

DOSSIER

LED

7^{ÈME} ÉDITION, MAI 2018

ETAP 
EXCELLENT LIGHTING, SAVING ENERGY

7^{ème} édition, mai 2018
© 2018, ETAP SA

TABLE DES MATIÈRES

A. Qu'est-ce qu'une LED ?	4
1. Comment fonctionnent les LED ?	4
2. Les types de LED	5
3. Niveaux d'intégration	8
4. Les OLED	9
B. Éclairer avec des LED.....	10
1. Durée de vie	10
I. Durée de vie utile.....	10
II. Dépréciation	10
III. Facteur de dépréciation.....	11
IV. FDLL	13
2. Performances.....	16
I. Efficacité.....	16
II. Régulation thermique.....	18
3. Aspects de couleur	20
I. Rendu des couleurs.....	20
II. Binning	24
III. Rayonnement (IR/UV).....	25
4. Traitement de la lumière	26
I. Distribution lumineuse/types d'optiques.....	26
II. Luminance	28
5. Sécurité électrique.....	29
6. Sécurité photobiologique	30
7. Gestion d'éclairage intégrée.....	32
C. Drivers	33
1. Scintillement.....	33
2. Critères de qualité.....	36
3. Types de commande	38
4. Gradation	39
D. À quoi être attentif en tant qu'utilisateur ?.....	41
1. Information de qualité et objective	41
2. Critères de choix (rendement, distribution lumineuse, expérience, durée de vie, FDLL, confort, couleur, environnement)	42
3. Les tubes à LED	46
E. L'avenir des LED (miniaturisation, nouvelles applications (de niche), ...)	48
F. Normes internationales	50
Terminologie.....	51

A. Qu'est-ce qu'une LED ?

1. Comment fonctionnent les LED ?

LED signifie light emitting diode ou diode électroluminescente (DEL). Une LED est un semi-conducteur (diode) qui émet de la lumière quand du courant le traverse. Les matériaux semi-conducteurs que les LED utilisent transforment l'énergie électrique en un rayonnement électromagnétique visible, c'est-à-dire en lumière.

Le stimulant est donc le courant électrique qui passe par la diode (plus spécifiquement par la jonction). La diode que traverse le courant électrique est – comme toutes les diodes – unidirectionnelle : de la lumière n'apparaîtra que si un courant continu la traverse dans la 'bonne' direction, à savoir de l'anode (pôle positif) à la cathode (pôle négatif).

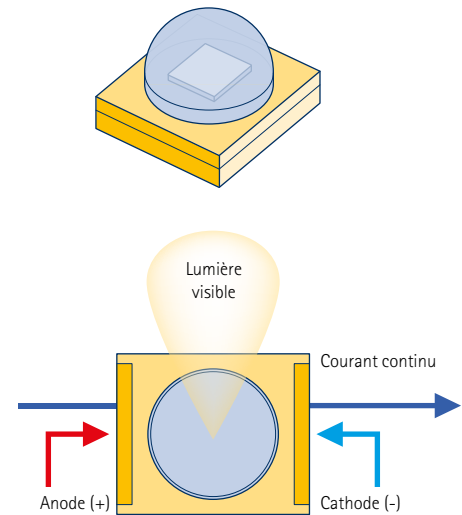


Fig. 1: Le fonctionnement d'une LED

La quantité de lumière générée est à peu près proportionnelle à la quantité de courant qui traverse la diode. À des fins d'éclairage, on travaille par conséquent toujours avec des alimentations à courant régulé ('constant current'), voir chapitre C.3.

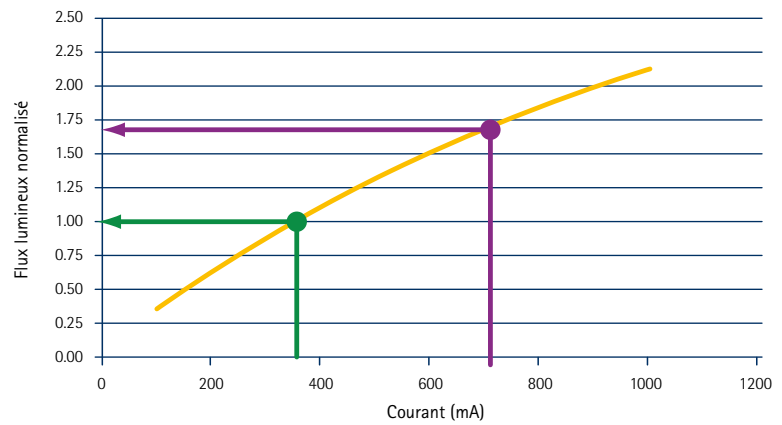


Fig. 2: Influence du courant sur le flux lumineux

La combinaison de la LED (le semi-conducteur), de l'embase et de l'optique primaire est appelée un composant LED. Ce composant LED englobe et protège la LED, veille à ce que la chaleur générée en interne soit diffusée de manière égale, et comprend un système optique primaire – disons une petite lentille – afin de collecter et de rayonner la lumière générée par la LED selon un schéma défini.

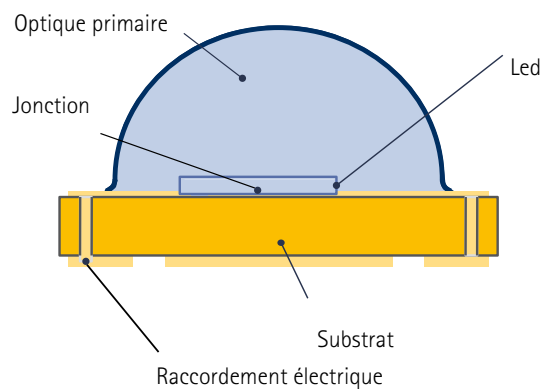


Fig. 3: Composition d'un composant LED

La LED émet une lumière monochromatique. La couleur de la lumière dépend des matériaux utilisés pendant la production. Il peut s'agir de toutes les couleurs saturées du spectre visible, du violet au rouge en passant par le bleu et le vert.

Si nous voulons produire de la lumière, nous procéderons comme suit :

1. De manière dichromatique :
La manière la plus courante est de munir une LED bleue d'un matériau luminescent qui transforme une partie de la lumière bleue en lumière blanche (ou plutôt 'jaune'). La composition du matériau luminescent détermine la température de couleur de la lumière en résultant (plus d'informations sur la température de couleur plus loin dans ce chapitre).
2. De manière trichromatique :
 - En mélangeant les couleurs rouge, verte et bleue (RGB). Cette technologie est peu appliquée dans l'éclairage fonctionnel.
 - En combinant des LED blanches selon le premier principe avec des LED rouges ou ambre. Dans ce cas, différentes températures de couleur sont possibles avec un seul module.

2. Les types de LED

Les composants LED¹ peuvent être répartis selon différents critères, comme la couleur, la puissance, la forme de construction. Ces répartitions ne sont toutefois pas standardisées et peuvent évoluer ou fluctuer en fonction des évolutions technologiques. Qui plus est, des chevauchements entre catégories existent : ainsi, les LED highpower (HP) et lowpower (LP) diffèrent en ce qui concerne la puissance, mais aussi la forme de construction.

Couleur:

- Les LED à conversion par phosphore produisent généralement une lumière bleue, convertie en lumière blanche au moyen d'une couche de phosphore.
- D'autres LED pures sont dépourvues de couche de phosphore, mais rayonnent des couleurs pures (rouge, vert, ambre ou bleu, par ex.) ou des ondes IR ou UV. La couleur dépendra du matériau utilisé.

Puissance:

- low power ($\leq 1W$)
- high power (1-10W)

Forme de construction:

- dispositifs leadframe (à grille de connexion)
- puces LED sur substrats
- chip-scale package
- chip-on-board

Les constructions leadframe sont surtout appliquées pour les LED basse puissance. La puce LED est positionnée sur le leadframe, autour duquel on vient ensuite installer une embase en matière synthétique. Dans les LED à conversion par phosphore, la cavité centrale est remplie d'une couche de silicone dans laquelle se trouve du phosphore. Tant le leadframe que l'embase font dans cette construction office de réflecteur pour une partie de la lumière rayonnée. Cela explique du reste de suite pourquoi les propriétés optiques – par ex. le pouvoir réfléchissant et le vieillissement du matériau – contribuent à la dépréciation de la lumière à long terme : mieux le matériau conserve ses propriétés réfléchissantes, moindre sera la dépréciation. Le choix du matériau synthétique est considéré sur la base des propriétés optiques, mais aussi du prix de revient et des possibilités de mise en œuvre. Les matériaux les plus courants pour l'embase sont les matériaux thermoplastiques comme le PPA et le TPC, ainsi que les thermodurcissables comme l'EMC et dans certains cas même les silicones.

Actuellement, certaines formes de LED basse puissance comme les LED multi-die (à 2 puces) ont un flux lumineux supérieur. Dans le cas de LED bleues ou UV, la densité supérieure de lumière bleue entraîne toutefois une dégradation plus forte du matériau, ce qui influence négativement la durée de vie ainsi que le rendu des couleurs.

¹ Les composants LED se rapportent – contrairement aux puces LED – non seulement au matériau actif, mais sont également pourvus de connexions électroniques, et éventuellement d'une optique primaire et/ou d'une couche de phosphore.

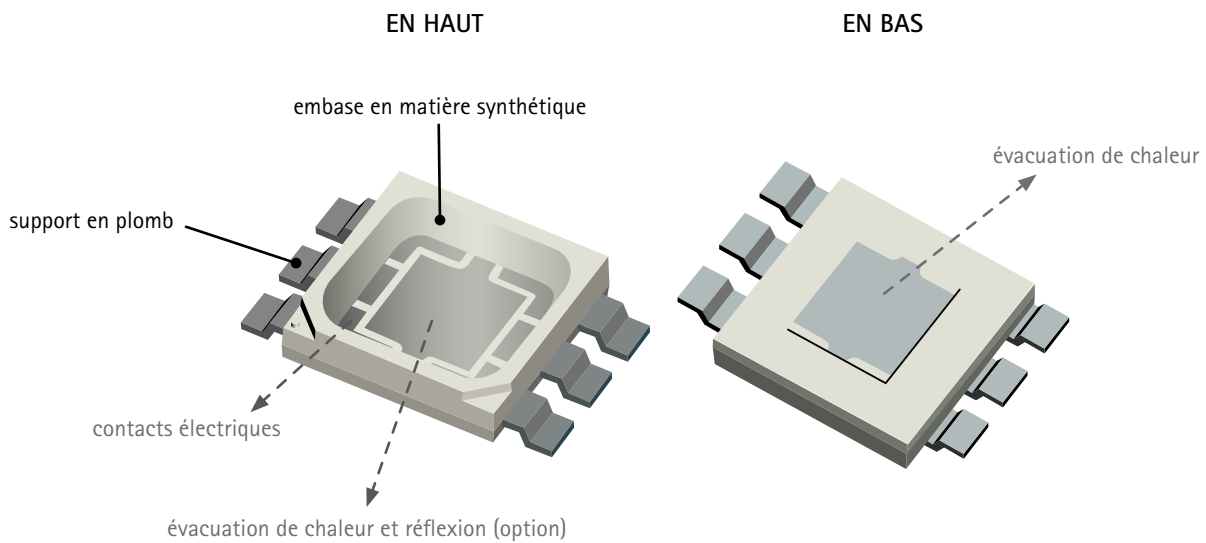


Fig. 4: Leadframe LED à embase en matière synthétique (pour les LED basse puissance)

Des substrats céramiques sont généralement mis en œuvre dans les LED haute puissance. Sur le substrat – à puce LED – on dispose une couche de phosphore ainsi qu'une optique primaire, généralement en silicone. Cette forme de construction présente les propriétés suivantes :

- une bonne évacuation de la chaleur vers le PCB (circuit imprimé) (résistance thermique interne inférieure)
- lumière rayonnant directement et peu de réflexion
- une bonne stabilité de couleur sur la totalité de l'angle de défilement

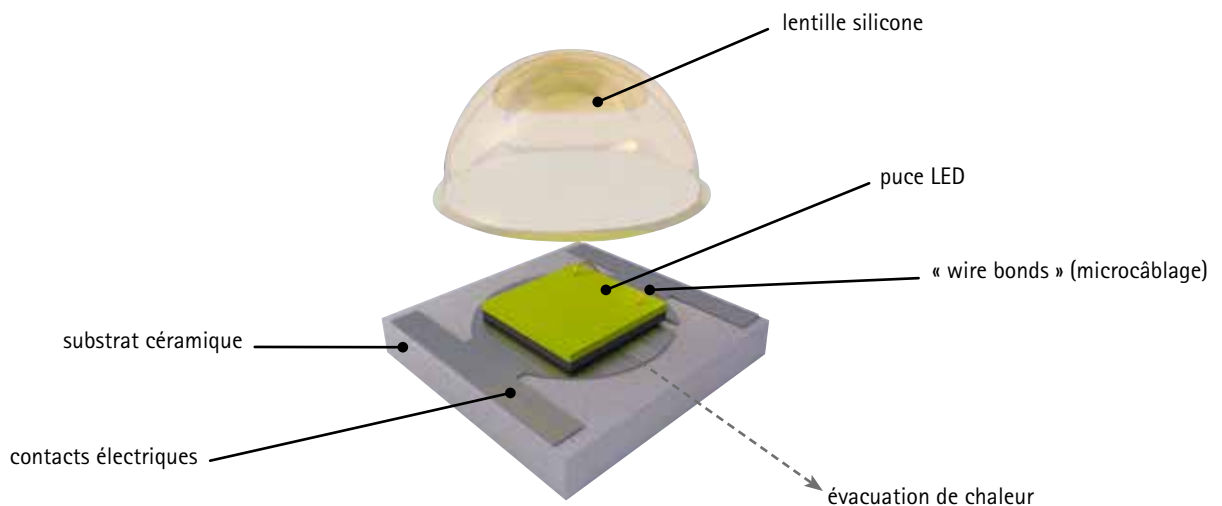


Fig. 5: Composition d'une LED haute puissance

Le chip-scale package est une miniaturisation de la LED (basse ou haute) puissance. Ce LED package présente une embase minimale, et est particulièrement compact (1 à 4 mm² de grandeur). Pour de basses puissances, des formes encore plus petites ont apparues (0,5 mm²). La chaleur est directement évacuée de la puce vers le circuit imprimé, ce via les contacts électriques. Grâce au trajet très court à parcourir, l'évacuation de chaleur est extrêmement efficace.

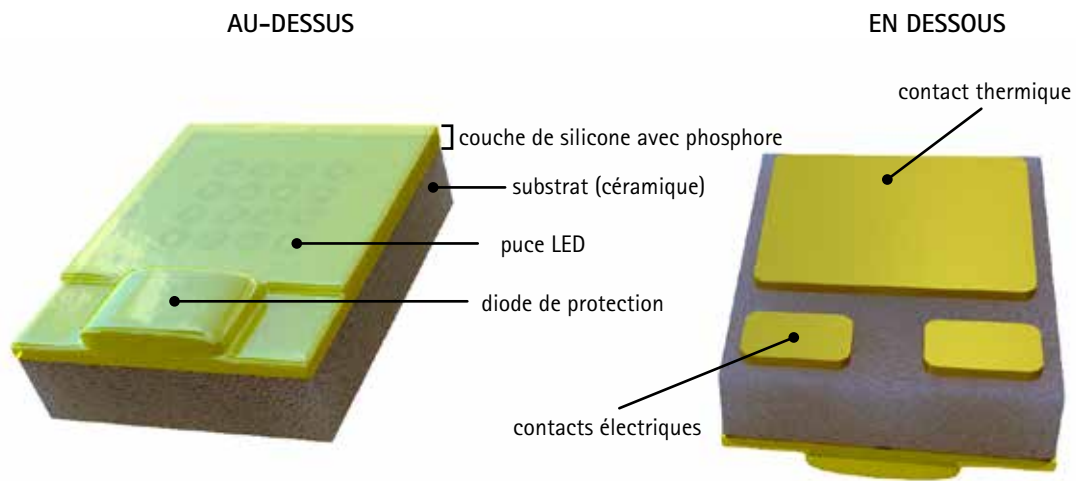


Fig. 6: Composition d'un chip-scale package

Dans la technologie chip-on-board – le plus souvent mise en œuvre dans les LED à conversion par phosphore – plusieurs puces sont disposées ensemble sur un substrat et reliées électriquement les unes aux autres. On applique alors par-dessus une couche de protection en silicone au phosphore. Le substrat se compose généralement d'un matériau céramique ou d'un aluminium haute réflexion (poli).

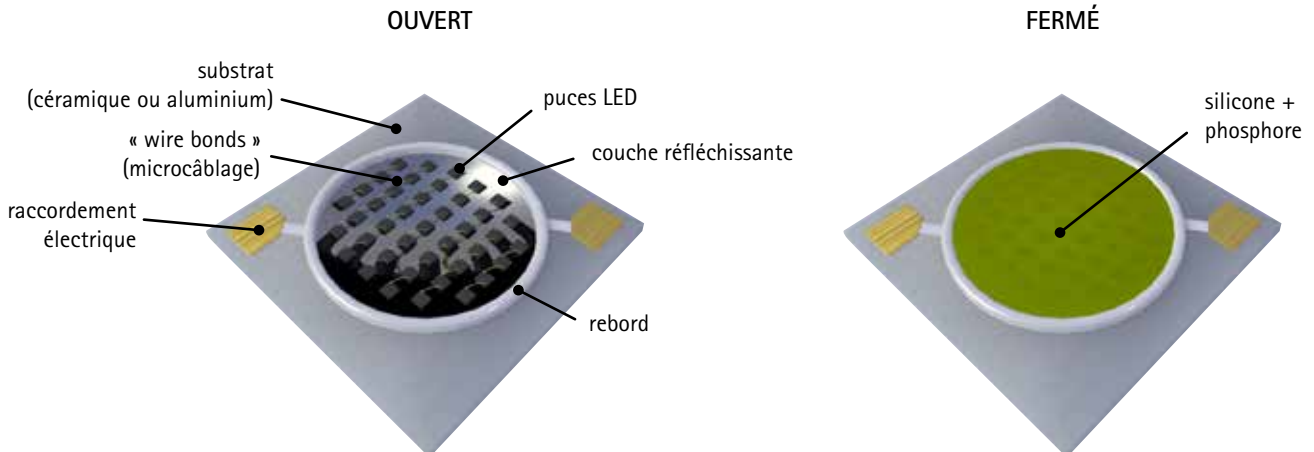


Fig. 7: Composition technologie Chip-on-board

L'évolution des propriétés optiques en fonction du temps sous l'influence de la lumière et de la chaleur a une grande influence sur le facteur de dépréciation des LED. La stabilité est optimale pour les composants haute puissance (par ex. high power et COB), et elle est moindre pour les LED basse puissance en matière synthétique. Moyennant une conception bien étudiée, les LED basse puissance délivrent également un bon résultat.

3. NIVEAUX D'INTÉGRATION

Les sources lumineuses à LED peuvent être mises en application de nombreuses façons. En vertu de la norme internationale CEI 62504/CIE TC 2-66 (« Terminology of LEDs and LED assemblies »), nous distinguons les niveaux d'intégration suivants :

1. **LED package ou composant LED.** Il s'agit d'un composant simple consistant en une ou plusieurs puces à LED, éventuellement avec interfaces optiques et thermiques, mécaniques ou électriques.

ex.



composant LED Nichia



composant LED Citizen

2. **Module LED.** Une source lumineuse à LED consistant en plusieurs composants LED, montés sur un PCB (circuit imprimé), avec ou sans électronique intégrée.

ex.



circuit imprimé E4 (ETAP)

3. **Lampe à LED.** C'est la même chose qu'un module à LED, mais avec un culot de lampe (« lamp cap »)

ex.



Lampe tube TG



Lampe spot TG

4. **LED light engine.** Module ou lampe à LED avec driver, convenant pour un raccordement direct sur la tension du réseau.

ex.



Osram Prevaled AC

4. LES OLED

OLED est l'acronyme d'organic light emitting diode ou diode électroluminescente organique. Comme son nom l'indique, il s'agit d'une variante de la LED traditionnelle. Alors que les LED sont fabriquées à partir d'un matériau cristallin non organique (par ex. du nitrure de gallium), les OLED utilisent, pour produire de la lumière, des macromolécules organiques à base de composés hydrocarbonés.

La différence entre une OLED et une LED ne réside pas seulement dans le matériau, mais également dans la manière d'éclairer. Là où une LED est typiquement une source lumineuse ponctuelle, les OLED sont utilisées pour diffuser la lumière sur une surface donnée. Concrètement, les parties organiques qui émettent la lumière sont placées en une couche très mince sur une plaque de verre ou d'un autre matériau transparent et elles sont reliées à une cathode et une anode. La couche s'éclaire lorsqu'une tension passe par la cathode et l'anode. En combinant les bons matériaux, les OLED peuvent générer une couleur donnée.



