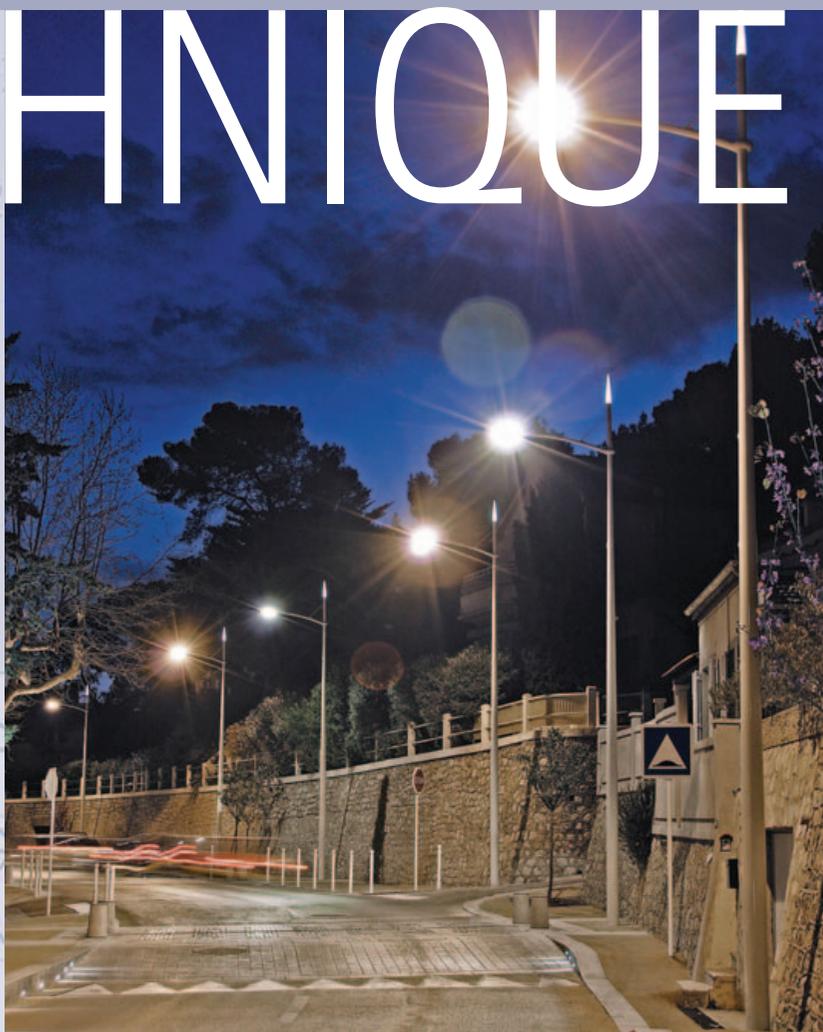


Les LED en éclairage public : mythe ou réalité ?

La LED ne nécessitant aucune optique ou juste un simple collimateur, de nombreux intégrateurs non professionnels se sont engouffrés dans ce nouveau marché pour vendre des solutions non adaptées aux besoins des collectivités. Résultat : beaucoup de déceptions et de débats autour de ce produit. Si elle est parfaitement au point pour de nombreuses applications, rectifier certaines idées reçues sur cette technologie en constante évolution s'impose, en particulier dans le domaine de l'éclairage public.

ALAIN CHARDIGNY
PRÉSIDENT
DE LA DIVISION
ÉCLAIRAGE EXTÉRIEUR
DU SYNDICAT
DE L'ÉCLAIRAGE



ICI ET LÀ, on commence à voir quelques projets d'éclairage public se réaliser en luminaire à LED avec, toujours, beaucoup de déceptions et un débat souvent biaisé. De nombreuses « fausses bonnes informations » sont colportées et expliquées aux clients : les LED ont une durée de vie de 100 000 h, avec la LED pas d'entretien, seule la LED peut permettre de réaliser des économies d'énergie...

