe d'usage domestique).

Intensité lumineuse (I)

L'intensité lumineuse exprimée en candela (cd) mesure la quantité de lumière émise dans une direction. Les réflecteurs optiques ou guidages jouent un rôle important dans l'intensité lumineuse émise.

Eclairement lumineux (E)

L'éclairement, mesuré en lux, est la densité du flux lumineux dans une surface ou en un point.

Par exemple : une journée de plein soleil à midi = 100 000 lux, un temps nuageux = 2 000 à 10 000 lux, un bureau = 350 à 500 lux, une rue éclairée = 20 à 50 lux, une nuit de pleine lune = 0,25 lux.

Luminance (L)

La luminance, exprimée en candela/m², est l'intensité lumineuse d'une source.

Elle décrit l'impression de luminosité donnée par une source d'éclairage d'une part et par une surface d'autre part. L'impression de luminosité dépend du facteur de réflexion de la surface (couleur, matière,...). La luminance ne dépend pas de la distance d'observation.

Exemples :

- Soleil = 1 600 000 cd/m²
- Ciel couvert = 10 000 cd/m²
- Tube fluorescent 36 W = 11 000 cd/m²

Un éclairage qualitatif est un éclairage qui prend en considération des notions de confort visuel, d'acuité visuelle et d'ambiance lumineuse.

Ces notions se traduisent par :

- Un niveau d'éclairement suffisant de la tâche visuelle et des surfaces de travail. Le niveau d'éclairement d'un lieu dépend de son utilisation (cf. article R4223-4 du code du travail et norme NF EN 1246-1). Un niveau d'éclairement mal dimensionné (trop faible ou trop puissant) diminuera le confort et les performances des personnes.
- Une teinte de lumière agréable : une température de couleur adaptée à l'utilisation de l'espace.

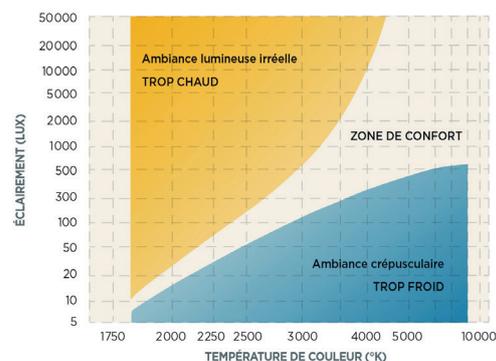
Blancs chauds : 2 700 à 3 500 K (dominantes rouges)

Blancs neutres : autour de 4 000 K

Blancs froids : > 5 000 K (dominantes bleues)

Le niveau d'éclairement et la température de couleur sont étroitement liés ; ils ont un impact sur le confort lumineux qui s'exprime dans la courbe de Kruithof.

Par exemple, pour les applications tertiaires éclairées entre 300 et 500 lux, il est conseillé de choisir des teintes chaudes à neutres comprises entre 3 000 à 4 000 K).



Courbe de Kruithof

Autres notions importantes

- L'**IRC** (Indice de rendu des couleurs) doit être compatible avec la tâche à accomplir. Un IRC supérieur ou égal à 80 est l'IRC minimum pour des applications intérieures. Sans apport de lumière du jour, un IRC de 90 est recommandé.

Cet indice mesure la capacité d'une source lumineuse à bien restituer les couleurs des objets éclairés.

L'IRC est compris entre 0 et 100 et il est mesuré sur une palette de 8 échantillons de couleurs généraux et 7 échantillons supplémentaires spécifiques.



La valeur moyenne de l'IRC est exprimée en Ra. Attention cette valeur n'est calculée que sur les 8 premières teintes et ne prend pas en compte la couleur rouge (Ra9).

La méthode de mesure a été définie par la CIE (Commission Internationale de l'Éclairage)

CIE 13.3 : 1995 <http://www.cie.co.at/publications/method-measuring-and-specifying-color-rendering-properties-light-sources>

Comparaison des IRC de différentes sources :

Sources	IRC
Sodium Haute Pression	20
Fluo compactes	85
Halogènes	100
Incandescence	100
LED	> 80

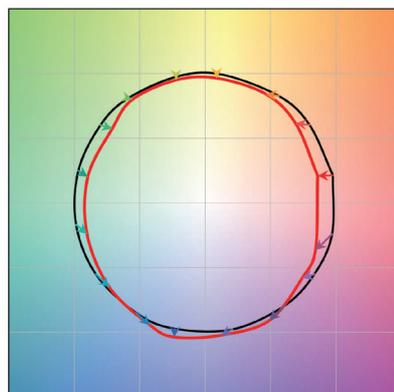
Supérieur à 80, le rendu est considéré comme très bon, au-dessus de 90 il est excellent.