OLED sous différentes formes (par ex. Philips Lumiblade)

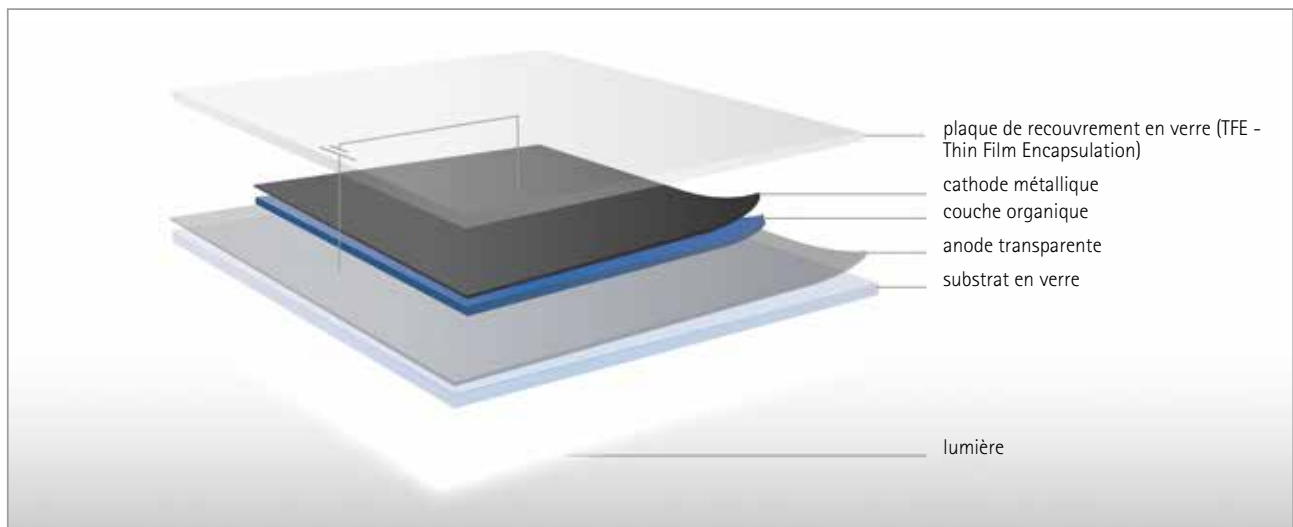


Fig. 8: construction d'une OLED

La technologie des OLED est encore actuellement en plein développement. En ce qui concerne les performances et la durée de vie, elles ne peuvent pas encore de nos jours égaler les LED. Les OLED obtiennent ainsi un flux lumineux de 60 lm/W pour 220 lm/W pour les LED.

Feuille de route des OLED			
Année	2015	2016	2018
Flux lumineux spécifique	50 lm/W	60 lm/W	70 lm/W
Durée de vie (L70 @ 3 000 cd/m ²)	20 000 h	30 000 h	60 000 h
Luminosité	3 000 cd/m ²	2 500 cd/m ²	5 000 cd/m ²
Flux lumineux	9 000 lm/m ²	8 000 lm/m ²	15 000 lm/m ²
Rendu des couleurs (CRI)	> 80	> 87	> 95
Dimensions max.	150*150 mm	320*320 mm	400*400 mm

Fig. 9: Performances actuelles et attendues des OLED

(source : LG)

La présence de matériaux organiques – qui vieillissent relativement vite et sont très sensibles à l'air et à l'humidité – limite relativement la durée de vie. On table aujourd'hui sur 20 000 heures de fonctionnement (avec une diminution de 30 % du rendement lumineux et une commande continue de 3 000 cd/m²). Cependant, ce résultat a été obtenu avec des méthodes de mesure et d'extrapolation non standardisées.

B. Éclairer avec des LED

1. DURÉE DE VIE

I. DURÉE DE VIE UTILE

Les LED présentent généralement une longue durée de vie utile. En même temps, la durée de vie est une donnée complexe qui dépendra toujours d'une situation ou d'une installation concrète, ainsi que du facteur de dépréciation lié (voir plus loin). Si l'on opte pour une installation d'éclairage à LED, il convient de toujours tenir compte de la durée de vie que l'on envisage : veut-on que l'installation dure 10, 15, 20... ans ? Cette information est importante afin de réaliser un calcul correct (voir aussi D.2. Critères de choix).

II. DÉPRÉCIATION

Chaque source lumineuse, qu'il s'agisse de lampes fluorescentes ou de LED, est sujette à un vieillissement (dépréciation). Cela signifie que le rendement lumineux de la source lumineuse diminue progressivement dans le temps. Dans le cas de sources lumineuses classiques, tout le monde tient compte d'une même diminution de lumière, étant donné que des lampes standardisées sont utilisées, avec une dépréciation fixe et un nombre d'heures de fonctionnement limité (16 000 h).

Il n'en va pas de même avec les LED : il existe tellement de types de LED différents que la dépréciation varie énormément. En outre, la diminution de lumière est fort influencée par la qualité des LED, mais aussi par la température interne des LED. Celle-ci dépend à son tour de facteurs externes comme la commande, la température ambiante et la qualité de l'évacuation de chaleur tout autour des LED. La mesure suivant laquelle le flux lumineux de la source lumineuse diminue est calculée par le LLMF (Lamp Lumen Maintenance Factor) ou FDLL (facteur de dépréciation lumen lampe). Ce facteur indique quelle quantité de lumière subsiste encore après un nombre d'heures de fonctionnement déterminé.

Le graphique ci-dessous nous montre la diminution de lumière d'un luminaire ayant un FDLL de 97 % après 50 000 h. (en vert) en comparaison avec un luminaire qui présente un FDLL de 70 % après 50 000 h. Avec les lampes fluorescentes, il s'agit d'une dépréciation uniforme, où le niveau de lumière est chaque fois ramené à 100 % lors du remplacement de la lampe (courbe bleue). Les luminaires à LED présentent une courbe de dépréciation qui varie fortement.

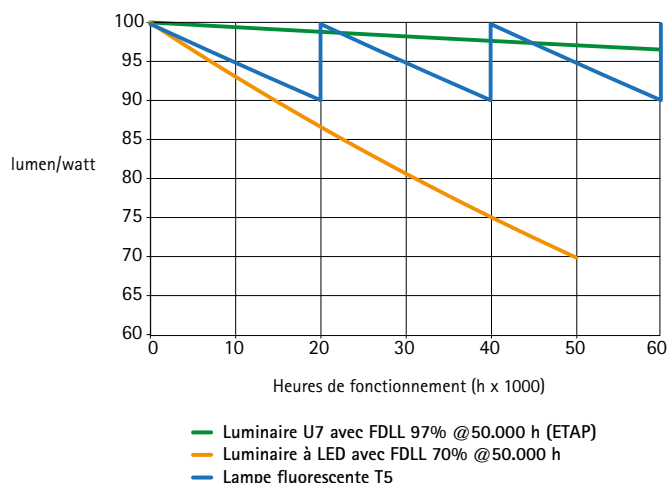


Fig. 10: FDLL de luminaires à LED comparé à l'éclairage à lampes fluorescentes.

III. FACTEUR DE DÉPRÉCIATION

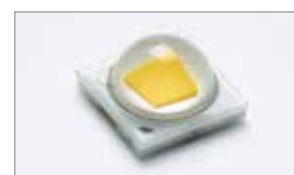
Dans la pratique, le recul de lumière de la source lumineuse (FDLL) n'est pas le seul point à prendre en considération. Nous devons également tenir compte de la diminution de lumière d'une installation complète : le flux lumineux des lampes se réduit, des lampes tombent en panne et la poussière et d'autres saletés se déposent sur les luminaires. La pièce elle-même peut s'encrasser – un mur fraîchement repeint réfléchira par exemple mieux la lumière qu'un mur sale. C'est pourquoi l'on applique lors du calcul d'une installation un facteur de dépréciation, lequel tient compte de la diminution du flux lumineux (voir cadre). On est de cette manière certain que l'installation continuera à satisfaire au niveau d'éclairage présupposé encore après 5 ou 10 ans.

Le facteur de dépréciation (FD) est constitué de quatre paramètres :

$$FD = FDLL \times FSL \times FDL \times FDS$$

FDLL : Facteur de dépréciation lumen lampe

Diminution du flux lumineux de la lampe



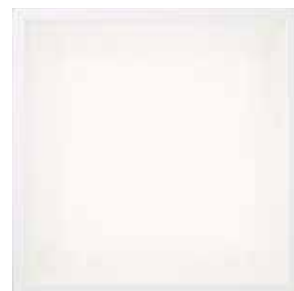
FSL : Facteur de survie lampe

Fréquence des défauts aux lampes sans remplacement immédiat



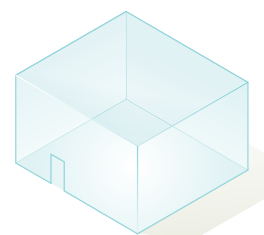
FDL : Facteur de dépréciation lumineuse

Diminution du rendement des luminaires due à l'encrassement



FDS : Facteur de dépréciation de salle

Encrassement de la pièce



Facteur de dépréciation pour l'éclairage fluorescent

Pour les sources lumineuses classiques comme les lampes fluorescentes, des règles claires et des normes internationales existent pour calculer le facteur de dépréciation d'une installation. Typiquement, on tient compte de quatre éléments : la diminution du flux lumineux produit par la lampe, la fréquence des défauts des lampes, l'encrassement du luminaire et l'encrassement de la salle même. Pour l'éclairage fluorescent, un consensus général existe sur le calcul du facteur de dépréciation. La dépréciation et la durée de vie des lampes sont attestées dans la pratique et ne diffèrent pas ou très peu entre fabricants. De surcroît, la conception du luminaire n'a aucune influence sur la dépréciation de la lampe et on part du principe que les lampes sont remplacées régulièrement, si bien que le facteur de dépréciation des luminaires fluorescents est généralement peu sujet à discussion.

Facteur de dépréciation pour l'éclairage LED

Ce n'est toutefois pas le cas pour les LED. Le facteur de dépréciation est fonction d'un nombre de facteurs nettement plus élevé. Tout commence dès le choix des LED. Il existe encore aujourd'hui de grands écarts de qualité entre fabricants, et le type de LED également (basse puissance ou haute puissance) ainsi que la composition de phosphore (température de couleur et rendu des couleurs) seront déterminants pour le maintien du flux lumineux et la durée de vie. Il s'agit de surcroît d'une technologie relativement récente, qui évolue extrêmement rapidement. Par manque des connaissances et des informations nécessaires, un très grand nombre de fabricants de LED et d'éclairage utilisent aujourd'hui par commodité un FDLL de 80 % après 50 000 heures. Cela signifie donc qu'ils partent du principe que les LED, après 50 000 heures de fonctionnement, ne délivrent plus que 80 % de leur flux lumineux initial – indépendamment de la qualité des LED.

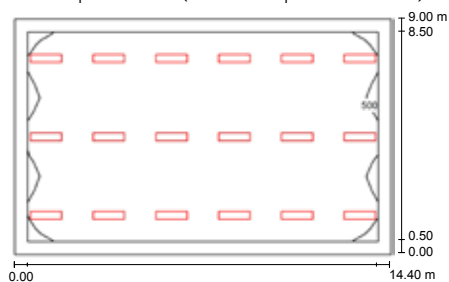
À l'inverse de ce qui se passe avec l'éclairage fluorescent, la conception du luminaire joue également un rôle important. Le flux lumineux et la durée de vie des LED dépendent fortement de leur température de fonctionnement. Mieux elles sont refroidies, moindre sera la dépréciation et plus longtemps elles continueront à fonctionner. L'évacuation de la chaleur dans le luminaire est dès lors cruciale. Néanmoins, la conception du luminaire est rarement prise en compte actuellement dans la détermination du facteur de dépréciation. Dans la pratique, chaque luminaire à LED possède son propre facteur de dépréciation, si bien qu'il est impossible de déterminer un chiffre applicable en général.

D'importantes conséquences pour votre installation

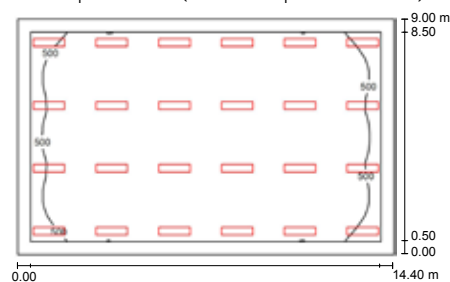
Dans la pratique, des calculs peu précis peuvent avoir de grandes conséquences. Si l'estimation du facteur de dépréciation est trop optimiste, après quelques années seulement, l'installation ne répondra plus au niveau d'éclairage souhaité. À l'inverse, un facteur de dépréciation trop pessimiste donnera une installation d'éclairage surdimensionnée, comptant un trop grand nombre de luminaires et une puissance installée exagérément élevée qui fera grimper le prix d'achat et la consommation d'énergie.

Ex. Influence du facteur de dépréciation sur une étude d'éclairage avec des luminaires U7 dans un environnement de bureau de 9 x 14,4 m :

FDLL 97% après 50.000 h (facteur de dépréciation de 87%)



FDLL 70% après 50.000 h (facteur de dépréciation de 63%)



Selon l'étude d'éclairage au facteur de dépréciation calculé correctement, nous avons pour cette salle 18 luminaires U7 et une puissance installée nécessaire de 0,86W/m²/100 lx (à gauche). L'utilisation du facteur de dépréciation général (à droite) conduirait à une installation surdimensionnée : 24 luminaires U7 et une puissance installée d'1,25W/m²/100 lx.

Facteur de dépréciation chez ETAP

Les facteurs de dépréciation qu'ETAP utilise dans ses études d'éclairage sont établis avec précision selon des normes internationales. En réalité, nous constatons que nos facteurs de dépréciation sont souvent plus élevés que la valeur généralement appliquée. C'est que nous sommes attentifs à deux points spécifiques. Premièrement, nous utilisons dans nos luminaires exclusivement des LED de haute qualité (le plus souvent en céramique) en provenance de fabricants qui publient des données concrètes et vérifiables sur le flux lumineux et la durée de vie de leurs LED. Dans la pratique, les normes LM80 et TM21 sont utilisées, lesquelles ont été validées par l'Illuminating Engineering Society (IES), une autorité internationale en la matière. Nous disposons ainsi d'un critère d'évaluation objectif pour les prestations des LED.

Deuxièmement, nous tenons compte également de l'évacuation thermique des luminaires. Nous possédons en nos laboratoires l'infrastructure adéquate afin de déterminer la température de jonction entre le circuit imprimé et la LED. Nous connaissons de la sorte la température de fonctionnement exacte de la LED et pouvons évaluer avec plus de précision la dépréciation effective et la durée de vie attendue des LED. Nous intégrons alors ces données dans le calcul du facteur de dépréciation de nos études d'éclairage.

Nous mettons à disposition un tableau dans lequel vous retrouvez le facteur de dépréciation correct de tous nos luminaires à LED, en fonction de l'environnement et de la durée d'utilisation supposée. Ainsi, nous pouvons proposer une étude d'éclairage plus fiable, ainsi que la certitude que l'installation continuera à satisfaire aux niveaux d'éclairage présumés, même à long terme.

Un exemple :

Dans une étude d'éclairage avec U7 dans un environnement de bureau, le facteur de dépréciation est calculé comme suit : 99 % (facteur de dépréciation de la lampe) x 1 (quasi-inexistence de panne de lampe pour les luminaires à LED, donc aucune influence) x 0,94 (encrassement de la pièce) x 0,95 (facteur de dépréciation luminaire fermé) = 88 %. Cela signifie qu'après 25 000 heures, on conserve encore 88 % du flux lumineux. Après 50 000 heures de fonctionnement, U7 produit encore 87 % du flux lumineux.

Type de LED	Luminaire	FDLL		MF	
		25 kh	50 kh	25 kh	50 kh
Haute puissance	U7	99%	97%	88%	87%

Fig. 11: Extrait du tableau avec facteurs de maintenance et FDLL d'un luminaire U7 pour 25 000 ou 50 000 heures de fonctionnement. Les valeurs mentionnées sont des valeurs médianes.


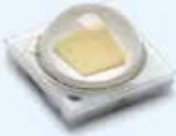





Vous retrouverez le tableau complet de facteurs de dépréciation à l'annexe 1.

IV. FDLL

Le chiffre qui reflète la diminution du flux lumineux de la source lumineuse (FDLL) tient compte de LED défaillantes, et de la diminution du flux lumineux des LED dans le temps. Comment déterminons-nous ce FDLL ? Nous faisons la distinction entre la durée de vie de LED au niveau du composant et au niveau du luminaire.

Au niveau du composant, nous tenons compte de la diminution progressive du flux lumineux des LED (défaillance paramétrique ou durée de vie B), et de la panne possible de LED (défaillance catastrophique ou durée de vie C).

Au niveau du luminaire, la panne complète d'un luminaire n'est pas pertinente (voir Facteur de survie lampe). Le FDLL correspond à la durée de vie B au niveau du luminaire et tient donc compte à la fois de la défaillance paramétrique et catastrophique des LED individuelles dans les luminaires.

	NOUVEAU	APRÈS LA MISE EN SERVICE	
		Défaillance paramétrique	Défaillance catastrophique
NIVEAU DU COMPOSANT			
NIVEAU DU LUMINAIRE		 OU  = FDLL	 = LSF

Pour arriver à un FDLL précis, fiable de nos luminaires, nous réalisons une « principal component analysis » (analyse de composant principal)

- Nous déterminons la défaillance paramétrique au niveau du composant selon les normes objectives LM80/TM21.
- Nous ne pouvons calculer nous-mêmes la défaillance catastrophique, mais nous essayons de préférence de collaborer avec des fabricants qui mettent à disposition des données exactes. Quand aucune donnée de mesure n'est disponible, nous nous basons sur des modèles de fiabilité de l'électronique (MIL-HBK-217F).

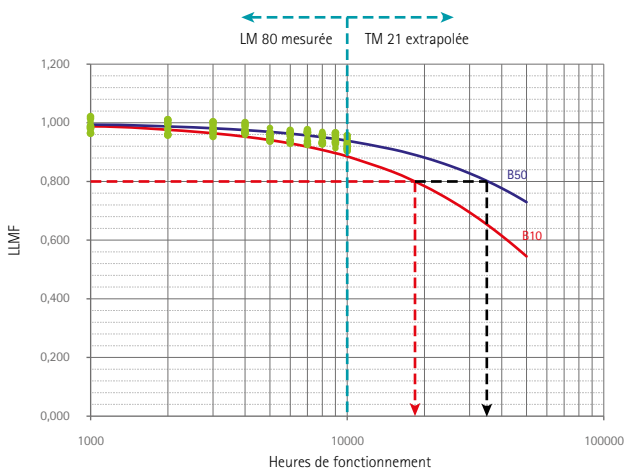


Fig. 12: Le LLMF est déterminé selon la méthode LM80/TM21 recommandée par l'IES.

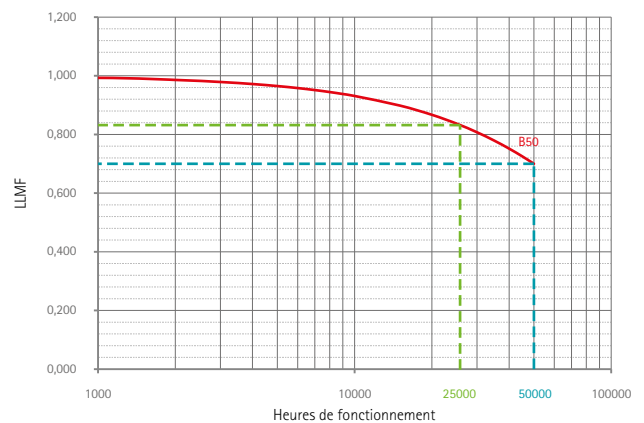


Fig. 13: ETAP indique pour tous ses luminaires à LED le LLMF après 25 000 et après 50 000 heures de fonctionnement.

Vous trouverez sur notre site Internet à la fois le FDLL et le facteur de dépréciation de nos luminaires à LED. Nous publions les deux valeurs chaque fois pour deux périodes : 25 000 ou 50 000 heures de fonctionnement. Vous savez de cette manière combien de lumière vos luminaires émettront encore après une durée d'utilisation pertinente pour vous.

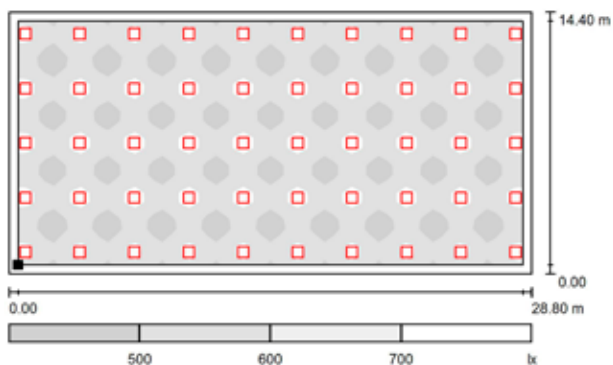


Fig. 14: Pour éclairer un espace de bureau de 29 mètres sur 14 avec des diffuseurs U25, 50 luminaires suffisent (L98B50). Si vous éclairez l'espace avec des luminaires de L80B50, vous avez besoin de plus de 60 luminaires.

QUELLE EST L'INTERPRÉTATION CORRECTE DE LA FORMULE LxBy ?

Exemple : la durée de vie de luminaires U25 est indiquée comme étant L98B50 après 50 000 heures de fonctionnement :

- L exprime combien de pour cent du flux lumineux initial est encore obtenu au moment indiqué (= FDLL). Les luminaires U25 cités à la figure 14 produisent après 50 000 heures de fonctionnement encore 98 % de leur flux lumineux initial (L98).
- B indique la durée de vie B au niveau du luminaire. Le nombre qui suit exprime la probabilité que la valeur L indiquée ne soit pas réalisée. Pour l'éclairage d'intérieur, le consensus est d'utiliser B50.
- En standard, ETAP indique la valeur après 25 000 et après 50 000 heures de fonctionnement, deux périodes représentatives de la durée de vie de votre installation.