Et dans le même temps, on occulte les questions essentielles : personne ne parle de chute de flux, de qualité de lumière, du respect de la norme d'éclairage public EN 13 201, d'uniformité d'éclairement et/ou de luminance, encore moins de confort visuel et de respect du contrôle des nuisances lumineuse (valeur de l'ULOR)

Concevoir une optique performante pour lampes à décharge demande des investissements colossaux et une technologie réservée aux constructeurs dignes de ce nom alors que la LED ne nécessite pas d'optique ou bien alors un simple collimateur fourni par le fabricant ; de ce fait elle a permis à beaucoup de non-professionnels intégrateurs de LED de se croire fabricants de luminaires et éclairagistes, et à beaucoup de commerciaux peu scrupuleux de « surfer » sur la vague du développement durable pour vendre aux clients des solutions non adaptées à leurs besoins et d'un coût annuel d'exploitation et de maintenance prohibitif. N'oublions pas qu'un client déçu par les LED est un client qui n'en installera plus jamais, ce qui sera très pénalisant dans 5 ou 10 ans lorsque ce produit sera mature.

Nous allons tenter de rétablir quelques vérités.

Flux lumineux et efficacité lumineuse des LED

Le flux et l'efficacité lumineuse des LED dépendent de plusieurs facteurs :

1. Le lot de fabrication

Exemple pour les teintes froides :

- 5 % de la production à 100 lm mini soit 83,3 lm/W
- 15 % de la production à 90 lm mini soit 75 lm/W
- 40 % de la production à 80 lm mini soit 66,7 lm/W

L'achat des LED selon un lot particulier est possible, mais avec un surcoût (suivant un tri sélectif appelé « binning »).

2. La température de couleur

Le flux lumineux dépend de la température de couleur elle-même fonction du taux de phosphore

- Teintes froides : F_{max}
- Teintes neutres environ - 7 % de F_{max}
- Teintes chaudes environ - 35 % de F_{max}

3. La température de jonction

Exemple pour une teinte froide

- 100 lm mini pour $T_j = 25^\circ\text{C}$
- Chute de 8 % pour une $T_j = 60^\circ\text{C}$
- Chute de 16 % pour une $T_j = 100^\circ\text{C}$

Conclusion : pour l'éclairage extérieur, on peut retenir les conditions de fonctionnement suivantes :

- $T_j = 80^\circ\text{C}$ pour des conditions économiques, les luminaires doivent rester dans des dimensions et des coûts raisonnables - soit une chute de flux moyenne de 10 %
 - Utilisation des lots à 90 lm mini soit une valeur moyenne de flux de 95 lm
 - Fonctionnement aux conditions nominales de courant, soit 350 mA
- Nous utiliserons donc les valeurs suivantes :
- LED froide. Flux à la mise en service $95\text{ lm} \times 0,9 = 85,5\text{ lm}$, soit $71,3\text{ lm/W}$

- LED neutre. Flux à la mise en service $88,4\text{ lm} \times 0,9 = 79,6\text{ lm}$, soit $66,3\text{ lm/W}$
- LED chaude. Flux à la mise en service $61,75\text{ lm} \times 0,9 = 55,6\text{ lm}$, soit $46,3\text{ lm/W}$

Pertes de flux dues aux collimateurs

Les LED utilisées « brutes » ont une ouverture de faisceau de 140° . Dans la majeure partie des utilisations en éclairage extérieur (sauf balisage) on doit donc utiliser des collimateurs pour obtenir un faisceau de 10° , 30° ou 60° afin d'obtenir une photométrie adaptée au profil d'implantation sur une voie de circulation. On peut estimer que la perte de flux moyenne due à la présence de collimateurs est de 15 % à 20 %.

Conclusion : nous pouvons retenir une perte de flux due aux collimateurs de 17,5 %.