La méthode de calcul de l'IRC ne donne pas entière satisfaction. Il a été demandé, dans un premier temps, d'y ajouter la valeur de l'échantillon n°9 (rouge saturé), puis l'IES (Illuminating Engineering Society) a mis au point en 2015, une nouvelle méthode, la TM 30-15 révisée en octobre 2018 et devenue TM 30-18

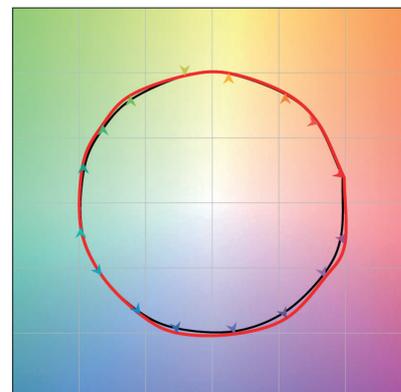
La TM 30 mesure le rendu des couleurs d'une source lumineuse sous deux angles, d'une part la fidélité des couleurs (Indice de fidélité des couleurs Rf) et d'autre part le degré de saturation des couleurs (Relative Gamut Index - indice de hausse ou baisse de saturation Rg).

En termes de définition, la valeur Rf décrit la similarité des couleurs en comparant avec une couleur de référence, le rendu de 99 couleurs échantillons, répartis selon 7 types (nature, peau, textile, peinture, plastique, matière imprimée, systèmes de couleurs).

Indice de fidélité des rendus des couleurs (Rf) : comparaison de deux modules LED



Graphique vectoriel Rf
module LED IRC > 80
Source Tridonic



Graphique vectoriel Rf
module LED IRC > 90
Source Tridonic

—
Courbe noire :
source de référence

—
Courbe rouge :
module testé

- **L'éclairage doit être uniforme** sans zone d'ombre ou zone moins éclairée. Pour vérifier si l'uniformité d'éclairage est conforme, il faut faire le rapport entre l'éclairage minimal et l'éclairage moyen.
- **Éviter les contrastes** trop importants dans le champ visuel.
- **L'absence d'éblouissement** : le taux d'éblouissement (Unified Glare Rating ou UGR) doit être celui défini par la norme NF EN 12434-1 selon le type d'activité. Exemple pour une activité tertiaire, l'indice doit être ≤ 19
- **L'éclairage moyen maintenu** pendant la durée de l'installation permet de s'assurer que les utilisateurs ne sont pas gênés par la diminution progressive du flux et/ou le manque d'entretien des luminaires.

Ces notions se trouvent dans la norme d'éclairage des lieux de travail NF EN 12464-1 et dans la norme NF X 35-103 qui traite des principes d'ergonomie visuelle applicables à l'éclairage des lieux de travail). Voir également le Guide AFE relatif à l'éclairage des lieux de travail - www.lux-editions.fr/categorie-produit/guides-et-recommandations/eclairage-interieur/

Les notions de confort et d'acuité visuels sont subjectives et propres à chaque individu. Il est conseillé d'installer des systèmes de gradation. Ce qui permet de faire varier individuellement le flux lumineux des luminaires et même les températures de couleur en cas d'utilisation d'un éclairage en blanc dynamique. L'utilisateur bénéficie ainsi d'un éclairage adapté à ses propres besoins.

Température de couleur

La lumière blanche émet une grande variété de blancs allant des blancs chauds orangés à des blancs froids bleutés. La température est exprimée en Kelvin. Par exemple :

2 500 K = blanc chaud

4 000 K = blanc neutre

6 500 K = blanc froid

L'analyse du taux d'éblouissement s'effectue via la méthode **UGR** (Unified Glare Rating). Elle est élaborée par la Commission Internationale de l'Éclairage (CIE-117) et définie comme les « conditions visuelles dans lesquelles il y a un contraste excessif ou une distribution inappropriée des sources lumineuses qui gêne l'observateur ou limite sa capacité à distinguer les détails et les objets ».

$$UGR = 8 \log \left(\underbrace{\frac{0.25}{L_b}}_{(1)} \sum \underbrace{\frac{L^2 \Omega}{P^2}}_{(2)} \right)$$

Dans le calcul de l'UGR, plusieurs facteurs sont pris en compte : la forme et la dimension de la pièce, la luminance, le type de luminaire, la luminance de la source, la répartition des luminaires, la ou les positions de l'observateur.

La norme **NF EN 12464-1** (Éclairage des lieux de travail intérieurs) **indique des valeurs limites** à ne pas dépasser pour chaque application, **plus la valeur est faible, moins l'éblouissement est élevé.**

UGR	Application
≤ 16	Travail de précision
≤ 19	Travail de bureau
≤ 22	Accueil
≤ 25	Escalier, ascenseur, archives
≤ 28	Circulation

*En éclairage extérieur, on utilise la valeur d'éblouissement **RG**, explicitée dans la norme **EN 12464-2**.*

Les drivers

La qualité de l'éclairage ne dépend pas uniquement de la source mais également du driver, appelé également alimentation, les LED étant très sensibles à leur courant d'entrée. La propriété la plus importante est le taux de ripple responsable du scintillement appelé aussi papillonnement ou encore flickering.