2. PERFORMANCES

I. EFFICACITÉ

Les LED blanc froid d'une température de couleur de 5 000 (kelvin) atteignent déjà aujourd'hui dans des conditions de laboratoire plus de 240 lm/W. Les LED d'une température de couleur inférieure de 2 700 à 4 000 K (le plus utilisé pour les applications d'éclairage en Europe) et Ra80 ou supérieur ont généralement une efficacité inférieure. Actuellement, dans ces températures de couleur, des rendements de 200 lm/W et plus sont disponibles commercialement.

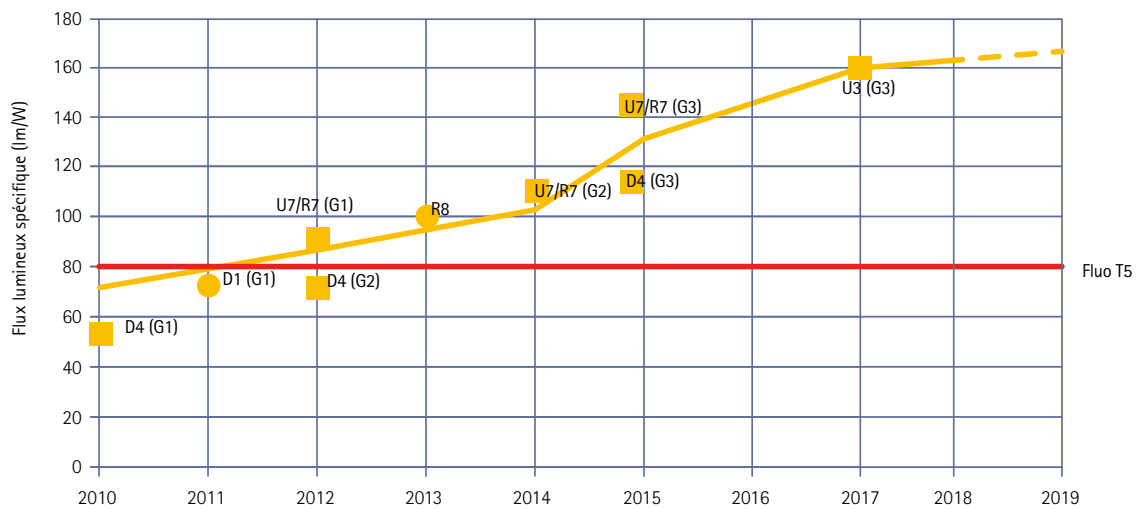


Fig. 15: Évolution du flux lumineux spécifique de luminaires à LED à 3 000 K, avec indication de différentes générations (G1-2-3) de quelques produits ETAP, à la température de jonction en usage normal (hot lumens)

Cette courbe est basée sur les performances réelles des LED dans des applications concrètes. Elles diffèrent des données publiées par le fabricant en raison de la commande électrique spécifique au produit et du comportement thermique.

Flux lumineux spécifique (lm/W)

Le flux lumineux spécifique traduit le rapport entre le flux lumineux et la puissance absorbée. Tout comme avec le fluo, il convient de distinguer entre le flux lumineux spécifique de la source lumineuse (composant LED, mesuré à 25 °C ou 85 °C de température de jonction et avec un courant de commande standard) et celui d'un luminaire, y compris le driver et l'optique.

À titre d'illustration, un exemple d'U7 à LED :

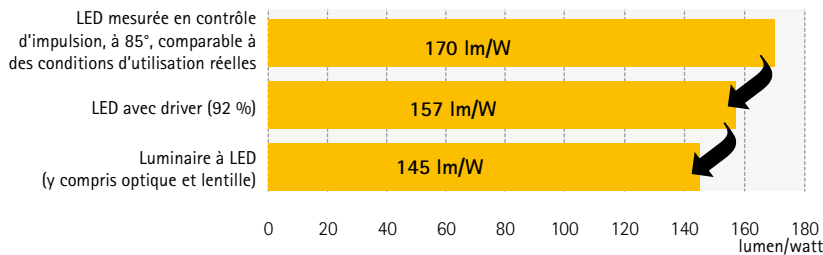


Fig. 16: U7

À titre de comparaison : luminaire à réflecteur U5 à lampe fluorescente 1 x 32W

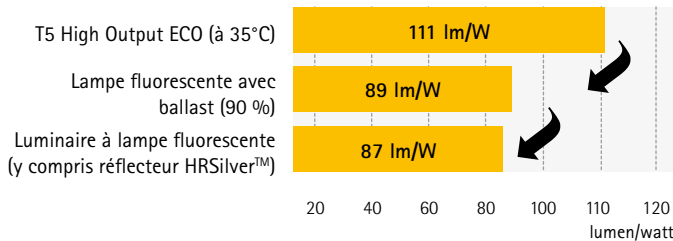


Fig. 17: Luminaire à réflecteur U5

À la différence de ce qui se passe avec l'éclairage fluorescent, le rendement d'un luminaire à LED est déterminé par la conception totale : densité du courant, optique et régulation thermique. Alors qu'avec l'éclairage fluorescent, les lampes sont toujours conçues pour une température de fonctionnement de 35 °C (influence de la régulation thermique = 1) et que la commande est toujours nominale (les lampes de 34 W sont commandées par 34 W, donc influence de la commande = 1), le rendement dans le cas de l'éclairage à LED est fortement déterminé par la conception du luminaire.

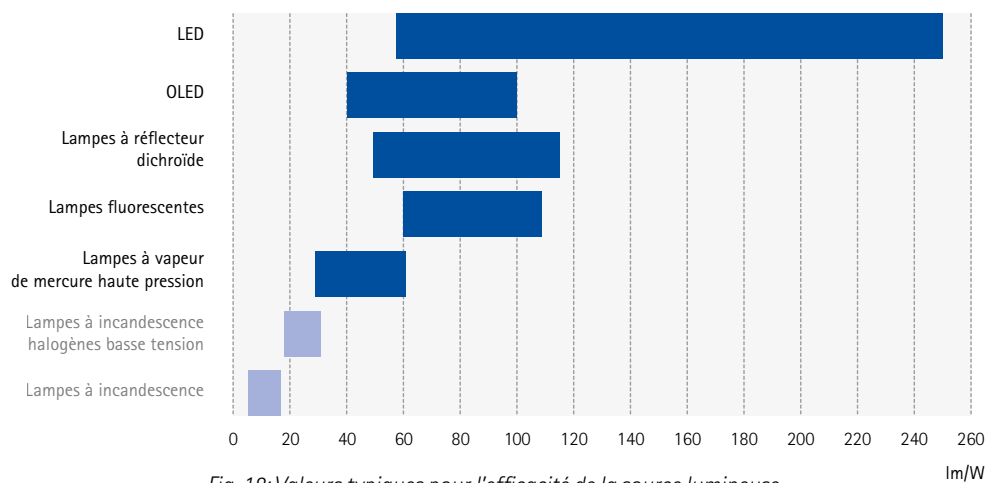


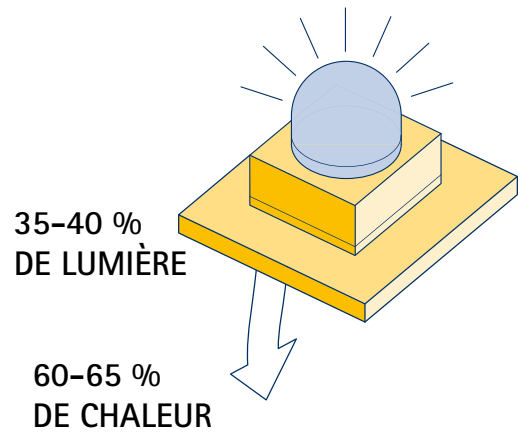
Fig. 18: Valeurs typiques pour l'efficacité de la source lumineuse

Les LED ayant une température de couleur élevée et donc une lumière plus froide ont une plus grande efficacité que les mêmes LED avec une température de couleur plus basse. Le matériau luminescent utilisé pour créer un blanc chaud contient en effet plus de rouge et l'efficacité de ce composant rouge est plus faible que celle du jaune. Si bien que le rendement global de la LED diminue.

II. RÉGULATION THERMIQUE

La règle générale est : meilleure est l'évacuation thermique, plus la LED est efficace (comme son éclairage). En fonction de la performance de la LED, 35-40 % de l'énergie est convertie en lumière visible et 60-65 % en chaleur au sein du composant (dissipation). À titre de comparaison : les lampes fluorescentes rayonnent également quelque 25 % de la puissance convertie sous la forme de lumière visible. La différence est que pour le fluo, quelque 40 % de l'énergie est également rayonnée sous la forme d'infrarouge ou de rayonnement thermique. Les 35 % restants sont convertis en chaleur interne et en UV.

Le flux lumineux des LED baisse progressivement en fonction d'une température de jonction croissante. Lorsque les températures sont plus basses, le flux lumineux augmente : les LED fonctionnent toujours mieux à mesure que la température ambiante diminue.



led = 18x Cree XP-G2 R2 4000K @ 350 mA

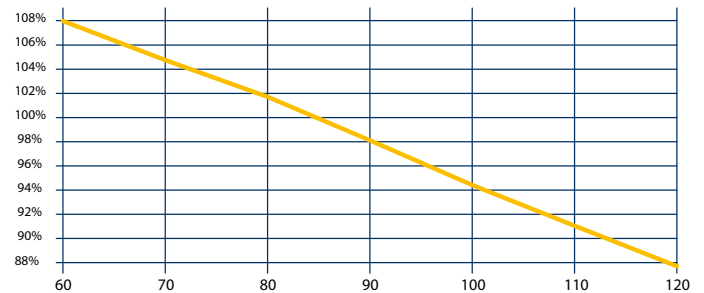


Fig. 19: Influence de la température de jonction sur le flux lumineux (réf. 85°)

Le flux lumineux n'est toutefois pas le seul à diminuer en fonction de la température. La durée de vie fonctionnelle s'en trouve également influencée, à partir d'une température critique.

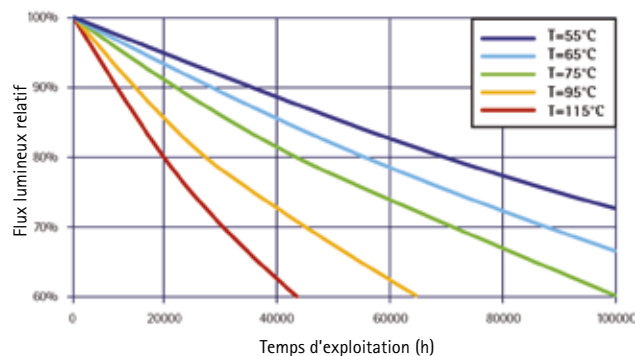


Fig. 20: Dépréciation de flux lumineux dans le temps pour différentes températures de jonction

Une bonne régulation de température est donc essentielle. L'évacuation de chaleur de la LED vers l'environnement se fait par stades successifs (via différentes résistances thermiques) :

- La chaleur générée par la LED est conduite via le substrat jusqu'au point de soudage (1, interne dans la LED).
- De là, la chaleur est dispersée dans le circuit imprimé de la LED (2).
- Une interface thermique (3) ou TIM (Thermal Interface Material) assure un transfert de chaleur optimal entre circuit imprimé et dissipateur thermique (4).
- La chaleur est évacuée vers l'environnement par convection et rayonnement.

Un flux d'air libre autour du luminaire est essentiel pour une bonne dissipation de chaleur. C'est pourquoi le comportement thermique d'un appareil à LED sera différent en cas de montage en saillie ou encastré, et il convient de toujours prévoir un espace libre suffisant autour du luminaire (il ne peut certainement pas y avoir d'isolation autour !). L'entretien (époussetage) du dissipateur thermique est également important pour une bonne régulation de température.

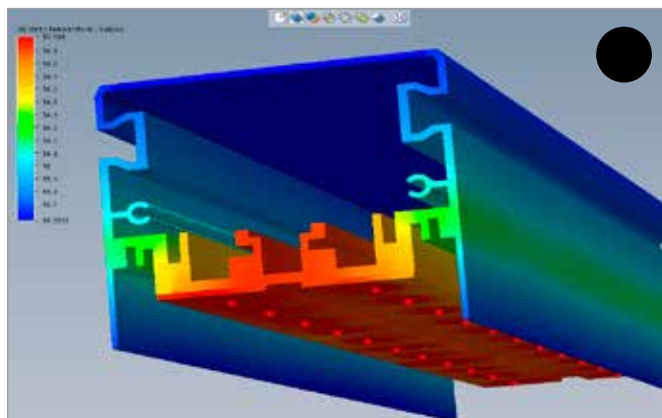
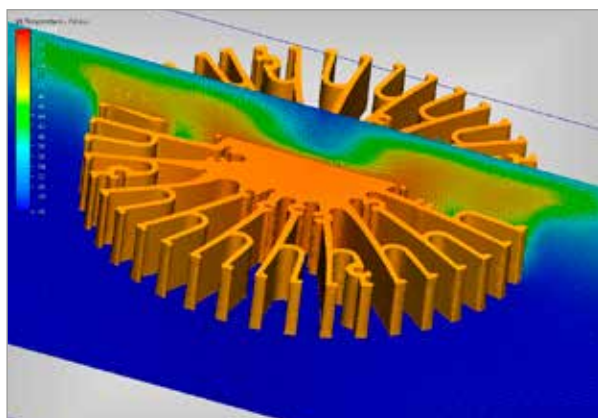
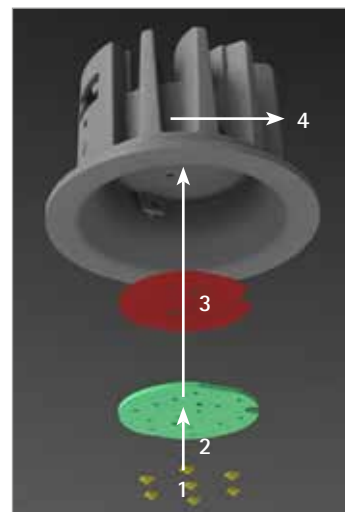


Fig. 21-22: Études thermiques pour D9 (gauche) et U3 (droite).

3. ASPECTS DE COULEUR

I. LE RENDU DES COULEURS – TM-30-15

En éclairage, le rendu des couleurs est depuis toujours reflété par le Color Rendering Index (CRI). Cet Index a été élaboré dans le courant du siècle dernier. Pourtant, le système présente quelques lacunes importantes, si bien que l'IES (Illuminating Electrotechnical Society) a publié en 2015 un rapport (TM-30-15) proposant une nouvelle méthode de mesure.

Principe de base du rendu des couleurs

L'indice de rendu des couleurs d'une source lumineuse indique dans quelle mesure les couleurs sont fidèlement restituées par rapport à une source de référence lorsqu'un objet est éclairé par la source lumineuse en question. Afin de déterminer cet indice, on compare la réflexion d'un jeu d'échantillons de couleur lorsqu'il est éclairé successivement par une source lumineuse test et par une source lumineuse de référence. En cas de températures de couleur basses, la source lumineuse de référence est un luminaire noir, à partir de 5 000 K, on compare avec le spectre de la lumière du jour.



Fig. 23: Des sources lumineuses ayant un CRI différent peuvent donner un aspect totalement différent à un seul et même objet.

Critique à l'égard de l'ancien système

- L'ancien indice (CRI) est basé sur un spectre de couleurs limité et entre-temps daté. La valeur Ra classique est par exemple le CRI moyen sur un ensemble de 8 couleurs pastel peu saturées :



Il est possible d'étendre cette analyse en y ajoutant des couleurs plus saturées (par ex. six couleurs R9-14), mais la palette de couleurs n'en demeure pas moins toujours limitée.



- Le CRI fournit trop peu d'informations : un CRI élevé indique que la fiabilité des couleurs est bonne par rapport à la référence. En cas de valeur plus basse, on ignore cependant le sens de la déviation par rapport à la référence (voir fig. 24), et si c'est nécessairement une mauvaise chose. Autrement dit, le CRI n'est pas une mesure destinée à former une préférence/acceptation subjective.
- La technologie LED offre bien plus de possibilités en termes de variétés de couleurs que les sources lumineuses classiques. Ainsi, il existe aujourd'hui de nombreux composants LED offrant par exemple une plage de couleurs particulièrement grande qui ne peut pas être quantifiée par le CRI

- La transition abrupte entre les deux sources lumineuses de référence (inférieure ou supérieure à 5 000 K – voir plus haut), a permis des documentations subjectives des sources lumineuses.

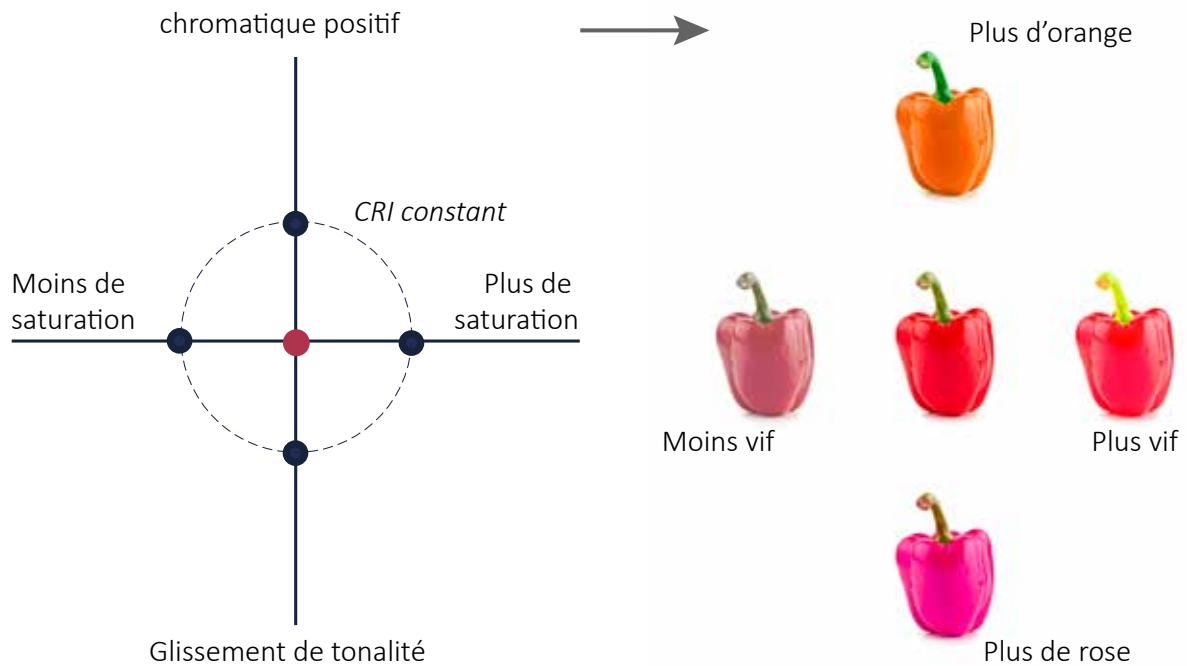


Fig. 24: l'ancien CRI renseigne uniquement sur la grandeur de la déviation, pas sur le glissement en intensité (saturation) et la teinte de couleur (hue, tonalité chromatique).

Proposition d'amélioration de l'IES

Le nouveau système de mesure proposé par l'IES se compose de 2 principes : une version améliorée de la métrique CRI, à savoir le Color Fidelity Index (CFI), et un paramètre complémentaire, le Color Gamut.

Color Fidelity Index (CFI ou Rf) :

Le CFI se fonde sur un jeu de couleurs nettement plus riche que le CRI, à savoir 99 couleurs (Color Evaluation Samples ou CES). Alors qu'auparavant, on vérifiait la déviation entre la source lumineuse test et la source lumineuse de référence pour 15 couleurs, on le fait à présent pour 99. Ces 99 couleurs forment une synthèse d'une base de données étendue > 100 000 objets) et donnent une couverture plus uniforme de la gamme de couleurs (également les couleurs saturées). Le modèle de couleur utilisé pour le calcul (CIE-CAM08-UCS) est de surcroît synonyme d'une interprétation plus correcte des écarts de couleurs. Cela signifie que les différentes teintes de couleur occupent une surface à peu près aussi grande dans l'espace chromatique. Concrètement, on calcule au moyen de ce modèle de couleur amélioré la déviation par rapport à la source lumineuse de référence pour 99 couleurs. La déviation moyenne pour ces 99 couleurs donne pour résultat un nombre entre 0 et 100. Ce contrairement au CRI qui peut également être une valeur négative.



Tout comme pour le CRI, on compare la source lumineuse test jusqu'à 4 500 K avec un luminaire noir, et à partir de 5 500 K avec une courbe de lumière du jour. Si la source lumineuse test a une température de couleur entre 4 500 et 5 500 K, on travaille avec un mélange des deux, ce qui élimine la transition abrupte et donc la possibilité d'interprétation.

Le CRI face au CFI pour les sources lumineuses existantes

- Pour les sources lumineuses à spectres continus (par ex. lampes à incandescence, lampes aux halogénures métalliques, LED), une bonne corrélation existe entre CFI et CRI.
- Les sources lumineuses à spectres pointus (par ex. lampes fluorescentes de phosphore tribandes) ont le plus souvent une valeur CFI légèrement inférieure

Color Gamut (Rg) :

Là où le CFI nous informe sur la déviation de couleur moyenne par rapport à la source lumineuse de référence, le Color Gamut donne des informations complémentaires sur le sens vers lequel le glissement intervient, en termes de tonalité de couleur (tonalité chromatique, hue) et de saturation.