Le papillonnement ou scintillement est un problème connu depuis les anciennes lampes fluorescentes. Au fil du temps, les ballasts électroniques, toujours plus performants, ont largement compensé ces impulsions parasites jusqu'à les faire disparaître de notre perception visuelle.

Depuis que les LED se sont imposées, le terme anglais de « flicker » – papillonnement ou scintillement – est à nouveau à l'ordre du jour. Le driver des LED joue un rôle prépondérant dans une lumière aussi dénuée que

possible de scintillements.

Les papillotements correspondent aux changements d'intensité lumineuse ou de luminosité sur un certain laps de temps.

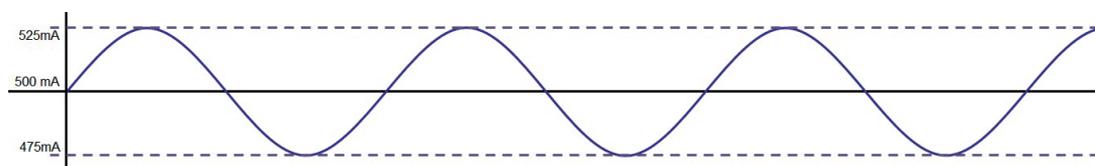
Selon la sensibilité de la personne et en fonction de la fréquence, les « flicker » peuvent influencer sur le bien-être. Les fréquences hautes n'ont, a priori, aucune influence sur le bien-être, contrairement à celles plus faibles allant jusqu'à 120 Hz, considérées comme les plus dérangeantes.

Explication technique :

Une source LED est alimentée par un driver, dont le rôle est de transformer le 230 V alternatif en courant constant.

Le signal obtenu consiste en une légère oscillation, du fait même des circuits utilisés pour le stabiliser.

Plus le driver est de bonne qualité, plus faible sera l'oscillation.



Exemple simplifié d'un courant de 500mA avec ripple +/-5%. / Source Tridonic

Cette oscillation électrique, aussi appelée « ripple », est directement transmise aux LED qui vont scintiller de la même façon. C'est le « flicker ».

En l'absence de régulation, le flicker serait de 100 %. Avec une régulation parfaite (théorie), le flicker serait de 0 %.

L'absence totale de flicker ou « flicker-free » est techniquement impossible. Aussi faible soit-il, tout driver aura une ondulation en courant (ripple), engendrant un scintillement (flicker) visible. A l'heure actuelle, aucune norme n'indique à partir de quel moment un driver peut être considéré comme « flicker-free ».

Il est commun de considérer un ripple :

> 30 % comme médiocre

Entre 10 % et 30 % comme acceptable dans les lieux de passages

Entre 5 % et 10 % comme bon
< 5 % comme excellent

Ces nombreux paramètres respectés, les utilisateurs peuvent bénéficier d'un éclairage LED qualitatif, d'une ambiance lumineuse agréable et effectuer leurs tâches avec performance.

L'éclairage blanc dynamique va au-delà de ces critères, en proposant un éclairage de type circadien qui reproduit la lumière du soleil en fonction de l'heure de la journée. Ces solutions jouent à la fois sur la variation de l'intensité du flux et de la température de couleur.

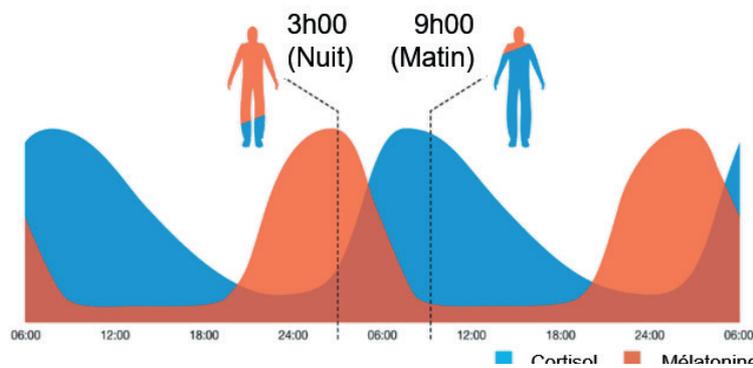
2 ■ RYTHME CIRCADIEN ET RÔLE DE L'ÉCLAIRAGE

La lumière naturelle a une influence sur le métabolisme humain et en particulier sur notre horloge biologique. Le Prix Nobel de médecine 2017 a d'ailleurs été attribué aux trois chercheurs américains Jeffrey C. Hall, Michael Rosbash et Michael W. Young pour « leurs découvertes des mécanismes moléculaires qui règlent le rythme circadien ».

Leurs conclusions sont l'aboutissement de travaux débutés dans les années 1970 avec la découverte en 1984 du premier gène qui

contrôle le cycle circadien, complétée plus tard par celle des cellules ganglionnaires rétiniennes (photorécepteurs circadiens).

Le rythme circadien, qui s'étend sur un cycle d'environ 24 heures, permet à l'humain de s'adapter aux différents moments de la journée. Le matin, la lumière du jour augmente la sécrétion de cortisol (qui assure éveil et concentration) et stimule la formation de sérotonine (qui a un effet antidépresseur). À l'inverse, le soir, en l'absence de stimulus lumineux de courtes longueurs d'onde, l'organisme secrète de la mélatonine (l'hormone du sommeil).



Influence de la lumière naturelle sur le métabolisme humain (source Trilux)

Dans un rythme circadien classique (non dérégulé), la sécrétion de mélatonine débute vers 18 h (lors de la phase de relaxation), le cortisol atteint alors son niveau le plus bas. Quand la mélatonine atteint son maximum vers 3 h du matin, la sécrétion de cortisol augmente peu à peu. La phase de réveil commence vers 6 h du matin, lorsque le niveau de cortisol est plus important que celui de la mélatonine. Il est à son maximum vers 9 h. Ces phases sont cadencées par les cycles d'éveil et de sommeil du rythme circadien. Une bonne « hygiène de lumière » s'avère dès lors déterminante pour la santé humaine.

L'éclairage joue un rôle majeur pour suivre le cycle circadien et les besoins des utilisateurs tout au long de la journée. La dimension holistique est tout l'enjeu de l'éclairage centré sur l'humain (Human Centric Lighting - HCL). L'intensité lumineuse et la

teinte de la lumière naturelle (température de couleur) varient en fonction de l'heure de la journée, de la saison et de la position géographique. Ces changements ont une influence sur l'organisme humain. L'éclairage HCL tire parti des effets non visuels de la lumière. Il suit les variations de la lumière naturelle et s'adapte en temps réel à la fois aux besoins spécifiques de l'utilisateur et au domaine d'application.

L'approche HCL dépasse la conception traditionnelle de l'éclairage, basée sur des purs critères d'éclairage ou d'efficacité énergétique, et se focalise davantage sur les effets de la lumière sur notre santé et notre bien-être.

AMÉLIORER L'ATTRACTIVITÉ ET LA QUALITÉ D'USAGE DES ESPACES

Alors que la lumière naturelle est indispensable à notre horloge biologique et à la synchronisation de notre cycle veille/sommeil, nous passons environ 80 % de notre quotidien sous un éclairage artificiel, qui bien souvent ne suit pas les variations de la lumière naturelle.

Les solutions d'éclairage HCL sont en mesure de recréer les variations de la température de couleur, afin de synchroniser le cycle circadien de l'utilisateur avec les phases veille/sommeil.

Les teintes chaudes sont utilisées pour les moments de détente, les teintes plus froides pour les moments d'activation ou de concentration.

Le principe de courbe circadienne s'applique aussi pour l'intensité lumineuse : plus le niveau d'éclairement est élevé plus la concentration est stimulée.

La température de couleur et l'intensité lumineuse ont une influence directe sur notre humeur, notre bien-être et nos performances. La combinaison d'une solution d'éclairage HCL et d'un système de gestion d'éclairage intelligent (qui intègre une courbe circadienne) permet de suivre le cycle de la lumière naturelle et de soutenir le rythme circadien de l'utilisateur, sans pour autant négliger les aspects normatifs et énergétiques.

1 ■ BUREAUX : MIEUX ÉCLAIRER POUR MIEUX TRAVAILLER

Les environnements tertiaires évoluent. Les bureaux traditionnels disparaissent progressivement. Les anciens postes de travail se transforment en espaces de nouvelle génération, favorisant la flexibilité, la communication et la mobilité.

Les solutions d'éclairage s'adaptent à ce contexte. Elles deviennent de plus en plus polyvalentes et sont capables de répondre à

une grande variété de besoins : faire coexister bureaux paysagers, bureaux partagés, espaces de rencontre et différents rythmes de travail. Grâce aux solutions d'éclairage HCL, qui s'adaptent de manière flexible à chaque situation, l'occupant bénéficie en permanence d'un confort visuel optimal.

L'étude *Repro-Light*¹, menée en 2018 sur un échantillon représentatif de 1 100 employés en Europe, a mis en évidence que 56 % des utilisateurs finaux, en particulier les femmes et les employés de plus de 50 ans, aimeraient un meilleur éclairage de leur lieu de travail. 80 % des personnes interrogées ont indiqué souhaiter que l'éclairage de leur poste de travail s'adapte automatiquement à leurs besoins et plus de 75 % souhaitent que l'éclairage de leur poste de travail change de couleur lorsqu'il fait nuit à l'extérieur.