Concrètement, l'espace chromatique est réparti avec 99 points en 16 zones (bins), sur lesquelles la déviation moyenne par zone est représentée graphiquement. Ces points sont reliés ensemble et forment la color gamut area. Si cette zone de la source lumineuse test est aussi grande que celle de la source lumineuse de référence, le Rg atteint 100. Si la zone est plus grande que celle de la source lumineuse de référence, Rg > 100, ce qui signifie que la source test restitue une palette de couleurs plus riche que la source lumineuse de référence. Si la surface est plus petite que celle de la source de référence, Rg < 100.

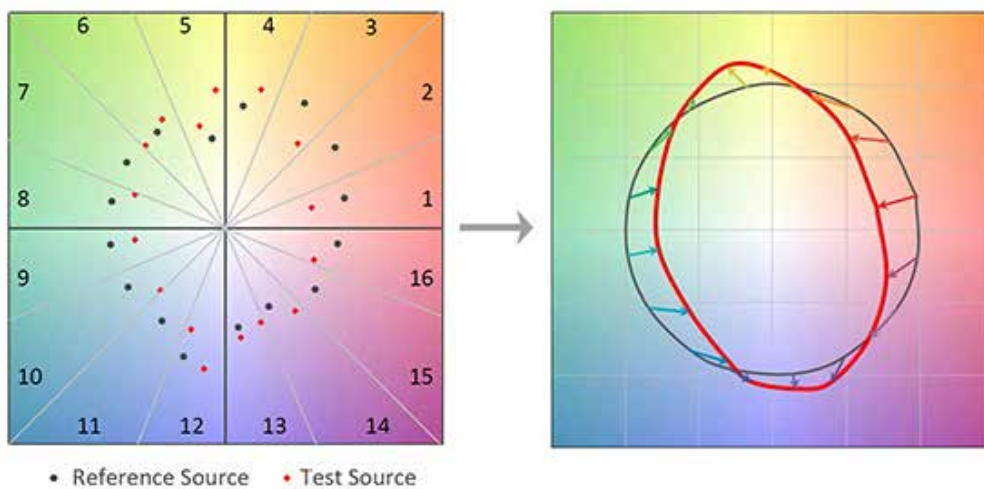


Fig. 25: Les valeurs de couleurs moyennes par bin sont cartographiées tant pour la source test (rouge) que pour la source de référence (noir). Les points reliés forment la gamut area (à droite). Ceci montre la mesure suivant laquelle la source test diverge de la source de référence.

Pour refléter la qualité d'une source lumineuse, il convient de tenir compte des deux facteurs : Rf et Rg. Une source lumineuse à Rf élevé n'a pas nécessairement un Rg élevé. Et une source lumineuse à faible Rf peut dans certaines applications avoir un rendu des couleurs plus approprié grâce à un Rg élevé. Si l'on veut obtenir un Rg supérieur à 100, la valeur Rf doit nécessairement être inférieure à Rf 100.

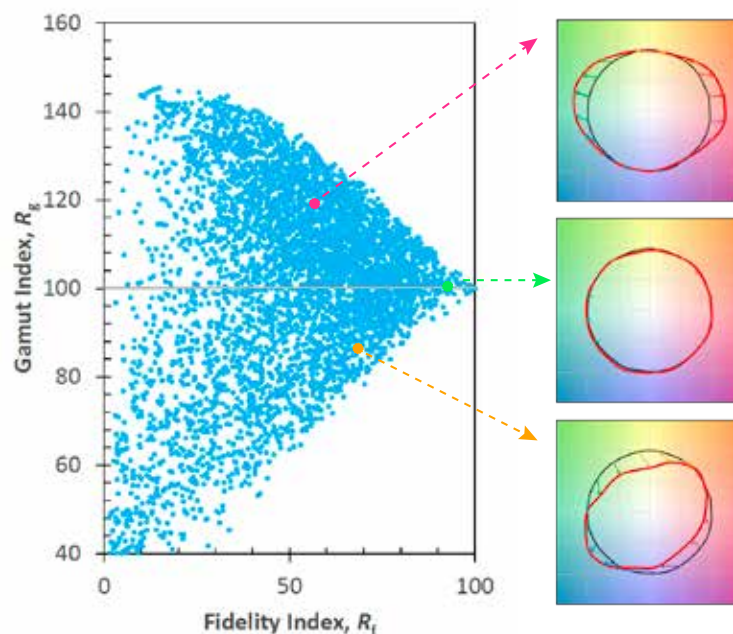


Fig. 26: Le graphique ci-dessus illustre la portée des sources lumineuses réelles (en bleu). La première source lumineuse (rose) a une valeur R_f relativement faible, mais une valeur R_g élevée (donc des couleurs plus saturées que la source lumineuse de référence). La deuxième (vert) se trouve à peu près sur l'axe de 100 R_g et se situe par conséquent particulièrement près de la source lumineuse de référence. La troisième (orange) a certes une valeur R_f élevée, mais un gamut inférieur à la source de référence.

Comment allons-nous procéder dans le futur ?

La proposition présentée par l'IES est considérée par le CEI. Le rapport actuel contient uniquement une proposition afin de mesurer et de quantifier le rendu des couleurs. À un stade ultérieur, des normes d'application devront également suivre. Le nouveau système permet en effet de se concentrer sur certaines teintes (hues). Un bon rendu des couleurs de teintes rouges est par exemple important pour l'éclairage de la viande, de fruits (rouges) ou de teintes chair, tandis que dans une poissonnerie, les teintes bleues sont essentielles.

Bref résumé

- Un CRI élevé n'est pas une garantie de la meilleure application ou de la meilleure acceptation de couleur.
- L'ancien indice (R_a ou CRI) n'est pas seulement basé sur une palette de couleurs datée, il fournit également trop peu d'informations sur l'intensité et sur la teinte. A fortiori pour la technologie LED – qui offre davantage de variété de couleurs que les sources lumineuses classiques – le CRI ne fournit pas suffisamment d'informations.
- La nouvelle méthode proposée par l'IES (Color Fidelity Index ou CFI) n'est pas seulement basée sur une palette de couleurs plus riche et actualisée, elle est de surcroît complétée par un paramètre complémentaire (Color Gamut, R_g). La représentation graphique de R_g permet de visualiser dans quelles couleurs la source lumineuse test enregistre de meilleures performances que la source lumineuse de référence.
- Grâce à la nouvelle méthode de mesure TM-30-15, vous avez la possibilité de choisir – en fonction de votre application – la source lumineuse la plus appropriée.

Sources :

Houser, K. (2016). LumeNet Workshop for PhD Students.

Royer M., David A. & Whitehead L. (2015). A Technical Discussion of IES TM-30-15.

II. LE BINNING

Lors de la production, les LED d'un même lot ou d'une même série présentent des caractéristiques différentes, par exemple en termes d'intensité et de couleur. L'utilisation de différentes LED mélangées dans le même luminaire entraînerait donc inévitablement des niveaux différents d'intensité lumineuse et des couleurs de lumière différentes. C'est pourquoi nous procédons au « binning ».

Le « binning » est le tri des LED selon des critères déterminés, comme :

- binning de couleur : le tri selon les coordonnées de couleur (x, y) centrées autour de températures de couleur individuelles ;
- binning de flux : le tri selon le flux lumineux mesuré en lumen (lm) ;
- binning de voltage : le tri selon la tension directe, mesurée en volt.

En sélectionnant un « bin de couleur » déterminé, une qualité constante de la lumière est garantie. Les LED du même bin ont donc une même manifestation. Des différences de bins de couleur se remarquent par exemple fortement en cas d'éclairage uniforme d'un mur.

Dans l'étude de la perception des couleurs, on utilise ce que l'on appelle des « ellipses de Mc Adam » (voir figure 28). Une telle ellipse est une zone dans le diagramme CIE qui comprend toutes les couleurs que l'œil humain ne peut pas distinguer de la couleur au centre de cette ellipse. Les fabricants de LED utilisent la mesure SDCM (Standard Deviation Colour Matching), 1 SDCM correspondant à 1 MacAdam.

Comment ETAP applique-t-il le binning aux luminaires ?

ETAP suit la politique en matière de binning des fabricants de LED sélectionnés sur leur qualité. Ceux-ci font évoluer leur politique en fonction des progrès techniques, de nouvelles maîtrises des processus de production, d'aspects logistiques, etc. Pour l'utilisateur final, ces modifications n'ont aucune conséquence : en évoluant, les méthodes produisent également une température de couleur uniforme. Les luminaires d'ETAP (tant à LED basse puissance, LED haute puissance, que LED chip-on-board) satisfont à 3 SDCM.

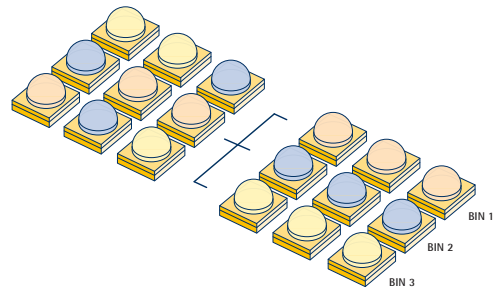


Fig. 27: Principe du binning

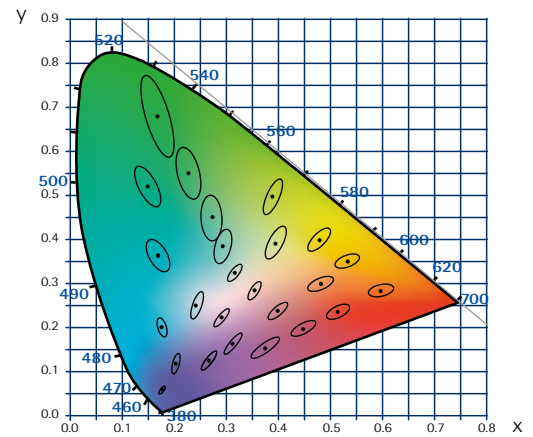


Fig. 28: Illustration d'ellipses de MacAdam (source: Wikipedia)

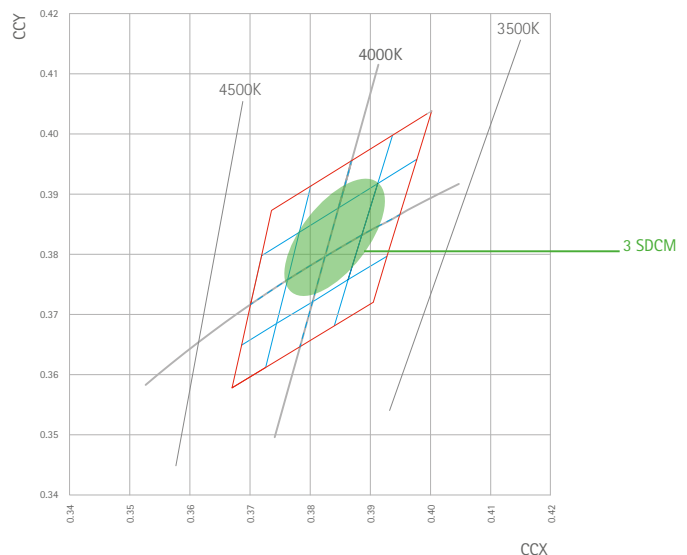


Fig. 29: Illustration du principe de binning

III. RAYONNEMENT (IR/UV)

Les LED ne développent pas de rayonnement ultraviolet (UV) ou infrarouge (IR) dans le faisceau. Elles conviennent dès lors particulièrement pour les environnements dans lesquels un tel rayonnement doit être évité, comme dans les musées, les magasins de denrées alimentaires ou les boutiques de vêtements. La LED génère certes de la chaleur, mais celle-ci est dirigée vers l'arrière, à l'écart de l'objet à éclairer. Le faisceau émis représente également de l'énergie transformée en chaleur par absorption.

* Le caisson quant à lui génère un rayonnement IR (par la chaleur).

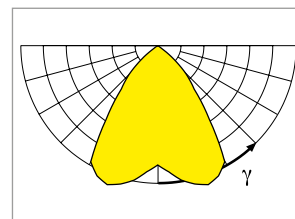
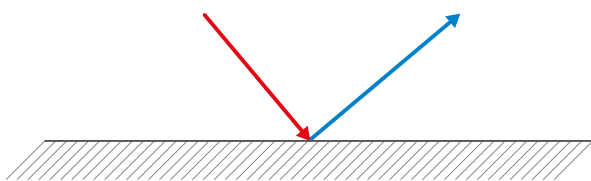
4. TRAITEMENT DE LA LUMIÈRE

I. DISTRIBUTION LUMINEUSE/TYPES D'OPTIQUES

La plupart des LED ont une plus large distribution lumineuse et diffusent la lumière avec un angle de 80° à 140° (angle complet). À l'aide d'optiques secondaires et tertiaires (réflecteurs, réfracteurs ou diffuseurs), nous pouvons atteindre des distributions lumineuses spécifiques. Une distribution lumineuse adaptée est importante pour conserver dans chaque application la puissance spécifique, et donc également la consommation d'énergie la plus basse possible.

a. Réflexion

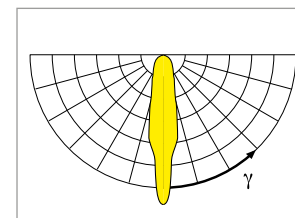
On crée la distribution lumineuse souhaitée en réfléchissant la lumière sur une surface.



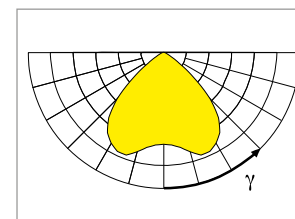
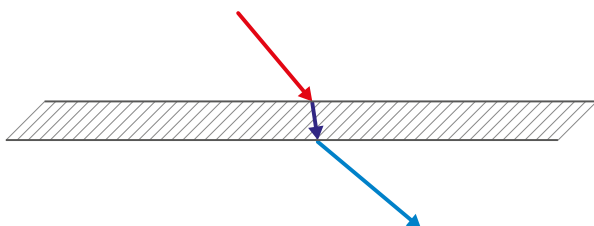
Ex. D1 led

b. Réfraction

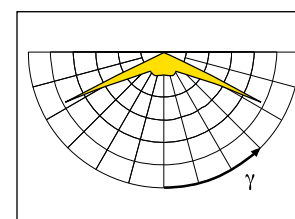
La lumière est envoyée à travers un matériau transparent (par ex. une lentille) et, du fait de la densité optique (index de calcul) et de la forme de la surface du matériau, est réfractée puis envoyée dans la bonne direction.



Ex. E4 à technologie DUAL•LENS avec lentille à distribution intensive



Ex. R7 à technologie LED+LENS™ avec lentilles à distribution extensive

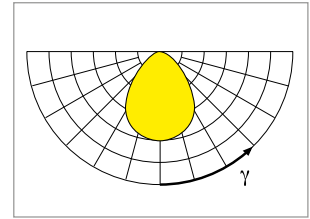
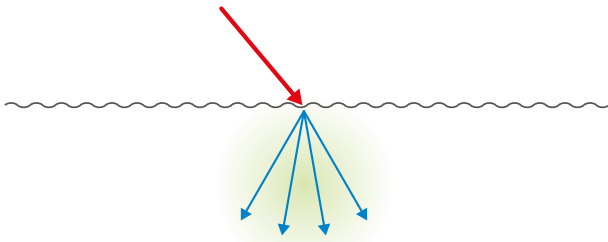


Ex. éclairage anti-panique K9 à lentille à distribution extrêmement extensive

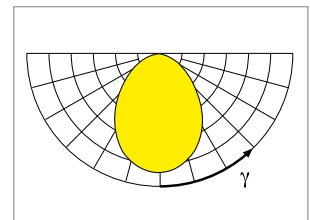
c. Dispersion ou déflexion multiple

La lumière est dispersée:

A. dans un volume de matériau au moyen d'inclusions.

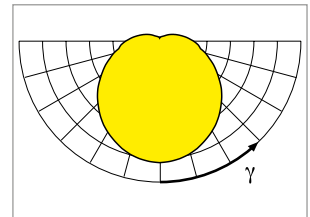
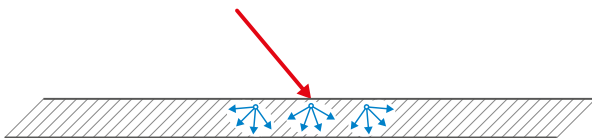


Par ex. U25 avec film MesoOptics™



Par ex. US avec structure à microprisme

B. dans un volume de matériau au moyen d'inclusions.



Par ex. R8 avec diffuseur HaloOptics®

II. LUMINANCE

Avec la progression constante des performances des LED et des puissances maximales, la luminance de la source augmente également très rapidement. Ces luminances peuvent rapidement s'élever de 10 à 100 millions de cd/m^2 . Car plus petite est la surface d'où provient la lumière, plus grande peut être la luminance de la source lumineuse.

Quelques exemples de luminances de source :

- Fluo linéaire - T8 14 000 cd/m^2
- Fluo linéaire - T5 15 000 – 20 000 cd/m^2 à 17 000 cd/m^2 (HE) et 20 000 – 33 000 cd/m^2 (HO)
- Fluo compact par ex. 26 W. 26 W 50 000 cd/m^2
- LED nue 3 W (100 lm) 100 000 000 cd/m^2
- Soleil 1 000 000 000 cd/m^2 (=10 x LED)

Un concept optique réfléchi est dès lors absolument nécessaire pour diffuser la lumière de ces sources ponctuelles vives, éviter l'exposition directe au regard et diminuer l'éblouissement. Pour ce faire, nous pouvons mettre en œuvre aussi bien des lentilles, des réflecteurs que des diffuseurs. Quelques exemples :

- Downlights D4 (UGR<19, luminance <1 000 cd/m^2 à 65°) :
 - Diffusion de la source lumineuse sur une plus grande surface pour limiter les luminances.
 - Utilisation de lentilles à surface texturée pour l'aplatissement des luminances de crête par source lumineuse.
- U2 à LED : répartition de la source lumineuse sur la totalité du luminaire. Le diffuseur MesoOptics™ lisse les luminances et assure une diffusion lumineuse contrôlée.

Étant donné que la méthode de calcul UGR classique ne tient pas compte de différences de luminance au sein d'un même luminaire ou d'une même optique, des recherches sont actuellement en cours en vue d'améliorer le modèle UGR actuel. On utilise ainsi ce que l'on appelle des images de luminance, lesquelles reflètent de manière détaillée les variations de luminance au sein de la surface lumineuse d'un luminaire.

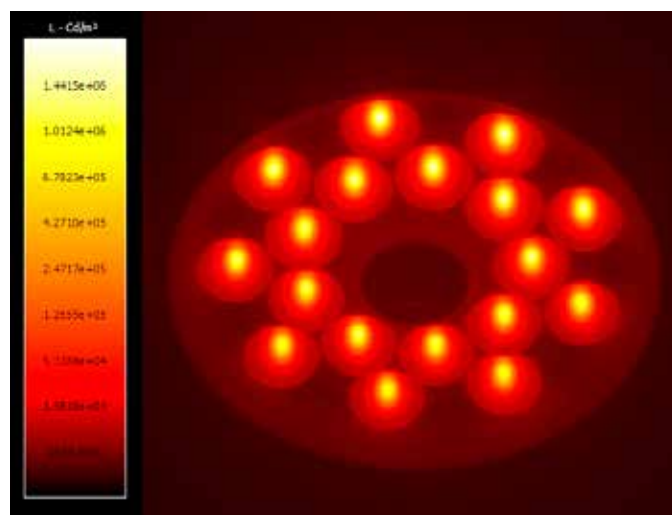


Fig. 30: Carte de luminance typique pour un downlight D4, vu sous un angle de 40°.

5. SÉCURITÉ ÉLECTRIQUE

Les LED fonctionnent à basse tension (typiquement autour de 3 V), raison pour laquelle on s'imagine souvent que la sécurité électrique n'est pas une question prioritaire. Toutefois, dans les solutions d'éclairage à LED actuelles, la tension peut atteindre jusqu'à 100 V et plus. Il convient par conséquent de prendre des mesures supplémentaires pour rendre les luminaires sûrs au contact.

Les LED disposées en série augmentent la tension

Dans les luminaires d'éclairage, les LED sont autant que possible commutées en série. La conséquence logique en est toutefois que la tension augmente. L'un des avantages des LED est qu'elles fonctionnent à basse tension, avec, par LED, une différence de tension d'environ 3 V. Si toutefois l'on commutait 30 LED en série dans un seul luminaire, on obtient déjà 90 V. Certains drivers de LED sont même capables de générer une tension de sortie supérieure à 200 V. Ils nécessitent une protection électrique supplémentaire.

Isolation supplémentaire nécessaire à partir de 24 V

AC	DC
$V < 25 V_{RMS} (I_{RMS} < 0,7 \text{ mA})$	$< 60 V_{DC} (I_{DC} < 2 \text{ mA})$
$25 V_{RMS} < V < 60 V_{RMS}$	$< 60 V_{DC} < V < 120 V_{DC}$
$60 V_{RMS} < V < 120 V_{RMS}$	

Fig. 31: Selon les normes internationales IEC 61347, aucun risque de contact n'existe jusqu'à 24V (CA) ou 60V (CC) (vert). Pour les luminaires à LED d'une tension de sortie supérieure (rouge), des mesures de sécurité complémentaires sont toutefois nécessaires.