Les participants de l'étude étaient également amenés à analyser l'impact de l'éclairage sur leur environnement de travail. Plus de 90 % des personnes interrogées ont déclaré croire que l'éclairage sur leur lieu de travail peut avoir un impact sur leur humeur, 92 % ont déclaré qu'il a une influence sur leur vigilance et 87 % ont déclaré qu'il affecte leurs performances.

Comme l'a souligné l'étude *Repro-Light* de 2018, la perception de l'éclairage optimal diffère selon l'âge, l'humeur et l'état de santé de chacun. Dans les bureaux, les employés peu exposés à la lumière du jour sont soumis à de nombreux stimuli artificiels qui peuvent influencer leur horloge interne.

La composition spectrale d'une solution circadienne change au cours de la journée de manière similaire aux variations de la lumière naturelle. Les solutions HCL permettent de faire varier individuellement les paramètres de l'éclairage (température de couleur, niveau d'éclairement), afin que chaque utilisateur dispose de la lumière adaptée à ses besoins.

LightingEurope, l'association qui représente les principaux acteurs de l'industrie de l'éclairage en Europe², a établi un schéma d'économie circulaire et vertueuse de l'éclairage qui démontre que la conception

¹ *Projet de recherche européen, Repro-Light vise à aider l'industrie européenne de l'éclairage à évoluer vers un avenir plus durable et plus compétitif.*

² www.lightingeurope.org

biodynamique (HCL) de l'éclairage va s'imposer à terme comme la référence dans l'éclairage artificiel. La technologie LED est le standard actuel des sources lumineuses, grâce à sa longue durée de vie et son efficacité énergétique élevée. Les systèmes de gestion d'éclairage, couplés à des capteurs (lumière du jour et détection de présence), permettent d'utiliser l'éclairage de manière raisonnée et de générer des économies d'énergies.

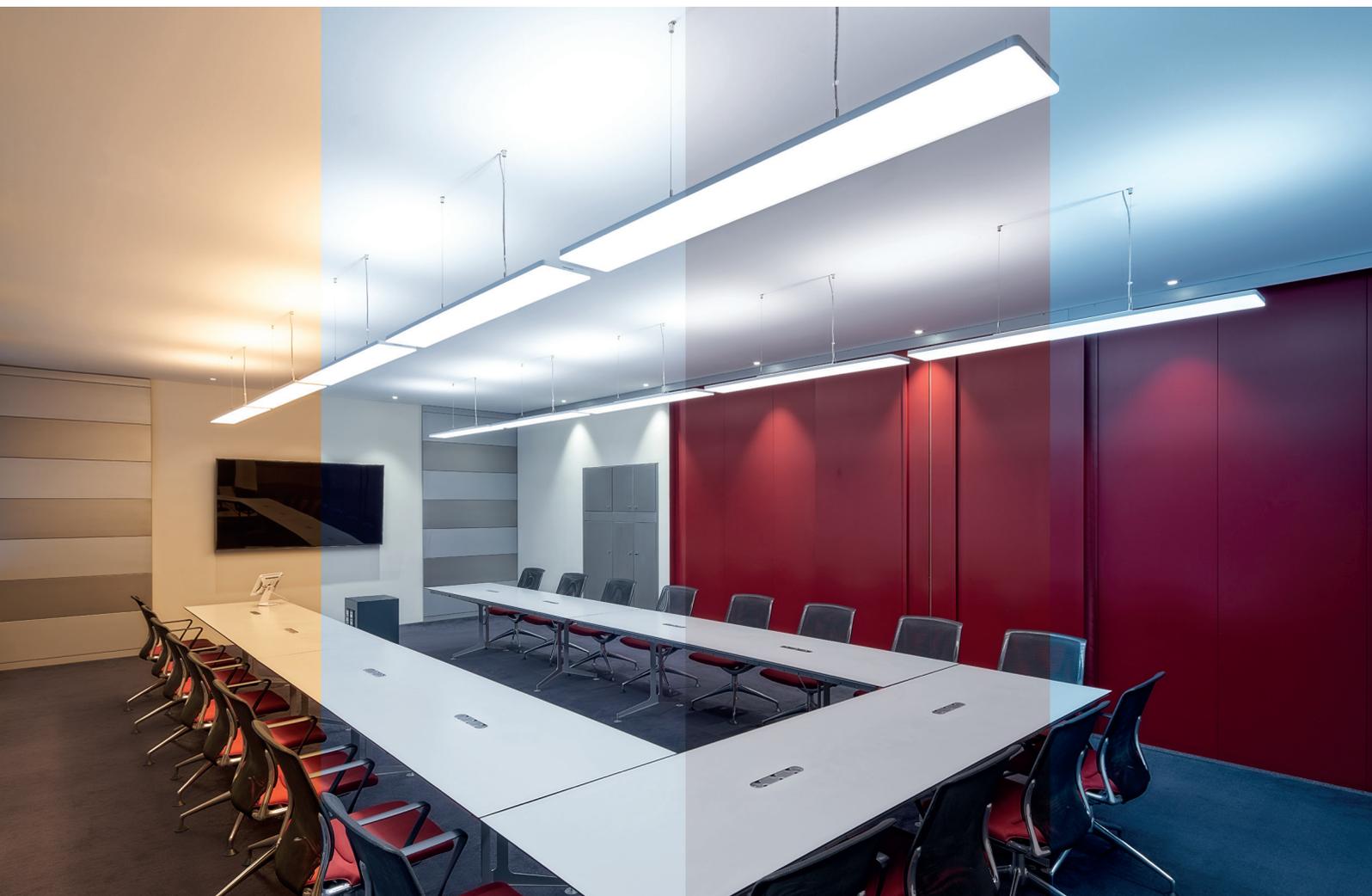
Un rapport technique récent du Comité Européen de Normalisation (CEN / TR 16791:2017) définit une méthode d'évaluation de l'efficacité biologique d'une source lumineuse sur la base de données scientifiques. Le facteur d'effet mélanopique permet d'évaluer de manière objective l'effet d'une source lumineuse sur les cellules ganglionnaires photosensibles de l'œil, et donc son potentiel pour déclencher certains processus biologiques.

De nombreuses études et normes prennent déjà en compte l'effet biologique de la solution d'éclairage. La norme WELL², par exemple, recommande de respecter un ni-

veau minimal de « lux mélanopiques équivalents » (équivalent melanopic lux ou EML) dans les locaux, en fonction de l'utilisation qui en est faite. Pour les espaces de travail, la norme WELL recommande ainsi au moins 200 EML sur la période 9 h-13 h pour 75 % des postes de travail. Le calcul tient compte de la lumière naturelle.

Capable de générer un effet stimulant ou apaisant, l'éclairage HCL se révèle particulièrement efficace dans les environnements de bureaux. Une solution HCL performante permet de configurer un éclairage ciblé pour un open-space, une salle de réunion ou un espace de détente avec la bonne température de couleur et d'adapter le scénario lumineux aux besoins des occupants. L'éclairage sur mesure assure des conditions de travail optimales, favorise la concentration, crée une atmosphère propice à la créativité et au bien-être, tout en permettant de maîtriser les coûts d'exploitation et de maintenance.

² La norme WELL est établie par l'International WELL Building Institute, organisme d'utilité publique dont la mission est d'améliorer la santé et le bien-être des personnes à l'intérieur des bâtiments par la définition de normes.





2 ■ ÉTABLISSEMENTS DE SANTÉ : UN ÉCLAIRAGE BIODYNAMIQUE POUR LE BIEN-ÊTRE DES PATIENTS ET DES SOIGNANTS

Qu'il s'agisse d'un centre hospitalier, d'un cabinet médical ou d'un centre de soins, le bon éclairage favorise le bien-être des patients. La température de couleur et l'intensité lumineuse ont un effet positif sur l'humeur, la guérison et la synchronisation de l'horloge interne.



EHPAD de Valenton, Orpea | ©TRILUX

En collaboration avec le CHU de Nice, le Centre d'Innovation et d'Usages en Santé (CIU-Santé) et TRILUX, le groupe ORPEA - l'un des acteurs européens majeurs de la prise en charge de la dépendance physique et psychique -, sous l'impulsion du Docteur Linda Benattar, Directrice Médicale, a évalué en 2016 l'impact de l'éclairage HCL sur les différents symptômes de la maladie d'Alzheimer.

Des solutions d'éclairage HCL TRILUX, dont l'intensité lumineuse et la température de couleur se rapprochent de la lumière naturelle, ont été installées dans tous les espaces de vie et les circulations de l'EHPAD de Valenton (près de Paris). Dans ce contexte, les effets de la lumière dynamique sur la durée des phases de sommeil ainsi que sur les troubles du comportement et l'anxiété de personnes atteintes de la maladie d'Alzheimer ont été examinés. Dans au moins 44 %³ des cas, une maladie neurodégénérative de type Alzheimer s'associe à une modification du rythme du sommeil avec des réveils nocturnes fréquents qui provoquent une diminution de la phase de sommeil nécessaire à la récupération des fonctions cérébrales. Il en résulte alors des troubles de la concentration et des endormissements en journée qui aggravent les symptômes déjà existants.