Les normes internationales (CEI 61347) prescrivent qu'à partir de 24 V², des mesures supplémentaires sont nécessaires pour rendre le luminaire sûr au toucher. Les LED et autres pièces sous tension ne peuvent être accessibles de l'extérieur. La solution doit être réalisée de telle manière que les LED ne puissent être touchées qu'après ouverture du luminaire au moyen d'un outil spécial. De surcroît, une bonne isolation de base doit exister entre toutes les parties conductrices accessibles du luminaire et toutes les parties sous tension. Concrètement, ETAP prévoit suffisamment de ventilation, d'accès pour la maintenance, ainsi qu'une excellente isolation électrique pour que la gestion thermique soit excellente.

Source lumineuse remplaçable ou pas ?

La norme EN 60598: 2014 (éd. 8) détermine si la source lumineuse de luminaires à LED

- A. n'est pas remplaçable (le luminaire doit être détruit pour pouvoir accéder à la source lumineuse);
- B. est remplaçable par l'utilisateur (source lumineuse remplaçable facilement et de manière sûre);
- C. remplaçable par le fabricant (la source lumineuse doit être protégée par une protection qui peut être démontée via au moins deux fixations indépendantes, et pas sans outillage).



Pour les luminaires relevant de cette dernière catégorie C, à partir de 2017, un avertissement doit obligatoirement figurer sur les luminaires, indiquant la présence d'une tension dangereuse derrière la protection.

2 La classe d'isolation du driver détermine également la nécessité ou non de mesures de sécurité supplémentaires.

6. SÉCURITÉ PHOTOBIOLOGIQUE

La norme européenne EN 62471 en matière de sécurité photobiologique décrit un système de classification qui indique si une lampe ou un luminaire implique un risque pour les yeux et la peau. En effet, vu la luminance élevée de nombreuses lampes à LED de grande puissance, il ne faut pas exclure un risque de lésions oculaires. Il est donc important que la sécurité photobiologique soit correctement mesurée et clairement publiée.

La lumière à LED contient peu de lumière issue du spectre de l'ultraviolet ou de l'infrarouge et n'est donc pas dangereuse pour la peau. Néanmoins, elle contient un spectre bleu de forte intensité qui peut entraîner des lésions rétinienne irréversibles lorsqu'il est regardé (longtemps). Ce phénomène est également appelé le « Blue Light Hazard » (BLH).

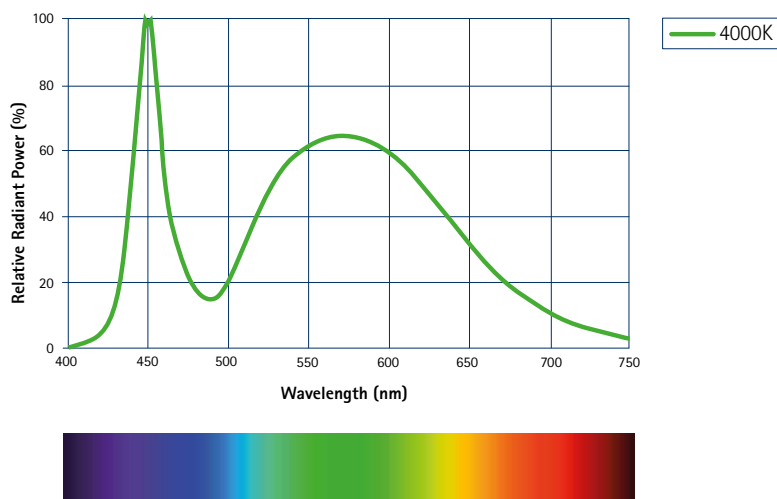


Fig. 32: Puisque la lumière à LED contient un spectre bleu de forte intensité, il est essentiel d'accorder une attention suffisante aux mesures de protection en la matière.

Quatre groupes à risque

La réalité de ce risque dépend de plusieurs facteurs : la puissance de la LED, la température de couleur, mais aussi la distribution lumineuse et la distance au luminaire jouent un rôle important. Afin de permettre aux utilisateurs d'évaluer ces risques, la norme EN 62471 subdivise les lampes et les luminaires en quatre groupes à risque, définis comme suit en fonction des risques liés aux expositions à la lumière bleue (Blue Light Hazard) :

- Groupe à risque 0 (groupe « exempt ») : l'utilisateur ne court aucun risque, même en regardant longtemps la source lumineuse en question.
- Groupe à risque 1 : le risque est limité. L'utilisateur peut regarder la source lumineuse durant 10 000 secondes maximum (c'est-à-dire un peu moins de trois heures)
- Groupe à risque 2 : L'utilisateur peut regarder la source lumineuse durant 100 secondes maximum.
- Groupe à risque 3 : L'utilisateur peut regarder la source lumineuse pendant 0,25 seconde maximum, c'est-à-dire moins longtemps que le réflexe de protection naturel de l'œil.

Attendu que la norme EN 62471 concerne une répartition théorique, définie selon une distance d'observation fixe, une directive pratique supplémentaire a également été élaborée (CEI/TR 62778), qui remplace la norme actuelle EN62471 à partir de 2017. Le risque lié à la lumière bleue dépend en effet également de la distance d'observation (distance entre l'œil et la LED). On ne regarde normalement pas un luminaire à une courte distance, mais des distances d'observation plus courtes sont une réalité par exemple quand un technicien réalise un entretien. CEI/TR 62778 décrit à quelles distances un luminaire appartient à un groupe de risque (GR) lié à la lumière bleue déterminée (lesdites distances limites).

Quelques exemples :

- Les luminaires à diffuseurs relèvent de GR 0, quelle que soit la distance à laquelle on les regarde, ex. Kardó, R8, U2.
- Les downlights et les luminaires LED+LENS™ relèvent de GR 1, indépendamment de la distance d'observation.
- Pour la source lumineuse à la figure 36, RG 1/ RG 2 s'applique avec une distance limite x cm. Cela signifie que la source lumineuse relève de RG 2 à des distances d'observation inférieures à x cm.

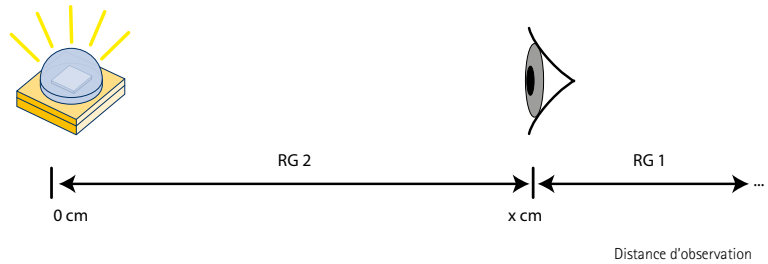


Fig. 33: Illustration de distances limites

La mesure à laquelle des mesures protectrices sont nécessaires dépend de l'application. Si des sources lumineuses ont une distance limite GR 1/ GR 2, cela doit obligatoirement être indiqué, tout comme l'avertissement de ne pas regarder la source lumineuse directement. Les LED blanches nues (utilisées dans l'éclairage général) se retrouvent aujourd'hui dans le pire des cas dans le groupe 2, jamais dans le groupe 3.

Dans la plupart des luminaires, ces LED sont dissimulées derrière une lentille ou un diffuseur qui agrandit optiquement l'image de la source et aplatit ainsi les luminances de crête. La classe de risque diminuera ainsi encore dans la plupart des cas.



Mesures correctes et explications claires

ETAP utilise une technique de mesure spécifique afin de déterminer à quel groupe appartient un luminaire, et ce, à l'aide d'un instrument de mesure spécial appelé spectromètre. ETAP dispose des meilleurs instruments et connaît leur utilisation afin de prendre ces mesures en interne. Cela signifie qu'ETAP est capable d'analyser minutieusement tous les luminaires en termes de sécurité photobiologique. Le groupe de risque final de la solution est publié sur le site Web et dans la documentation du produit.

ETAP dispose des meilleurs instruments afin de faire des mesures en interne.

7. GESTION D'ÉCLAIRAGE INTÉGRÉ

Les LED ne sont pas seulement une source lumineuse efficace en énergie, elles fonctionnent également à merveille associées à des systèmes de régulation de la lumière. Cette combinaison offre un potentiel d'économie élevé, mais crée également quelques avantages complémentaires : il est possible de faire varier les LED plus efficacement que les lampes fluorescentes, et leur durée de vie n'est pas réduite par la répétition des commutations. Avec le système de régulation de la lumière dépendant de la lumière du jour, vous pouvez enfin compenser également la dépréciation de votre installation à LED.

Les systèmes de régulation de la lumière les plus connus sont la régulation en fonction du mouvement, qui fait varier la lumière ou la commute lorsque les utilisateurs entrent dans une pièce ou la quittent, et le réglage de lumière du jour, où la lumière est variée en fonction de la quantité de lumière du jour entrant. La combinaison des deux systèmes peut dans certaines situations permettre 55 % d'économies d'énergie, voire davantage. Aujourd'hui, 1 luminaire sur 6 commercialisé par ETAP est équipé d'un réglage individuel de lumière du jour.



U7 avec régulation de la lumière dépendant de la lumière du jour (ELS)

Les LED sont moins sensibles à la commutation

Les LED ont un certain nombre de propriétés spécifiques qui les rendent particulièrement adaptées à l'utilisation avec des systèmes de régulation de la lumière. Les commutations et/ou variations n'ont dans la plupart des applications que peu d'influence sur la durée de vie des LED*. Ce qui n'est pas le cas des lampes fluorescentes, où une petite partie du matériau émetteur de la lampe se perd à chaque allumage. Ce que l'on peut voir par exemple aux taches plus sombres aux extrémités de la lampe. Dans les pièces où la présence de personnes est relativement brève – pensons par exemple aux espaces sanitaires – nous constatons dès lors une augmentation rapide de la fréquence de remplacement des lampes fluorescentes.

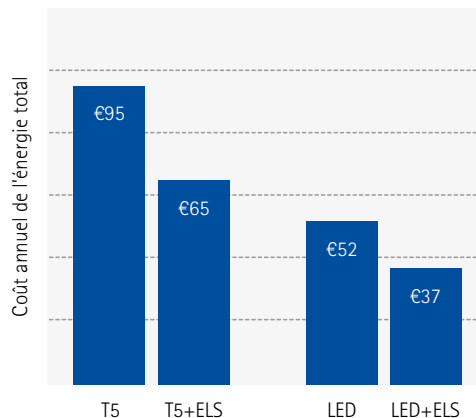
Les LED n'ont pas ce problème. Une LED est en effet un composant électronique insensible aux commutations multiples. De plus, les LED émettent dès le démarrage leur flux lumineux complet, ce qui accroît le confort de l'utilisateur à l'entrée dans la pièce.

* À l'exception d'applications où les LED sont soumises à des variations de température extrêmes.

Remarque:

L'avantage absolu d'économie réalisée est sensiblement diminué avec les LED actuelles (surtout en cas de réglage en fonction de la lumière du jour)

Par exemple : un petit bureau, 500 lux, 6 luminaires, 12 h/jour



C. DRIVERS

1. SCINTILLEMENT

Les variations de rendement lumineux sont généralement désignées par le terme de Temporal Light Artifacts (TLA), allant des baisses de tension du réseau à des scintillements périodiques de la lumière. Les variations de nature durable causent des clignotements visibles de la lumière (« scintillement ou flicker ») ou des effets stroboscopiques. La différence entre les deux catégories est principalement déterminée par la fréquence : alors que le scintillement visible est causé par des fluctuations lentes (jusqu'à ± 100 Hz), les fluctuations élevées (> 200 Hz) engendrent surtout des effets stroboscopiques. Le scintillement n'est pas seulement source d'une gêne visuelle, il peut également causer des maux de tête, des problèmes neurologiques (épilepsie) ou une diminution de l'attention. Les effets stroboscopiques produisent des images visuellement erronées (pensez aux mouvements apparemment ralentis de machines en fonctionnement), ce qui peut entraîner des situations dangereuses.

Tout le monde n'a pas la même sensibilité à l'égard de variations lumineuses. Une étude³ démontre que par exemple, 30 % des personnes perçoivent des effets stroboscopiques à une fréquence de 300 Hz. 5 % en sont fortement incommodés.

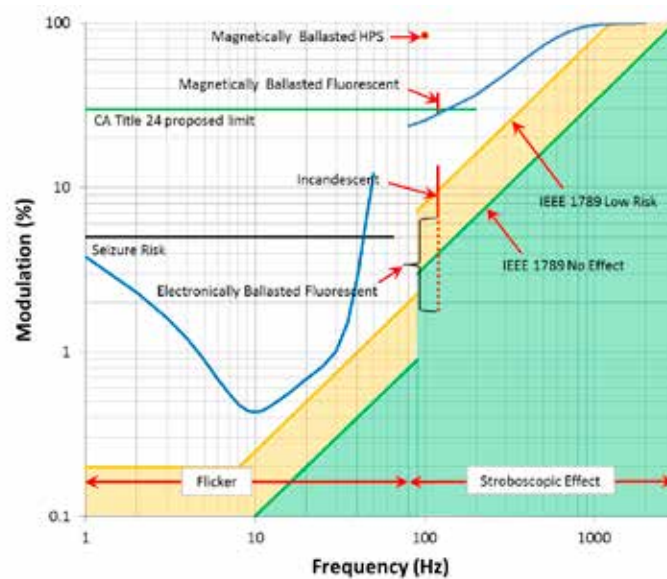


Fig. 34: l'étude de Wilkins exprime notamment que la gêne produite par le scintillement varie d'une personne à l'autre. En fonction de la fréquence et de la profondeur de la modulation, les solutions d'éclairage sont absolument sûres (vert) ou dangereuses (blanc). La bande jaune représente une zone de transition. Cette indication s'applique à un signal se composant d'une seule fréquence.

Scintillement et effets stroboscopiques ne constituent pas intrinsèquement un phénomène nouveau : les TLA sont également un phénomène connu avec les sources lumineuses classiques (par ex. les lampes à incandescence ou fluorescentes). Avec les lampes fluorescentes, il était possible de remédier de manière structurelle à ce problème en ayant recours à des ballasts électroniques. Pourquoi est-ce à nouveau un problème conséquent avec l'avènement de l'éclairage LED ? Intrinsèquement, les LED sont une source lumineuse particulièrement stable, le problème est qu'elles réagissent beaucoup plus vite. Alors que les lampes classiques réagissent plus lentement (les lampes à incandescence par le réchauffement et le refroidissement du filament, les lampes fluorescentes du fait du temps de rémanence du phosphore), les LED réagissent immédiatement à toute commande, et donc également à toute irrégularité de cette commande. Le problème ne se situe donc pas au niveau de la source lumineuse même, mais dans son alimentation.

Les solutions LED de qualité supérieure ont été élaborées de telle manière qu'elles préviennent le scintillement, notamment grâce à l'utilisation d'une alimentation de qualité capable de filtrer les variations du courant. De nombreuses solutions disponibles sur le marché n'y accordent cependant pas une attention suffisante, voire nulle, si bien que les personnes – de manière consciente ou inconsciente – se trouvent fortement incommodées dans leur travail. C'est la raison pour laquelle le besoin d'une nouvelle norme se faisait sentir afin de mesurer le scintillement de l'éclairage LED et de fixer des limites d'acceptabilité claires.

3 Étude réalisée par le Lighting Research Center de Détroit, source : Last van led?, Allicht, 9e année, no 6, juin 2016

L'ancienne norme (CEI TR 61547-1) qui s'applique aux sources lumineuses classiques, comme aux lampes fluorescentes et à incandescence, n'était plus exploitable, étant donné que les LED possèdent des signaux plus complexes, composés de plusieurs fréquences, et possèdent une gamme de fréquences supérieure. De surcroît, dans l'éclairage LED, tant la commande que la source lumineuse doivent être prises en compte, alors qu'autrefois, la lampe n'était en réalité pas considérée dans la mesure :

Deux méthodes de qualification/métriques existaient auparavant :

- **Pourcentage de scintillement** : basé sur la différence entre les rendements minimum et maximum de la lampe, exprimé en %. Pour les ballasts magnétiques, ce pourcentage se situe typiquement entre 15 et 30 %. La variation des solutions à LED de moindre qualité se situe du reste dans le même ordre de grandeur.

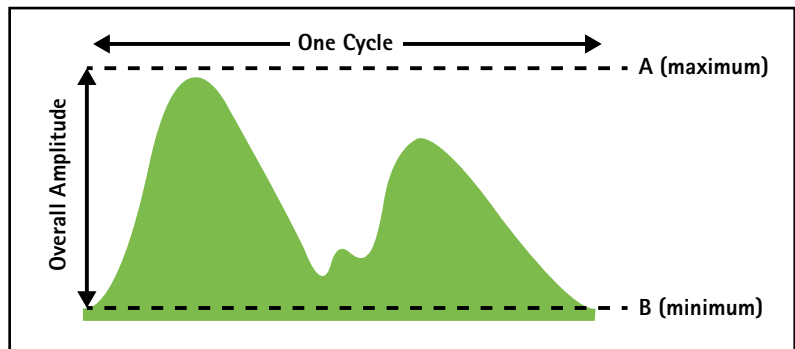


Fig. 35: Mode de calcul du pourcentage de scintillement = $100 \% \times [(A-B)/(A+B)]$

- Une autre manière de quantifier le scintillement est l'**indice de scintillement**, où l'on compare la surface au-dessus de la moyenne avec la surface totale.

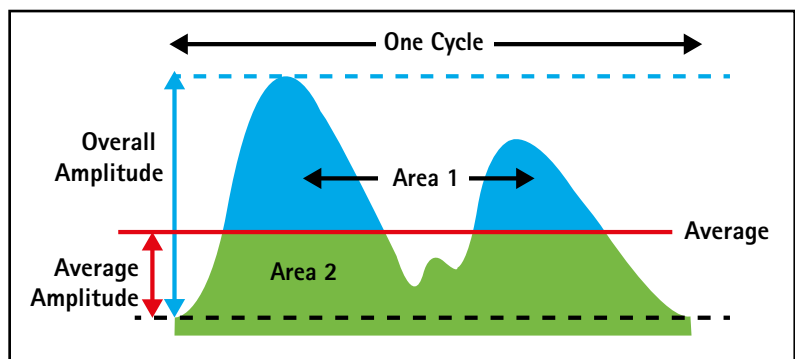


Fig. 36: Mode de calcul de l'indice de scintillement = $\text{surface 1}/(\text{surface 1} + \text{surface 2})$

Ces anciennes méthodes de mesure ne tiennent cependant pas compte de la fréquence. Ce n'était d'ailleurs pas nécessaire à l'époque, étant donné que les sources lumineuses classiques présentent essentiellement la même fréquence (par ex. 100 Hz dans le cas de l'éclairage fluorescent). Tant que les pics des courbes de mesure sont les mêmes, on obtient alors pour les 2 fréquences différentes le même pourcentage, et indice, de scintillement. Attendu que la commande de LED est constituée de différents signaux à large distribution spectrale (gamme de fréquences) et profondeur de modulation, les méthodes de mesure ci-dessus ne suffisent plus.

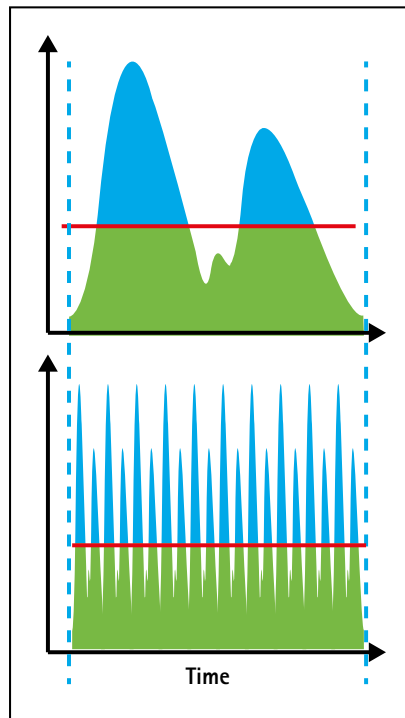


Fig. 37: Les signaux ci-dessus ont le même pourcentage ou indice de scintillement, alors qu'en réalité, ils présentent une fréquence et un résultat visuel différents.

Une technique de gradation très utilisée également avec les alimentations, PWM (Pulse Width Modulation), ne peut pas être mesurée de cette manière pour cette même raison. Le fait que les utilisateurs s'en trouvent ou non incommodés dépendra ici aussi de la fréquence. La technique PWM est uniquement acceptable à haute fréquence et/ou faible profondeur de modulation.

Dans quel sens les normes ont été révisées?

Dans la nouvelle métrique, les variations de rendement de la source lumineuse seront mesurées à l'aide d'un capteur. Le filtrage par l'œil humain est de cette manière simulé. On vérifie comment le rendement lumineux varie dans le temps. Le résultat est une courbe qui restitue le flux lumineux dans le temps. On réalise ensuite une analyse de signal sur ce signal de mesure, pour deux gammes de fréquences (< 100 Hz, > 100 Hz). Le résultat est deux valeurs limites, pour le scintillement (Pst ou short-term flicker metric) et pour les effets stroboscopiques (SVM ou Stroboscopic Visibility Measure). Les deux limites sont indiquées à titre d'illustration dans le graphique de Wilkins (bleu) pour un signal pur (une seule fréquence), mais peuvent aussi être généralisées en un signal (LED) complexe (voir p. 33, figure 34: étude de Wilkins). Les limites d'acceptabilité qui sont définies sur la base de ces calculs correspondent à un risque de 50 %, à savoir une probabilité de 50 % que des personnes soient incommodées.