Les résidents ont été équipés de bracelets (montres d'actimétrie) permettant de mesurer leur activité diurne et nocturne, les temps de repos ainsi que les périodes de sommeil. Les soignants ont évalué les troubles du comportement et l'anxiété des résidents sur la base des échelles NPI (Inventaire Neuropsychiatrique) et COVI (échelle d'évaluation clinique de l'anxiété).

Les résultats de cette étude ont montré une amélioration significative de la qualité de vie des résidents, due uniquement à l'installation de solutions d'éclairage HCL dans les espaces d'activités. Le gain de sommeil était en moyenne de 55 minutes par 24 h, avec une diminution du nombre de réveils nocturnes, ainsi qu'une baisse considérable des troubles du comportement (-4,6 points

³ Treatment of sleep disturbances in Alzheimer's disease. McCurry SM et al. Sleep Medicine Reviews 2000;4(6):603-28

sur le score NPI qui en compte 12), accompagnée d'une réduction du niveau d'anxiété (-0,7 point sur les 4 points de l'échelle COVI).

L'éclairage HCL a ainsi des bénéfices conséquents sur le bien-être des personnes atteintes de la maladie d'Alzheimer. Les résidents dorment plus longtemps, la qualité de leur sommeil est améliorée. Ils manifestent nettement moins de troubles du comportement et de symptômes d'anxiété.

Voir également le Guide AFE sur l'éclairage dans les établissements accueillant des personnes âgées dépendantes

www.lux-editions.fr/produit/recommandations-afe-relatives-a-leclairage-des-lieux-de-soins-et-daccompagne-ment/

3 ■ ECLAIRAGE DES ÉCOLES : MIEUX ÉCLAIRER POUR MIEUX APPRENDRE

Trois salles de classe d'une école primaire danoise bénéficient d'un nouveau système d'éclairage Zumtobel intégrant la technologie Tunable White, qui permet aux enseignants de choisir différents scénarios d'éclairage. En 2016, une analyse de l'environnement de la classe a été réalisée. En parallèle, une étude a été menée sur les besoins des enseignants et des étudiants ainsi que les effets de l'éclairage existant sur le comportement des élèves. Sur la base de cette évaluation, quatre scénarios d'éclairage ont été définis, mis en œuvre dans les salles de classe et évalués au cours de la dernière phase de test de la recherche du projet en 2017.



Source Ecole d'Herstedlund DK / Zumtobel

L'hypothèse était que les scénarios d'éclairage doivent aider les enseignants à structurer leur enseignement. L'analyse des activités de la classe et de l'utilisation par les enseignants des scénarios d'éclairage indiquent que les changements en termes de scénarios pendant les cours a souvent coïncidé avec un changement d'activité. L'analyse a révélé que les utilisations des scénarios d'éclairage étaient liées à cinq types de motivations différentes :

- Soutenir et structurer des activités d'apprentissage.
- Communiquer avec l'éclairage et impliquer les étudiants.
- Influencer le niveau d'activité et le comportement des étudiants.
- Créer des atmosphères.
- Prendre en charge les tâches visuelles et apporter le meilleur confort visuel.

Dans le cas des écoles, ces motivations devraient être prises en compte lors de la conception de systèmes interactifs de contrôle dynamique de l'éclairage dans les salles de classe.

Les résultats montrent que chaque enseignant suit un modèle personnel et utilise l'éclairage comme un outil individuel. Tout système devrait, par conséquent, permettre de soutenir cette polyvalence et cette adaptabilité.

4 ■ INDUSTRIE : MIEUX ÉCLAIRER POUR MIEUX PRODUIRE

Eviter les erreurs, améliorer la sécurité au travail et la productivité sont des enjeux majeurs dans le secteur industriel. Selon une étude du cabinet A.T. Kearney, dans l'industrie, un éclairage adapté améliore la productivité de 13 % et réduit le nombre d'accidents de 11 %.

Le travail posté peut se traduire par un rythme veille/sommeil perturbé. Un niveau d'éclairement trop bas peut également avoir un impact négatif sur la sécurité des opérateurs. Les solutions d'éclairage HCL permettent d'y remédier. Grâce à des capteurs et des scènes lumineuses préprogrammées,

elles assurent en permanence des conditions de visibilité optimales dans les halls de stockage, les sites de production ou les plateformes logistiques.

Alors que le digital révolutionne l'industrie, que les processus de production s'automatisent, l'éclairage devient lui aussi plus en plus en plus connecté. Les installations d'éclairage intelligent se focalisent de plus en plus sur le bien-être des utilisateurs.

Répondant aux exigences élevées en termes de visibilité, de sécurité et d'efficacité énergétique, l'éclairage HCL réduit les risques d'accident, stimule la productivité et favorise le bien-être des utilisateurs. Il contribue également à générer des économies d'énergie qui peuvent atteindre 85 % et préserve l'environnement.