Que devez-vous retenir ?

Un rendement lumineux stable est – outre l'UGR/éblouissement et le rendu des couleurs – un aspect qualitatif important de l'éclairage LED. C'est la raison pour laquelle ETAP consacre depuis les tout débuts une grande attention à l'utilisation de pilotes LED de qualité afin d'exclure le scintillement et les effets stroboscopiques. La CEI (Commission électrotechnique internationale) a également présenté entre-temps une révision de la norme CEI/TR 61547-1 (Voltage fluctuation immunity test) qui permet de qualifier les pilotes selon des critères d'évaluation objectifs. Les normes pertinentes à cet égard sont les suivantes:

- IEC 61000-3-3: Voltage fluctuations limits.
- IEC 61000-4-15 (ed. 2): Flicker meter (PST)
- IEEE 1789-2015: Recommended Practices for Modulating Current in High-Brightness LEDs (SVM)

2. CRITÈRES DE QUALITÉ POUR LES DRIVERS

Le driver est aujourd'hui, de l'avis général, l'un des composants les plus critiques des solutions à LED. La qualité des luminaires à LED ne dépend pas seulement de la source lumineuse LED et de la conception optique, mais tout aussi bien de l'efficacité et de la fiabilité du driver. Un bon driver LED doit satisfaire à sept exigences de qualité :

Durée de vie. Le driver doit avoir au moins la même durée de vie supposée que les LED.

Efficacité. L'un des facteurs de succès des LED est l'efficacité énergétique. Dès lors, la conversion de la tension réseau en courant doit être la plus efficace possible. Un bon driver LED a un rendement de minimum 85 %.

Facteur de puissance. Le facteur de puissance (λ) est un indicateur technique du driver qui désigne le degré de proximité de la forme d'onde du courant par rapport à la sinusoïde de référence de la tension. Le facteur de puissance est composé de 2 parties : le glissement entre tension et courant (\cos) et la déformation du courant (harmonique ou Total Harmonic Distortion). Plus le glissement et la déformation de la forme d'onde sont faibles, moindres sont les pertes et la pollution sur le réseau de distribution du fournisseur d'énergie. Chez ETAP, nous travaillons exclusivement avec des drivers avec un facteur de puissance de plus de 0,9.

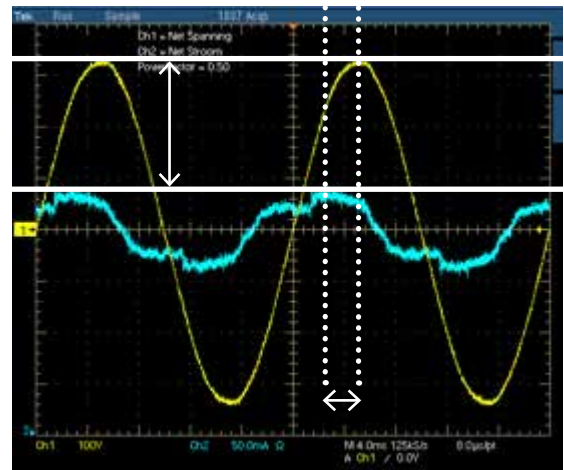
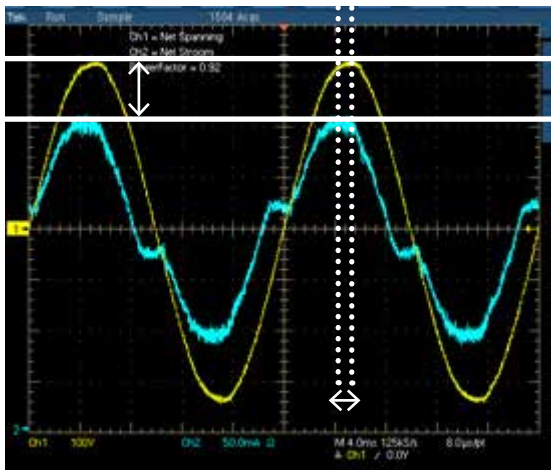


Fig. 38: Pour les drivers à facteur de puissance élevée (à gauche), la forme d'onde du courant (en bleu) présente peu de déformation et de glissement par rapport à la tension (en jaune). Dans les drivers à faible facteur de puissance (à droite), le contraire est vrai.

Compatibilité électromagnétique (EMC). Le driver doit causer le moins possible de perturbations électromagnétiques dans son environnement et être simultanément le moins influencé possible par les perturbations électromagnétiques issues de l'environnement. Une bonne compatibilité électromagnétique est par conséquent cruciale.

Courant à la mise en circuit (Inrush current). Quand un driver LED est mis sous tension, un courant de crête élevé intervient sur le réseau pendant une brève période (une fraction d'une milliseconde). Cela provient du fait qu'au début, les condensateurs sont chargés. Avec les drivers à faible courant à la mise en circuit, la mise sous tension simultanée de plusieurs luminaires n'entraîne pas la coupure des fusibles automatiques.

Forme d'onde du courant : Une bonne qualité de courant de sortie permet d'éviter les fluctuations d'intensité, de manière à éviter les scintillements ou les effets stroboscopiques.

Filtrage tension du réseau. La pollution sur le réseau électrique peut notamment causer des scintillements de lumière basse fréquence (3 ... 50 Hz). La puissance de raccordement rapide des LED les rend bien visibles, ce qui est ressenti comme très gênant. Un bon driver LED fait en sorte de ne pas laisser passer la pollution du réseau d'électricité dans le courant de sortie, afin que le flux lumineux reste stable. La norme IEC/TR61 547-1 (An objective voltage fluctuation immunity test method) décrit la procédure de mesure en vue de quantifier les fluctuations de lumière.

Le driver est donc un composant critique de toute solution à LED. On reconnaît les drivers de qualité en demandant les fiches techniques au fabricant et en vérifiant si les exigences de qualité ci-dessus sont satisfaites. ETAP veille à toujours proposer des drivers LED de qualité, parfaitement adaptés à la solution et soigneusement testés dans nos labos.

3. TYPES DE COMMANDE

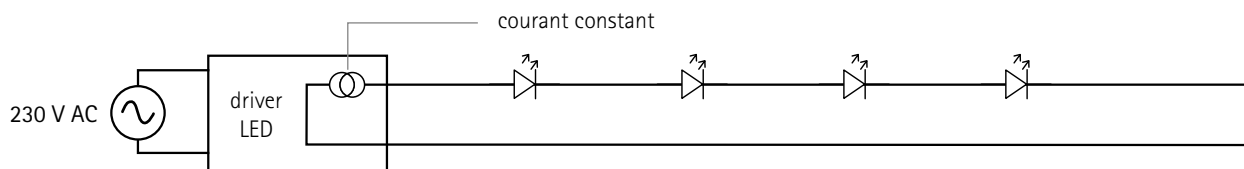
Les LED sont des composants à commande de courant. Le courant détermine directement le flux lumineux et doit pour cette raison être réglé avec précision. Deux méthodes de commande existent :

- **Sources de courant constantes**

Elles transforment directement la tension du réseau en courant constant. Cette méthode offre le rendement le plus élevé et est la plus rentable. L'inconvénient est que les modules à source de courant constante ne peuvent être raccordés qu'en série – d'où une installation plus contraignante et en cas de puissances supérieures, la tension de sortie nécessaire augmente fortement (>100 V).

Exemples :

- Luminaires de bureau : U3, U7,...
- Luminaires industriels : E5, E7,...

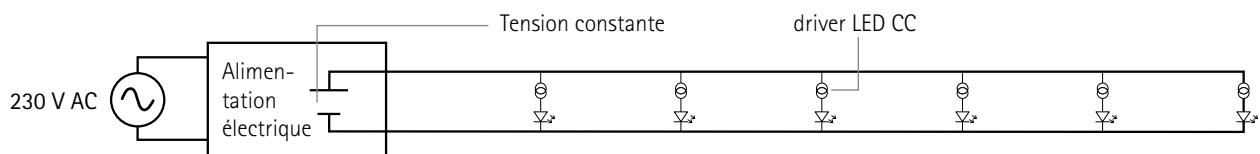


- **Sources de tension constantes**

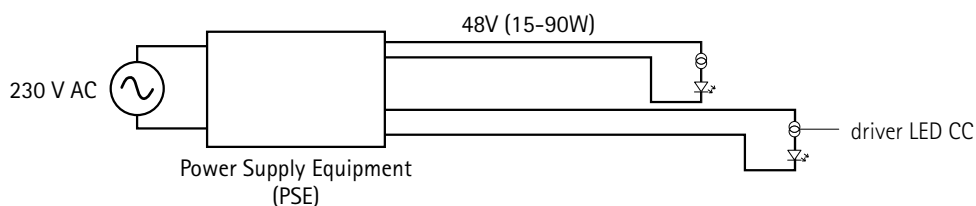
Ce sont les alimentations qui convertissent la tension du réseau en une tension régulée avec précision. Utilisées avec des LED ou des modules à LED, ces alimentations doivent toujours être munies d'un limiteur de courant (par exemple une résistance) ou d'un circuit électronique qui convertit la tension continue en courant constant. Les sources de tension ont comme grand avantage de pouvoir raccorder facilement différents modules en parallèle.

Exemples :

- Système de bus CC: pilote DC LED intégré dans le câble



- PoE (Power over Ethernet)



4. MODULATION

Les LED peuvent être modulées de manière efficace sur une large plage (de quasi 0 % à 100 %) ou être pilotées de manière dynamique. Pour ce faire, les méthodes de gradation normalisées comme DALI, 1-10 V ou TouchDim peuvent être utilisées. Les pertes de gradation pour les LED dans les plages de gradation plus basses sont comparables aux pertes de gradation pour les lampes fluorescentes équipées des ballasts de gradation les plus modernes. En cas de gradation complète, la puissance absorbée résiduelle est pratiquement insignifiante. Les LED conviennent par conséquent particulièrement à une intégration dans des environnements dynamiques programmés.

Dans la pratique, deux techniques de gradation existent : diminuer le niveau de courant (AM ou Amplitude Modulation) ou convertir le courant en impulsions de durée de commutation marche/arrêt variées (PWM ou Pulse Width Modulation), ou encore un système hybride. Chacune de ces trois applications a ses avantages et inconvénients. Nos spécialistes se tiennent à votre disposition pour des conseils concrets.

Tous les systèmes de gradation connus sont en principe également utilisables pour l'éclairage à LED :



- DALI
- 1-10 V (application moins fréquente dans l'éclairage à LED)
- TouchDim
- DMX (moins appliqué pour l'éclairage, plutôt utilisé dans le monde du théâtre).
- Phase marche/coupure (surtout marché résidentiel)
- Bluetooth (Casambi, BLE, ...)

Typiquement, le rendement et le flux lumineux spécifique diminuent aux puissances inférieures. Ainsi, des downlights à puissance absorbée inférieure à 20 W sont en général moins efficaces que des luminaires de 40 W ou plus.

Il est important que l'efficacité et le facteur de puissance demeurent corrects en cas de gradation :

Le rendement maximal réalisable d'un driver est déterminé par la puissance nominale pour laquelle le driver a été conçu (voir figure 40). Pour les drivers d'une puissance nominale <25 W, le rendement maximal ne sera jamais supérieur à 80-85 %. Pour les drivers d'une puissance supérieure à env. 35 W, des rendements maximums de 90 % et plus peuvent être atteints.

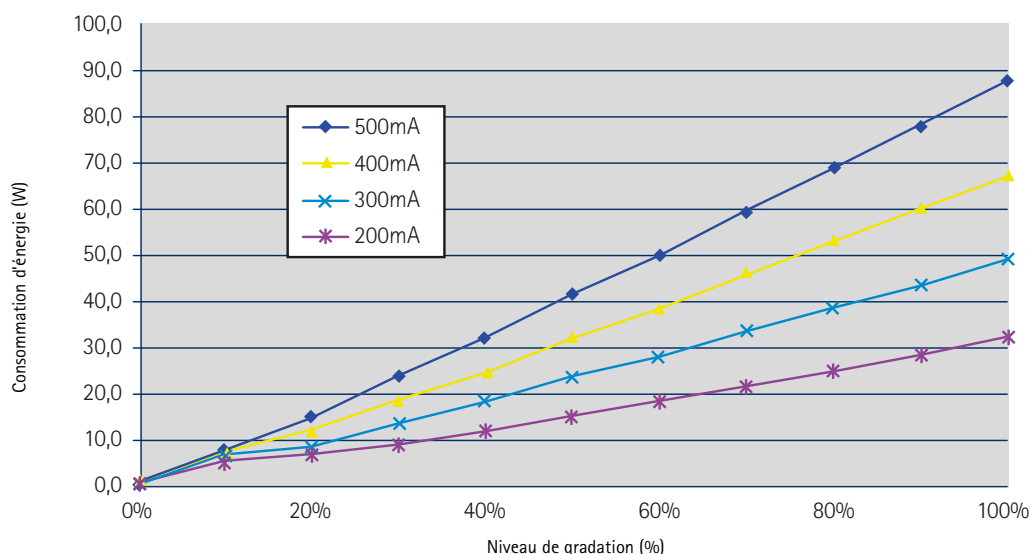


Fig. 39: Effet de la gradation sur la puissance absorbée

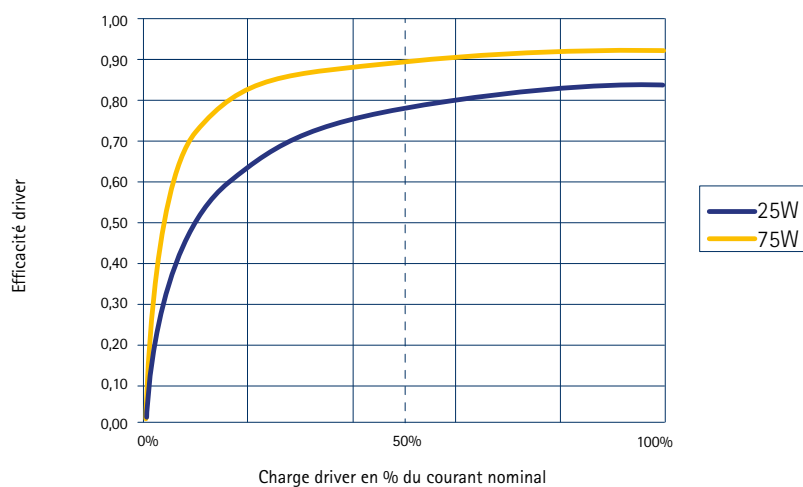


Fig. 40: Influence de la charge du driver sur l'efficacité, pour un driver à faible puissance (bleu) et haute puissance (jaune)

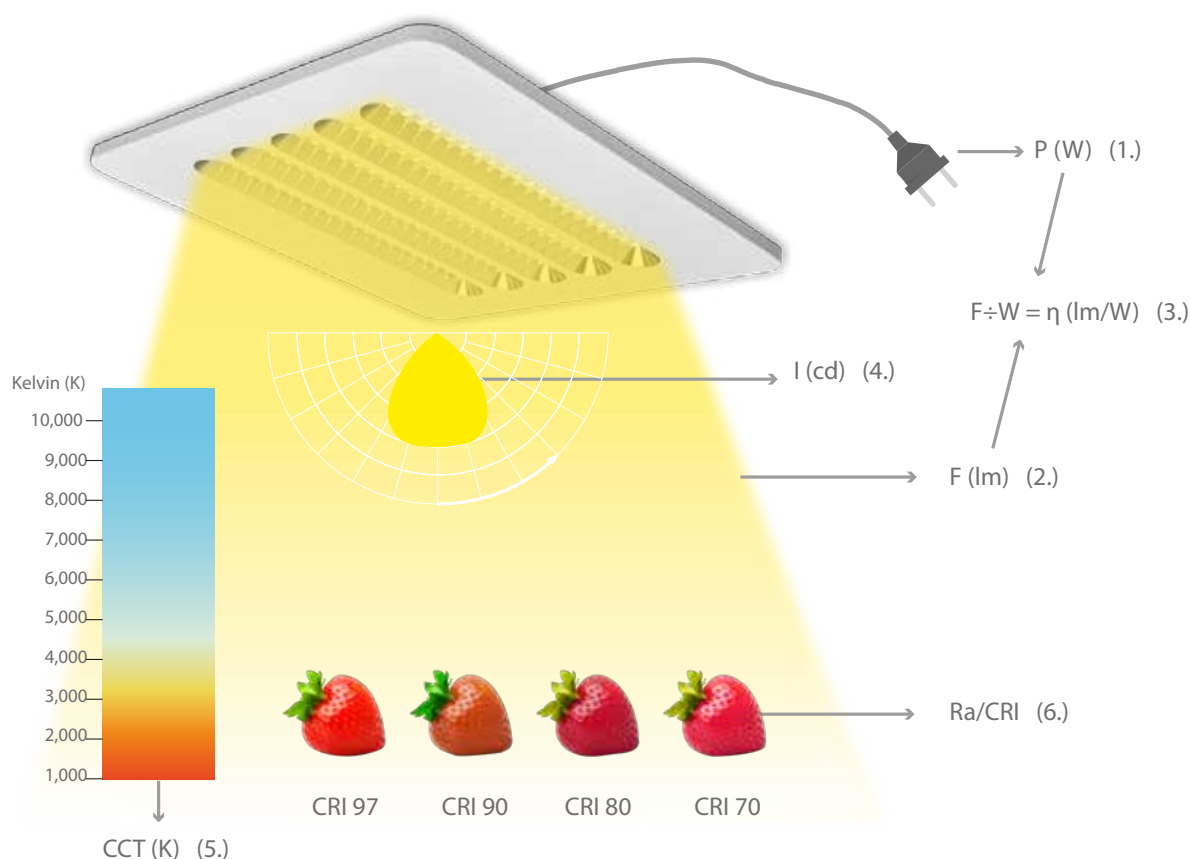
Le graphique ci-dessus montre que le rendement réel d'un driver dépend aussi de la mesure de la charge. Avec un driver de qualité, le rendement restera relativement constant jusqu'à une charge minimale de 50-60 %. En cas de charges encore plus basses, le rendement diminue fortement. C'est la raison pour laquelle il est important de veiller à bien faire correspondre module LED et driver, afin que le driver fonctionne toujours dans sa plage de fonctionnement optimal.

D. À quoi être attentif en tant qu'utilisateur ?

1. INFORMATION DE QUALITÉ ET OBJECTIVE

Autrefois, aucun cadre normatif ou directive n'existait en Europe autour de la publication de données qualitatives de luminaires à LED. Les fabricants publiaient certes des informations, mais le consommateur ne pouvait les comparer sans réfléchir. Par exemple : on pouvait publier de bons chiffres pour la durée de vie, mais ne pas mentionner comment on obtenait ces chiffres. Ou l'on publiait le flux lumineux et la durée de vie de la source lumineuse à LED uniquement, alors que ces données sont également déterminées largement par l'optique et la construction du luminaire. L'absence d'uniformité était fâcheuse pour le consommateur, qui devait souvent comparer des pommes et des poires.

Début 2018, Lighting Europe a édité un guide: « Evaluating performance of LED based luminaires ». Ce document résume le consensus de l'industrie de l'éclairage concernant les paramètres qui devraient figurer sur la fiche de données d'un produit d'éclairage de qualité.



Six paramètres de performance initiaux

Lighting Europe conseille de comparer les paramètres suivants.

1. Puissance totale absorbée par le système (P en watt)
2. Flux lumineux luminaire net (flux Φ en lumen)
3. Rendement (η en lumen par watt)
4. Distribution de l'intensité lumineuse (en candela ou candela par kilolumen)
5. Température de couleur corrélée (CCT en kelvin)
6. Indice de rendu des couleurs Ra (Colour Rendering Index)

Points d'attention spécifiques

Attention : la puissance publiée concerne la puissance totale absorbée par le luminaire, y compris le driver ou le dispositif de contrôle externe éventuel. Trop souvent, seule la puissance du module LED est fournie, et il n'est pas tenu compte des pertes via le driver.

Le flux lumineux et le rendement concernent le luminaire complet, et ne doivent pas être confondus avec le flux lumineux et le rendement des modules LED. Ici aussi, dans la pratique, il n'est pas tenu compte des pertes optiques dans l'optique secondaire. Qui plus est, il est important que le flux lumineux soit indiqué à la température de service réelle des LED dans le luminaire, et non à une température standard de 25 °C !

Tant pour la puissance absorbée, le rendement, que le flux lumineux, il est recommandé d'indiquer également explicitement la température de performance (T_q) correspondante, même si celle-ci est de 25 °C (standard). Les grandeurs indiquées dépendent en effet toutes de la température ambiante spécifique. Si les températures sont différentes, les valeurs de la publication indiquée peuvent diverger (pensons par ex. à l'encastrement dans un plafond avec des températures grimant jusqu'à 35 °C).

Deux paramètres relatifs à la durée de vie

Les luminaires à LED de qualité peuvent potentiellement offrir une très longue durée de vie. Au cours de cette période, le flux lumineux régressera cependant dans une certaine mesure. Pour pouvoir comparer de manière objective les solutions d'éclairage, il est conseillé de comparer le flux lumineux résiduel après un même nombre d'heures de fonctionnement, au lieu de comparer la période de temps jusqu'à un recul lumineux présumé.