5 ■ UTILISER LA LUMIÈRE COMME VECTEUR D'ÉMOTION ET DE LIEN ENTRE LES USAGERS ET LES ESPACES URBAINS

La lumière permet de percevoir l'espace et module/ façonne notre environnement nocturne. Les éclairages extérieurs influencent notre perception, aident à l'orientation, créent des émotions, procurent un sentiment de sécurité.

L'éclairage extérieur revêt différentes facettes :



Une lumière architecturale et technique de différentes couleurs, tantôt précise sur certains éléments du bâtiment, tantôt diffuse sur la totalité du bâtiment, met en valeur et structure l'architecture des bâtiments, des monuments et des espaces urbains.

Un paysage urbain harmonieux est le fruit d'une approche holistique de l'éclairage, de mises en scène et d'accentuation, intégrant des monuments historiques, des commerces, des espaces publics,...

Un éclairage architectural réussi met en scène l'architecture, les matériaux, en préservant le caractère du bâtiment ou de l'espace. Ces concepts d'éclairage sont aussi des repères d'orientation et renforce un sentiment de sécurité



Tour des airs, Brême | DE / Source Zumtobel

Une lumière émotionnelle joue sur les couleurs et les formes, pour créer une relation émotionnelle entre l'architecture éclairée et celui qui regarde. L'éclairage émotionnel ne met pas en valeur l'architecture d'un bâtiment mais le façonne pour donner une nouvelle personnalité à l'architecture éclairée. Un éclairage émotionnel se veut créatif, il invite à regarder, admirer, s'attarder, et fait naître de nouvelles perceptions et des sensations remplies d'émotion.



Cependant, un éclairage nocturne mal utilisé peut avoir des répercussions néfastes sur l'environnement. Les solutions mises en place doivent respecter l'environnement, la biodiversité et ne pas polluer inutilement en projetant une lumière vers le ciel.

CONCLUSION

L'éclairage HCL contribue au rythme circadien, réduit l'effet de somnolence et favorise un sommeil de qualité. Il peut générer un effet stimulant ou apaisant selon l'heure de la journée ou les besoins. Il influence également l'humeur, renforce le bien-être des utilisateurs, améliore la vigilance, la concentration et la performance au travail.

Les solutions d'éclairage intérieur et extérieur deviennent de plus en plus intelligentes. Elles sont en mesure d'adapter leur intensité lumineuse et leur température de couleur non seulement aux besoins spécifiques de chaque utilisateur, mais également en fonction de la lumière du jour, qui varie selon la position géographique et la saison. Les solutions HCL contribuent à réduire la consommation d'énergie (jusqu'à 80 % par rapport à des installations conventionnelles). Elles s'avèrent ainsi à la fois éco énergétiques, durables et s'inscrivent dans la perspective d'avenir du Smart Lighting.





Dans la même collection,

« La révolution LED »

La révolution technologique de la LED est une opportunité unique d'accélérer significativement la transition digitale et environnementale de notre parc immobilier, de nos espaces urbains et de tous nos espaces de vie en général.

La rénovation de l'éclairage est l'occasion de plusieurs mutations simultanées :

- La rénovation de l'éclairage se paye sur les économies d'énergie, elle permet l'émergence de nouveaux modèles économiques comme l'économie de la fonctionnalité, Lighting as a Service ...
- L'éclairage est une infrastructure, dense, universelle et stable : elle permet de digitaliser les espaces en déployant des technologies : capteurs, IoT, Lifi ... qui permettent de nouveaux et de meilleurs usages de nos espaces.
- Enfin, l'éclairage influence notre expérience et notre bien-être. Il a un profond impact physiologique et psychologique sur les humains. En rénovant les éclairages de nos espaces de vie, nous pouvons les rendre plus attractifs, plus agréables et tout en répondant à nos besoins de vision.

« IoT et digital »

L'éclairage, par son omniprésence essentielle dans nos bâtiments, offre une structure d'accueil et de déploiement fiable permettant d'adapter son usage en collectant des données, de proposer de nouveaux services et permet alors de comprendre et à améliorer l'usage des espaces dans lesquels il est déployé.

L'éclairage devient le support de la digitalisation.

Ces guides AFE/SBA sont téléchargeables gratuitement sur le site de l'AFE : <http://www.afe-eclairage.fr/guides-et-recommandations/guides-afe-sba---la-renovation-de-l-eclairage-82.html>

Collection : Les dossiers de l'AFE
ISBN : 2-85604-053-5



Association française de l'éclairage
17, rue de l'Amiral Hamelin
75116 PARIS

Tél. : 01 45 05 72 00 – Mail : afe@afe-eclairage.fr – Site Internet : www.afe-eclairage.fr