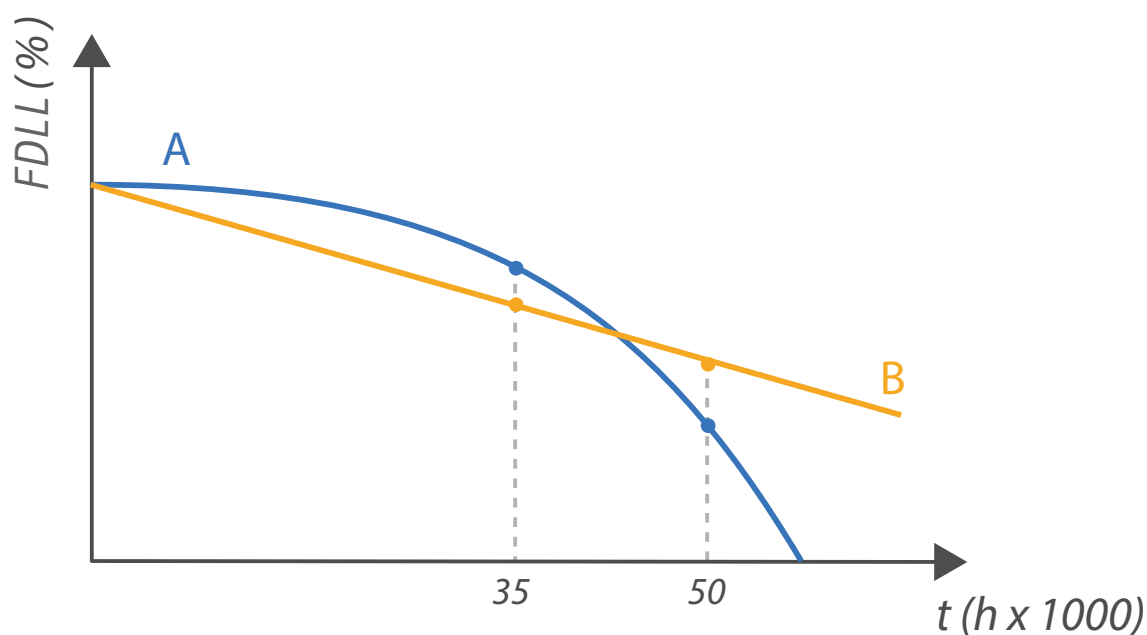
Les deux facteurs suivants sont importants pour spécifier la durée de vie utile :

1. Recul graduel du flux lumineux. La durée de vie utile est décrite par la valeur LxBy d'un luminaire. Lighting Europe suggère de n'utiliser que des valeurs « B50 » – il s'agit des valeurs médianes. Ces valeurs sont jugées suffisamment précises pour des calculs pratiques, et sont en outre les seules valeurs qui peuvent être corroborées par des mesures normées. Dans ce cadre, mentionner explicitement B50 n'est pas requis, il suffit de publier la seule valeur Lx à un nombre d'heures de fonctionnement présumé. Il s'agit du pourcentage du flux lumineux initial qu'un luminaire délivre encore en moyenne après le nombre d'heures de fonctionnement indiqué. ETAP représente ce chiffre comme la valeur LLMF (Lamp Lumen Maintenance Factor) à une température de performance donnée.
2. Défaillance abrupte du luminaire. La défaillance abrupte d'un luminaire à LED peut avoir différentes causes : panne de driver, panne de module LED, mauvaises connexions, corrosion, ... Actuellement, peu de données réelles sont toutefois disponibles à ce sujet, et les normes applicables manquent également. Attendu que dans la pratique, il s'est souvent avéré que pour les applications intérieures, le driver est de loin le composant le plus critique, Lighting Europe suggère d'utiliser aujourd'hui le pourcentage attendu de pannes du driver, exprimé en tant que Cx, où x représente la panne attendue (en %) à la durée de vie utile Lx.

De combien d'heures de fonctionnement avez-vous réellement besoin ?

Lighting Europe conseille de limiter les estimations de durée de vie à maximum 100 000 heures de fonctionnement, sauf exigence contraire explicitement requise dans des projets très spécifiques et pouvant être étayée au moyen de tests étendus. La fiabilité des revendications de durée de vie devient de toute manière vite imprécise au-dessus de 36 000 ou de 50 000 heures de fonctionnement, en fonction du nombre d'heures test dont disposent les fabricants. Il ressort du reste de la pratique que pour la plupart des applications d'intérieur, une durée de vie de plus de 50 000 heures de fonctionnement est rarement nécessaire.

Attendu que la durée de vie nécessaire d'un projet et le nombre d'heures de fonctionnement correspondant peuvent différer fortement d'une application à l'autre, Lighting Europe suggère en outre de spécifier les facteurs de durée de vie ci-dessus ($L_x - C_x$) à différentes heures de fonctionnement, par exemple à 35 000, 50 000, 75 000 et/ou 100 000 heures.



Les luminaires A et B connaissent une évolution de dégradation différente. Si vous postulez une durée de vie de 35 000 heures de fonctionnement, le luminaire A est le plus intéressant. Pour une durée de vie de 50 000 heures de fonctionnement, le luminaire B s'avère mieux adapté.

2. CRITÈRES DE CHOIX

À quoi devez-vous prêter attention concrètement quand vous voulez faire installer un éclairage à LED ? Un bon éclairage LED doit être efficace, mais les aspects tels que le rendu des couleurs et le confort gagnent également toujours plus en importance. Quelques questions qui peuvent vous aider à choisir l'éclairage LED adéquat :

A. Quel est le rendement des luminaires à LED ?

De manière générale, plus le flux lumineux spécifique (lm/W) est élevé, meilleur sera le rendement. Considérez cependant également par exemple la distribution lumineuse, qui peut avoir une grande influence sur la puissance spécifique (W/m²/100 lux).

B. Quelle est la distribution lumineuse ?

Une distribution lumineuse adaptée est importante pour conserver dans chaque application la puissance spécifique, et donc la consommation d'énergie la plus basse possible. Les dimensions de la pièce, le niveau d'éclairage souhaité (horizontal et vertical) déterminent le choix d'une distribution lumineuse spécifique donnée.

Dans les petits bureaux, vous orientez avec la lentille à distribution extensive moyenne la lumière où vous le voulez. Cela vous permet de limiter sensiblement la puissance spécifique :

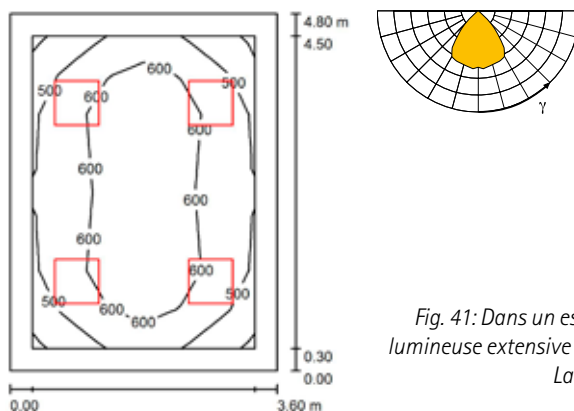


Fig. 41: Dans un espace bureau de 3,6 mètres sur 4,8, 4 luminaires U7 à distribution lumineuse extensive moyenne suffisent pour obtenir un niveau d'éclairage de 585 lux. La puissance spécifique s'élève à 0,95 W/m²/100 lux.

Dans les grands espaces de bureau, la lentille à distribution lumineuse extrêmement extensive vous permet de maximiser les écartements et de réduire le nombre de luminaires :

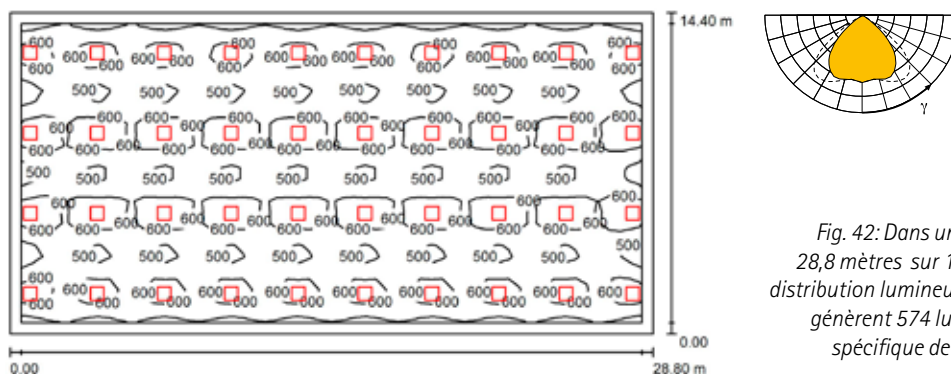


Fig. 42: Dans un bureau paysager de 28,8 mètres sur 14,4, 40 luminaires U7 à distribution lumineuse extrêmement extensive génèrent 574 lux, pour une puissance spécifique de 0,78 W/m²/100 lux.

C. Comment veut-on ressentir l'espace ?

Outre la consommation d'énergie, le ressenti de la pièce est également un facteur important. Chaque optique éclaire un espace d'une manière différente.

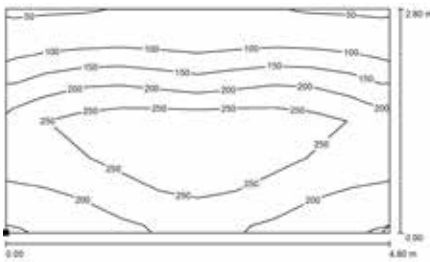
Pour obtenir un niveau d'éclairage de 500 lux, 4 luminaires à lentille (U3) suffisent. Si vous éclairez la pièce avec des luminaires à diffuseur (U23), il vous faudra 6 luminaires. Outre un niveau d'éclairage vertical et une uniformité supérieurs, la perception subjective de l'espace est différente avec les luminaires à diffuseur qu'avec les luminaires à réflecteur ou à lentille. Parce que la source lumineuse est visible et l'optique illuminée de manière plus claire, les espaces semblent également plus lumineux.

U3 (LENTILLE) Espace 4,8 x 4,8 m



type de luminaire: 4 x U3
niveau d'éclairage: 529 lx
puissance spécifique: 0,89 W/m²/100 lx

Vue de côté



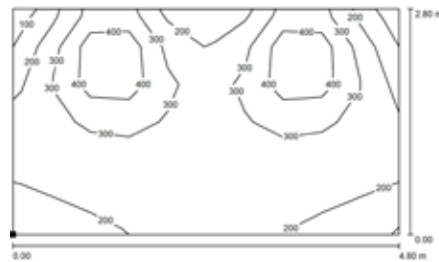
niveau d'éclairage vertical: 195 lx
uniformité: 0,326

U23 (DIFFUSEUR) Espace 4,8 x 4,8 m



type de luminaire: 6 x U23
niveau d'éclairage: 579 lx
puissance spécifique: 1,53 W/m²/100 lx

Vue de côté



niveau d'éclairage vertical: 275 lx
uniformité: 0,506

D. Qu'est-ce que la durée de vie ?

Pour faire réaliser un calcul photométrique correct, il est important de savoir combien de temps l'installation devra durer. Plus l'estimation sera précise, moins l'installation devra être surdimensionnée (et plus bas seront les coûts). Peut-être n'avez-vous pas besoin de 50 000 heures de fonctionnement, alors que 25 000 heures suffiraient ? Pour connaître une estimation correcte du nombre d'heures de fonctionnement, la norme EN15193 publie une indication des heures de fonctionnement annuelles pour des applications intérieures spécifiques.

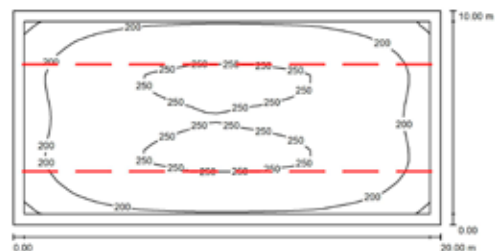
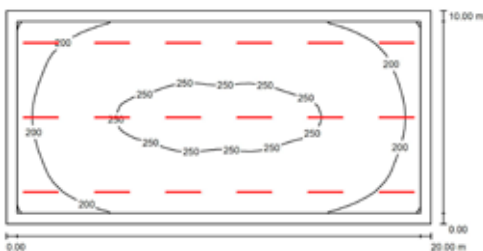


Fig. 43: Si vous éclairez un espace industriel de 10 mètres x 20 avec un éclairage E6, vous aurez besoin de 18 luminaires pour encore atteindre un niveau d'éclairage de 200 lux après 50 000 heures. Si vous comptez sur une durée de vie de 25 000 heures de fonctionnement, vous n'aurez besoin que de 16 luminaires. Vous limitez ainsi non seulement les coûts (d'installation), mais aussi la consommation d'énergie.

E. Les luminaires ont-ils un FDLL élevé ?

Plus haut est le FDLL, moindre est la diminution de lumière. Considérez le FDLL en fonction de la durée de vie présumée.

F. Comment est le confort visuel ?

Le confort d'éclairage contribue dans une importante mesure à de bonnes conditions de travail et influence grandement le bien-être et la productivité des collaborateurs et autres utilisateurs. Considérez dès lors également les niveaux d'éclairage, l'éblouissement, la stabilité du flux lumineux et les caractéristiques de couleur.



Tandis que dans un environnement de soin (à gauche), un éclairage agréable, non éblouissant est particulièrement important pour le bien-être des patients et du personnel, dans un parking à étages (à droite), ce sont l'efficacité et la consommation qui priment.

G. Un rendu des couleurs ou une couleur de lumière spécifique sont-ils requis ?

Dans un environnement commercial, notamment, un bon rendu des couleurs et une couleur de lumière judicieusement choisie ont priorité sur l'efficacité pure. Pour des tâches spécifiques comme les inspections de qualité, le travail de précision (par ex. en électronique) ou dans le secteur médical, de bonnes propriétés de couleur peuvent être importantes également.



Dans un restaurant (à gauche), une couleur de lumière chaude est importante afin de créer une belle ambiance d'éclairage. Dans une imprimerie (à droite), un bon rendu et une bonne reconnaissance des couleurs sont essentiels.

H. Dans quel environnement mes luminaires vont-ils être installés ?

Un environnement industriel présente un facteur d'encrassement différent d'un environnement de bureau. Il s'agit également d'une information importante pour pouvoir réaliser un calcul photométrique correct. Par ailleurs, l'environnement peut également poser des exigences supplémentaires, concernant la robustesse électrique, la résistance chimique et la protection contre l'humidité auxquelles les luminaires doivent satisfaire. Si l'encrassement d'un espace n'est pas évalué correctement (FDS ou facteur de dépréciation de salle), il en résulte un facteur de dépréciation et donc un calcul photométrique erronés :

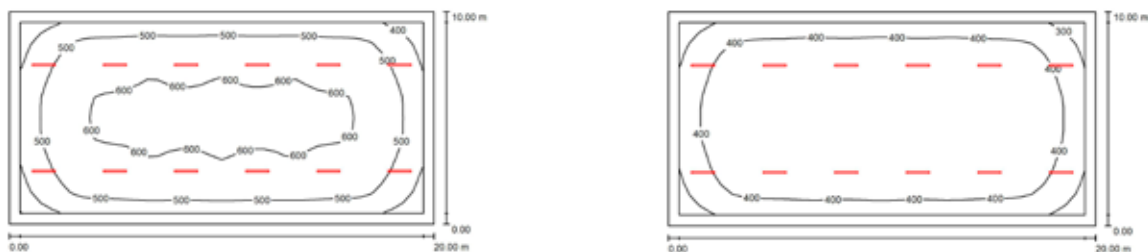


Fig. 44: Calcul photométrique avec facteur de dépréciation trop optimiste (à gauche) face à un calcul avec un facteur de dépréciation réaliste (à droite).

L'étude de gauche part d'un environnement de bureau propre (facteurs de réflexion 70/50/20 pour le plafond/les murs/le sol, respectivement), alors qu'il s'agit d'un espace industriel. Le calcul est donc effectué en tenant compte d'un facteur de dépréciation trop optimiste (0,90) : dans une salle de 10 mètres sur 20, on devrait encore atteindre 539 lux après 50 000 heures avec 12 luminaires E7. Si l'on tient compte du FDS correct (facteurs de réflexion 50/30/10), le calcul est réalisé sur la base d'un facteur de dépréciation de 0,79. Il en découle qu'après 50 000 heures de fonctionnement, on ne conserve plus que 432 lux au lieu des 500 lux souhaités.

ÉLABORER ENSEMBLE LA MEILLEURE SOLUTION

Nos conseillers sont des spécialistes de l'éclairage parfaitement formés qui recherchent avec vous la solution d'éclairage appropriée, adaptée sur mesure à votre projet. À partir de vos souhaits et besoins, notre service d'étude élabore un plan d'éclairage qui répond à vos attentes.

3. LES TUBES À LED

Les tubes à LED sont des lampes à LED toutes prêtes qui s'adaptent aux douilles des luminaires fluorescents. Lorsque les luminaires sont conçus spécifiquement à cet effet, les lampes à LED peuvent offrir de nombreux avantages. En revanche, si vous remplacez simplement des lampes fluorescentes par des lampes LED dans des luminaires existants, cela se fait au détriment de la qualité, du confort et parfois de la sécurité.

L'UE veille à la sécurité des tubes à LED

L'Union européenne a retiré du marché plusieurs tubes à LED via le système Rapid Alert System, car ces derniers n'étaient pas conformes à la directive Basse Tension 2006/95/CE et à la norme EN 60598 pour les luminaires. Ces produits posent notamment un risque de choc électrique lors de l'installation, car certaines parties extérieures peuvent alors se trouver sous tension.



Les avantages des tubes à LED

Les tubes à LED ont de nombreux avantages pratiques : ils offrent non seulement une faible consommation d'énergie et une longue durée de vie, ils sont également synonymes d'entretien facile. En cas de défectuosité, l'utilisateur peut les remplacer lui-même (voir 6. Sécurité électrique), sans risque d'électrocution. Des tubes à LED en caisson entièrement fermé existent également, et conviennent pour des environnements chimiques. Dans le cas des luminaires à réflecteur, les tubes à LED permettent de prévoir l'extraction d'air via le réflecteur, de manière à créer un effet autonettoyant.

Pilote interne ou externe ?

Les tubes à LED peuvent avoir un driver interne ou externe. Un driver externe permet de moduler les lampes et – si nécessaire – de les remplacer facilement.

Usage raisonnable des tubes à LED

Il est important de savoir que l'on ne peut pas remplacer comme cela des lampes fluorescentes par des tubes à LED. Souvent, le câblage doit être adapté, ou des composants du luminaire doivent être remplacés ou pontés. La responsabilité du fabricant initial du luminaire n'est ainsi plus engagée, mais la qualité de la lumière peut également diminuer : chaque luminaire est conçu pour un flux lumineux déterminé et une distribution lumineuse donnée. En passant comme cela à des tubes à LED, vous risquez d'obtenir des niveaux d'éclairage inférieurs, une moins bonne uniformité, de l'éblouissement, bref, une perte de confort.

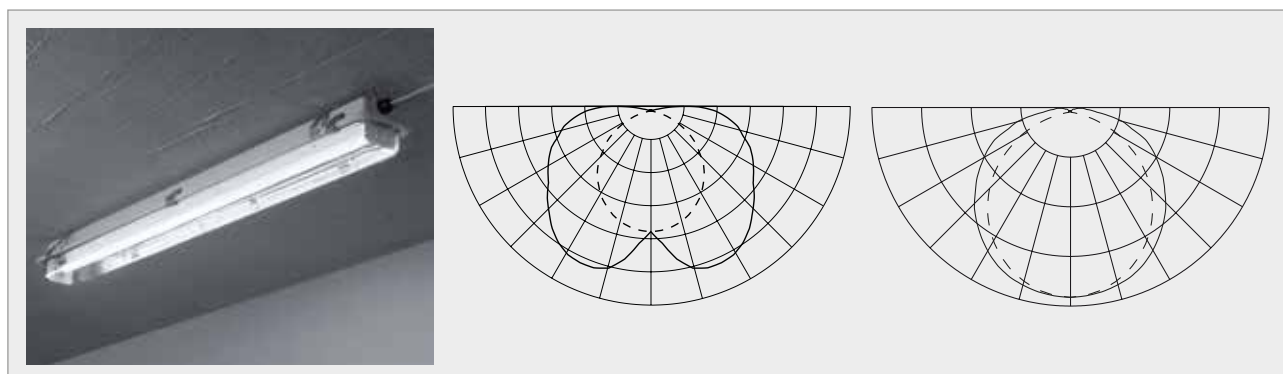


Fig. 45: Alors qu'un luminaire E12/136HFV (avec une lampe fluorescente 1 x 36W) offre un flux lumineux de 3350 lm et un flux lumineux spécifique de 72 lm/W, ce même appareil avec tube à LED n'offre respectivement que 1340 lm et 61 lm/W. La distribution lumineuse avec tube à LED (à droite) est également différente de celle avec une lampe fluorescente (au milieu).

Mais une autre possibilité existe : si vous remplacez l'intérieur complet (lampe + réflecteur) par une optique adaptée, vous pouvez encore passer facilement aux LED à partir de votre éclairage fluorescent existant. Vous pouvez ainsi, par exemple dans les luminaires E1 pour degré de protection élevé, remplacer facilement la lampe et le réflecteur par un module de rénovation, avec tube à LED, et continuer à utiliser vos anciens luminaires. Le résultat : une efficacité supérieure, sensiblement moins (voire pas) de remplacement de lampe et un confort élevé inchangé.

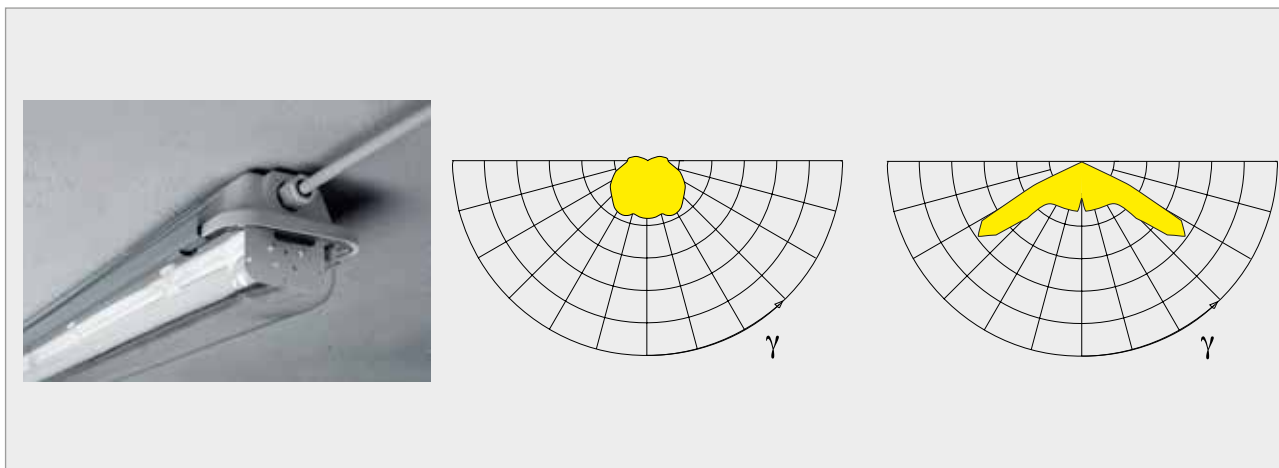


Fig. 46: Si l'on remplace le module d'éclairage (lampes et réflecteur) d'un E1 à distribution lumineuse extensive à 2 lampes de 58 W, par un module à LED à réflecteur adapté et tubes à LED, on obtient quasi le même flux lumineux de luminaire (6 740 au lieu de 6 700 lm), tandis que l'efficacité augmente, passant de 90 lm/W à 120 lm/W. La distribution lumineuse de l'exécution à LED (à droite) est également plus prononcée que dans la version fluo (au centre).

E. Les LED – que nous réserve l'avenir ?

Une nouvelle dimension en éclairage

Les LED ont ces dernières années définitivement conquis leur place sur le marché de l'éclairage et sont en bonne voie de remplacer entièrement les sources lumineuses classiques comme le fluorescent et l'halogène. Mais entre-temps, l'évolution technologique ne s'arrête pas. Là où les designers se concentraient jusqu'à présent sur l'amélioration du rendement et la durée de vie, ils découvrent progressivement les nombreuses nouvelles possibilités offertes par les LED.

Plus qu'un remplaçant au fluo

Rien de plus logique à voir les LED supplanter définitivement les sources lumineuses classiques comme le fluorescent ou l'halogène, étant donné leur rendement supérieur et leur plus longue durée de vie. Ces dernières années, par ailleurs, les inconvénients initiaux de l'éclairage LED ont été largement aplanis. Une nouvelle génération de drivers offrant une plus grande stabilité a contribué à résoudre le problème de l'effet de scintillement, et des optiques mieux adaptées atténuent l'éblouissement dû à la lumière vive. La qualité de couleur a également énormément progressé, parce que les LED présentent généralement un spectre à large bande mieux distribué que le spectre à bande étroite de l'éclairage fluorescent. Actuellement, on trouve des LED offrant un rendu des couleurs de Ra > 90 à Ra 100. Grâce à ce meilleur rendu des couleurs, un même confort visuel peut souvent être réalisé avec des niveaux d'éclairement plus bas.

Jouer avec la lumière et la couleur

Aujourd'hui, les designers découvrent néanmoins que les LED peuvent offrir beaucoup plus qu'une variante plus efficace des sources lumineuses traditionnelles. Sources lumineuses électroniques, les LED offrent en effet d'innombrables possibilités de mieux faire correspondre l'éclairage à des applications spécifiques. Les designers jouent par exemple avec les propriétés de couleur afin de développer un éclairage mettant mieux en valeur le textile ou les produits alimentaires. Grâce à un spectre richement pourvu, les LED se rapprochent toujours plus de l'effet de la lumière réelle du soleil, ce qui favorise la croissance des plantes en horticulture. Pour l'éclairage de nuit, par ex. dans des hôpitaux et des applications extérieures, des teintes plus rouges (sans bleu) sont avantageuses, car elles favorisent le biorythme de l'homme et de l'animal.



En jouant avec la richesse du spectre de couleurs, il est possible de mieux rendre les couleurs des textiles (à gauche) ou d'imiter la lumière du jour (à droite).

Pour tous les cadres

De très nombreuses personnes ont initialement ressenti l'éclairage LED comme étant 'dur' ou 'froid'. Mais grâce aux nouvelles évolutions, les LED conviennent de mieux en mieux aux cadres nécessitant une lumière agréable ou créant une ambiance particulière. Pour les applications Cafés, Hôtels, Restaurants (CHR) et résidentielles, l'effet dim-to-warm a par exemple été mis au point. Lors de la variation, l'intensité de la lumière n'est pas la seule réduite, mais aussi la température de couleur. La couleur de la lumière tend ainsi vers le rouge orangé, comme c'était également le cas quand on faisait varier autrefois des lampes halogènes ou à incandescence.



L'effet dim-to-warm crée un éclairage LED chaud, pour une belle ambiance.

Lumière personnalisée

En jouant avec la couleur et l'intensité, nous pouvons adapter la lumière à chaque situation et environnement, ou même la faire évoluer en fonction du moment de la journée. Une lumière énergique et riche le matin, reposante et réconfortante le soir. La voie vers un éclairage entièrement personnalisé est ouverte. En effet, tout le monde ne perçoit pas la lumière de la même manière. L'âge et le sexe jouent un rôle, comme la sensibilité à la lumière. Les constructeurs automobiles expérimentent déjà en environnements de production un éclairage adapté aux préférences du collaborateur qui travaille à tel ou tel moment.

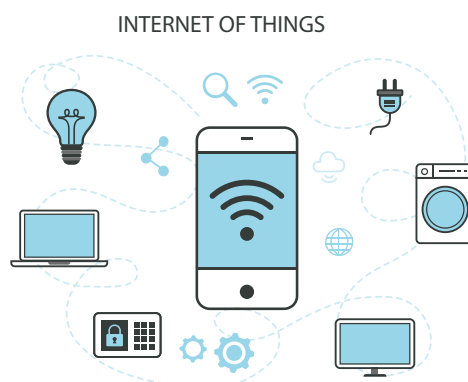


Le secteur automobile expérimente de la lumière adaptée sur mesure au collaborateur.

L'éclairage devient compact et intelligent

Entre-temps, la technologie LED ne cesse pas non plus d'évoluer. Les LED à base de lumière laser permettent par exemple déjà de réaliser des faisceaux cohérents capables de parcourir de grandes distances, une application intéressante pour les phares de voitures. Nous observons également une tendance à la miniaturisation, où de minuscules LED sont placées très près les unes des autres, chacune pouvant être pilotée séparément avec sa propre optique. Les LED nanotubes sont pour leur part des LED en forme de petits tubes capables aussi bien d'émettre que de détecter de la lumière.

Enfin, des expérimentations sont également menées avec l'ajout de fonctionnalités supplémentaires grâce à l'intégration système au niveau de la puce. Drivers, capteurs ou régulation de courant sont intégrés dans la source lumineuse LED, rendant ainsi les luminaires plus compacts. Cette évolution ouvre directement la voie vers le smart lighting et les applications de l'internet des objets, où les points d'éclairage – présents dans la quasi-totalité des espaces – communiquent avec d'autres applications.



L'intégration de fonctionnalités supplémentaires au niveau de la puce ouvre la voie vers le smart lighting et l'internet des objets (illustration : freepik.com)

Les nouvelles possibilités offertes par les LED vont bien plus loin que l'augmentation pure et simple du rendement. Elles donnent à l'éclairage une nouvelle dimension, qui entraînera une mutation complète du marché dans les prochaines années. Il est donc toujours plus important pour les fabricants d'éclairage de bien écouter les clients, de les aider à faire le bon choix dans l'abondance de l'offre et de composer une solution correspondant sur mesure à leurs besoins.

F. Normes internationales

Vous trouverez sur www.lightingeurope.org les dernières directives sur les normes des LED : « LightingEurope Guide for the application of the Commission Regulation (EU) No. 1194/2012 setting ecodesign requirements for directional lamps, light emitting diode lamps and related equipment ».

Conformément aux directives du Lighting Industry Liaison Group, il s'agit des normes internationales concernant l'éclairage LED :

Type de produit	Exigences de sécurité	Exigences de prestation
Système de commande électronique pour modules LED	IEC 61347-2-13 IEC 61347-1	IEC 62717
Lampes LED avec ballast intégré pour l'éclairage général à tension > 50 V	IEC 62560	IEC 62612
Tubes à LED (avec culot de lampe double)	IEC 62776-1	IEC 62612
Modules LED pour éclairage général	IEC 62031	IEC/PAS 62717
Luminaires LED	IEC 60598	80 IEC/PAS 62722-2-1 Ed. 1 Part 2-1
Sécurité photobiologique de lampes et sources lumineuses	(IEC 62471) IEC/TR 62778:2012	
LED et modules LED	CEI 62504 Conditions et définitions pour LED et modules LED dans l'éclairage général	
Comités techniques CEI	TC2-46 CEI/ISO normes sur les mesures d'intensité LED	
	TC2-50 Mesure des propriétés optiques de groupes et matrices de LED	
	TC2-58 Mesure de radiance et de luminance LED	
	TC2-63 Mesure optique de LED haute puissance LED	
	TC2-64 Méthodes de test à grande vitesse pour LED	
Scintillement	IEC 61000-4-15	
	IEC 61000-3-3	
Rendu des couleurs	CIE Pub. 13.3 / IES TM-30-15	

Terminologie

Binning:	Le tri / la classification de (dans ce cas) LED en groupes présentant des caractéristiques similaires, par ex. dans le domaine des coordonnées de couleur.
BLH (Blue Light Hazard) :	RLB (risque lié à la lumière bleue) : Risque de dommage irréversible de la rétine par une exposition trop élevée à une lumière visible (principalement bleue).
Durée de vie Bxx :	Durée de vie au cours de laquelle un pourcentage donné 'xx' d'un groupe de composants tombe sous un critère de performance présumé.
Chromaticité:	Coordonnées de couleurs
CIE:	Commission internationale de l'éclairage
COB (chip-on-board) :	Forme de construction réunissant plusieurs puces LED reliées électriquement les unes aux autres sur un substrat, recouvert d'une couche de phosphore silicone.
Composant LED:	La combinaison de la LED, de l'embase et de l'optique primaire.
Cold Lumens:	Le flux lumineux mesuré à 25°C de température de jonction.
CRI (Color Rendering Index) :	Rendu des couleurs d'une source lumineuse par rapport à une source de référence standard (ancien système).
CSP (chip-scale-package) :	Exécution particulièrement compacte de la LED basse ou haute puissance, dans laquelle l'embase traditionnelle est complètement abandonnée.
Densité du courant:	Le rapport entre le courant qui passe par un composant et sa section.
Diode:	Semi-conducteur qui conduit très bien le courant électrique dans un sens, mais pratiquement pas dans l'autre direction.
Durée de vie utile:	La durée de vie économique pertinente pour l'application spécifique. Celle-ci est inférieure à la durée de vie moyenne.
Facteur de dépréciation:	Facteur pour lequel on tient compte de l'encrassement, du vieillissement et de la diminution de lumière des sources lumineuses dans les calculs d'éclairage.
FD (Facteur de Dépréciation) :	voir facteur de dépréciation
FDL (Facteur de dépréciation luminaire) :	Reflète la diminution de lumière d'un luminaire par suite de l'encrassement du luminaire.
FDLL (Facteur de dépréciation lumen lampe) :	Reflète la diminution de lumière d'une source lumineuse.
FDS (Facteur de dépréciation de salle) :	Reflète l'encrassement d'une salle dans un calcul photométrique.
FSL (Facteur de survie lampe) :	Reflète la perte de lumière par suite de lampes défectueuses, quand celles-ci ne sont pas immédiatement remplacées.
Flux hémisphérique inférieur de la lumière:	La part du flux lumineux total envoyé vers le bas (dans le cas d'une source lumineuse suspendue horizontalement).
Gamma (γ) ou angle de défilement:	Angle par rapport à l'axe vertical dans un diagramme polaire.

Hot Lumens:	Le flux lumineux mesuré à une température de jonction proche de la température d'utilisation pratique (typiquement 85°C).
IES:	Illuminating Engineering Society : autorité internationale reconnue dans le domaine de l'éclairage.
Jonction:	La zone active dans le matériau semi-conducteur où la lumière est générée.
Leadframe:	Élément de base d'une LED basse puissance, cadre métallique qui assure les connexions électriques externes, la dispersion de la chaleur et la réflexion de lumière.
LED:	Abréviation de Light Emitting Diode – diode électroluminescente – DEL.
LM-80:	Méthode américaine approuvée par l'IES pour mesurer la dépréciation de lumen de composants LED (« Measuring Lumen Maintenance of LED Light Sources »).
LM-84:	Méthode américaine approuvée par l'IES pour mesurer la dépréciation de lumen de composants LED (« Measuring Luminous Flux and Color Maintenance of LED Lamps, Light Engines, and Luminaires »).
Luminescence:	Processus dans le cadre duquel une particule lumineuse (photon) est générée lorsqu'un atome passe d'un état d'énergie supérieur à inférieur.
Module LED:	L'équivalent LED d'une lampe traditionnelle, mais en exécution LED.
OLED :	Organic light emitting diode
PCB:	Printed Circuit Board : circuit imprimé.
Phosphore éloigné:	Technologie pour laquelle le phosphore destiné à générer la lumière blanche n'est pas appliqué directement sur la LED bleue mais dans ou sur un support (en verre ou en matière synthétique) à une certaine distance de la LED. Le phosphore fonctionne ainsi à une température plus basse, ce qui permet de réaliser dans certains cas un gain d'efficacité et une amélioration de la durée de vie.
Puce LED:	Composant semi-conducteur générant de la lumière.
Ra ou CRI :	Traduit le rendu des couleurs d'une source lumineuse par rapport à une source de référence standard.
Rf ou CFI :	Version améliorée de la métrique CRI
Rg ou Color Gamut :	Fournit – outre CFI – des informations complémentaires sur la plage de tonalités de couleurs et la saturation.
SDCM (Standard Deviation Colour Matching):	La mesure des écart perceptibles de couleur de lumière.
Substrat:	Matériau support sur lequel la LED est fixée, conjointement au réflecteur interne.
Température de jonction:	C'est la température interne dans le matériau semi-conducteur.
TLA :	« Temporal Light Artifacts », ou variations temporaires du flux lumineux.

TM-21:	Méthode recommandée par l'IES pour calculer la durée de vie utile de composants LED (« Projecting Long Term Lumen Maintenance of LED Light Sources »), sur la base de données de mesure LM80.
TM-28:	Méthode recommandée par l'IES pour calculer la durée de vie utilisable de luminaires à LED (« Projecting Long-Term Luminous Flux Maintenance of LED Lamps and Luminaires ») sur la base de données de mesure LM-84.
TM-30 :	Méthode améliorée proposée par l'IES afin de mesurer le rendu des couleurs de sources lumineuses.
UGR:	Unified Glare Rating – un modèle par approximation qui exprime le risque d'éblouissement. Les valeurs de norme vont de UGR 16 (risque d'éblouissement faible) à UGR 28.
Wire bonding:	Liaison – le plus souvent en or – entre semi-conducteurs entre eux ou entre semi-conducteur et leadframe ou des contacts électriques externes.

Annexe 1 : facteur de dépréciation de produits à LED

Valeurs typiques de facteur de dépréciation % (FD)

TYPE DE LUMINAIRE	APPLICATION	VERSION	25.000 h.	50.000 h.
D1 / D2 / D3	BUREAU	-	88%	85%
D42	BUREAU	-	88%	88%
D9	BUREAU	-	87%	86%
E1	INDUSTRIE	-	83%	81%
E1 rénovations	INDUSTRIE	-		68%
E2	INDUSTRIE	-	83%	81%
E4	INDUSTRIE	E4.0./	84%	83%
		E4.1./	83%	80%
E5M	INDUSTRIE	-	78%	69%
E6	INDUSTRIE	-	78%	72%
E7	INDUSTRIE	E7.1./ (1 LIGNE DE LED)	83%	81%
		E7.2./ (2 LIGNES DE LED)	82%	79%
E8	INDUSTRIE	-	81%	78%
FLARE	BUREAU	-	87%	85%
R2	BUREAU	-	88%	88%
R7	BUREAU	sans uplight	88%	88%
		avec uplight	88%	86%
		mini	87%	84%
R8	BUREAU	-	85%	82%
U2	BUREAU	U23.		80%
		U25.	88%	88%
U3	BUREAU	-	88%	88%
U7	BUREAU	modulations standard	88%	87%
		mini	87%	84%
US	BUREAU	US./LED.25 - /LED.30 (carré)	87%	84%
		US./LED.35 - /LED.40 (carré)	84%	79%
		US21.0/LED.25 (rectangulaire)	88%	88%
		US21.0/LED.40 (rectangulaire)	87%	85%
V2M11	BUREAU	-	88%	88%
V2M17	BUREAU	-	86%	84%
V2M1F / J	BUREAU	-	88%	85%
W1	BUREAU	-		71%

- Tous les chiffres de performance s'entendent à température ambiante
Tamb = 25°C.
- Le FD ci-dessus est une valeur indicative : il évolue en fonction du niveau de pollution aux poussières ou de l'intervalle de nettoyage.
- $FD = FDLL * FSL * FDL * FDS$
(CIE97: publication pour éclairage intérieur)
FDLL: facteur de dépréciation lumen lampe
FSL: facteur de survie lampe
FDL: facteur de dépréciation lumineaire
FDS: facteur de dépréciation salle
- Le calcul ci-dessus du facteur de dépréciation se base sur les données suivantes :
FSL = 1 (« spot replacement »: dans le cas d'une défaillance totale des LED, les drivers ou luminaires défectueux seront remplacés).
FDL = 0,95 pour un environnement de bureau propre; 0,89 pour un environnement industriel normal.
FDS = 0,94 pour un environnement de bureau propre (facteur de réflexion 70/50/20) ou 0,95 pour un environnement industriel normal (facteur de réflexion 50/30/20), sous réserve d'un nettoyage tous les trois ans. D'après CIE 97 2005.
- FDLL basé sur LM80(1)/TM21(2)

LLMF (%)			
TYPE DE LUMINAIRE	version	25.000 h.	50.000 h.
D1 / D2 / D3	-	98%	96%
D42	-	99%	98%
D9	-	98%	96%
E1	-	98%	96%
E1 rénovation	-		80%
E2	-	98%	96%
E4	E4.0./	99%	98%
	E4.1./	98%	95%
E5M	-	91%	82%
E6	-	92%	85%
E7	E7.1./ (1 ligne de LED)	98%	96%
	E7.2./ (2 lignes de LED)	97%	94%
E8	-	96%	92%
FLARE	-	97%	95%
R2	-	99%	98%
R7	sans uplight	99%	98%
	avec uplight	98%	96%
R8	mini	97%	94%
	-	96%	92%
U2	U23.		90%
	U25.	99%	98%
U3	-	99%	98%
U7	modulations standard	99%	97%
	mini	97%	94%
US	US./LED.25 - /LED.30 (carré)	97%	94%
	US./LED.35 - /LED.40 (carré)	94%	89%
	US21.0/LED.25 (rectangulaire)	99%	98%
	US21.0/LED.40 (rectangulaire)	97%	95%
V2M11	-	99%	99%
V2M17	-	96%	94%
V2M1F / J	-	98%	95%
W1	-		80%

(1) IES LM-80-08: goedgekeurde testmethode voor lumenbehoud van led-lichtbronnen
(2) IES TM-21-11: langetermijnplan voor lumenbehoud van led-lichtbronnen

Notes

A series of horizontal dotted lines for taking notes.

Notes

A series of horizontal dotted lines for taking notes.

ETAP SA ■ Avenue Abel Bardin et Charles Benoit ■ Z.I. de Rouvroy ■ 02100 Saint Quentin ■ France
Tél. +33 (0)3 23 67 80 00 ■ Fax +33 (0)3 23 67 80 29 ■ e-mail: info.fr@etaplighting.com

ETAP NV ■ Antwerpsesteenweg 130 ■ 2390 Malle ■ Belgique
Tél. +32 (0)3 310 02 11 ■ Fax +32 (0)3 311 61 42 ■ e-mail: info.be@etaplighting.com

www.etaplighting.com