Durée de vie des LED

La durée de vie des LED dépend :

1. de la température de jonction T_j
2. des couleurs LED
 - Groupe 1 : LED blanche, bleue, verte
 - Groupe 2 : LED rouge et ambre
3. des hypothèses de calcul retenues

Taux de mortalité retenu : exemple 20 %

Chute de flux retenue : exemple 30 %

Dans cette hypothèse la durée de vie se lit sur la courbe B20L70, soit 60 000 heures pour les LED Groupe 1.

Tableau 1. Comparatif économique (éclairage d'une voie de largeur 5 m ; mâts de hauteur 5 m ; éclairage demandé : 15 lux dépréciés)

Sources	Puissance lampe	Puissance Appareillage	Puissance totale	Espacement maximal	Nombre luminaire par km	Puissance installée par km	Prix kW/h	Coût consommation annuelle	Prix lampe	Coût Main d'œuvre (remplac. syst.)
Unités	W	W	W	m		kW/km	€	€	€	€
SHP	70	12,3	82,3	23,6	42,4	3,49	0,10	1 394,92 €	13,75 €	21,00 €
HIT	70	12,3	82,3	19	52,6	4,33	0,10	1 732,63 €	36,90 €	21,00 €
COSMOPOLIS	60	6	66	21,2	47,2	3,11	0,10	1 245,28 €	54,90 €	21,00 €
→ LED SOLUTION 1 CU = 0,36										
LED froide 1	144	27,6	171,6	16	62,5	10,73	0,10	4 290,00 €	370,00 €	63,00 €
LED neutre 1	144	27,6	171,6	14,9	67,1	11,52	0,10	4 606,71 €	370,00 €	63,00 €
LED chaude 1	144	27,6	171,6	10,4	96,2	16,50	0,10	6 600,00 €	370,00 €	63,00 €
→ LED SOLUTION 2 CU = 0,50										
LED froide 2	144	27,6	171,6	22,3	44,8	7,70	0,10	3 078,03 €	370,00 €	63,00 €
LED neutre 2	144	27,6	171,6	20,7	48,3	8,29	0,10	3 315,94 €	370,00 €	63,00 €
LED chaude 2	144	27,6	171,6	14,4	69,4	11,92	0,10	4 766,67 €	370,00 €	63,00 €

NB : Flux LED. Impossible de remplacer les LED séparément. Il faut remplacer l'ensemble du bloc optique.

NB : Coût maintenance. Prix lampe et coût main d'œuvre selon série de prix d'un syndicat d'électrification.

Tableau 2. Comparatif photométrique selon EN 13 201 (éclairage d'une voie de largeur 5 m - Mâts de hauteur 5 m - Éclairage demandé : 10 lux dépréciés)

Sources	Puissance lampe	Flux lumineux	lm/W	Durée de vie utile	Chute flux lampe	Chute flux luminaire IP65	Facteur de dépréciation globale	Éclairage déprécié	Éclairage mise en service EN 13201	Coefficient d'utilisation	Espacement Nécessaire
Unités	W	lm		h	K	K	K	Lux	Lux	K	m
SHP	70	6600	94	12000	0,86	0,82	0,7052	10	14,2	0,36	23,6
HIT	70	6300	90	8000	0,72	0,90	0,648	10	15,4	0,36	19,0
COSMOPOLIS	60	6850	114	12000	0,80	0,82	0,656	10	15,2	0,36	21,2
→ LED SOLUTION 1 CU = 0,36											
LED froide 1	144	9374	65,1	36000	0,75	0,65	0,4875	10	20,5	0,36	16,0
LED neutre 1	144	8712	60,5	36000	0,75	0,65	0,4875	10	20,5	0,36	14,9
LED chaude 1	144	6077	42,2	36000	0,75	0,65	0,4875	10	20,5	0,36	10,4
→ LED SOLUTION 2 CU = 0,50											
LED froide 2	144	9374	65,1	36000	0,75	0,65	0,4875	10	20,5	0,5	22,3
LED neutre 2	144	8712	60,5	36000	0,75	0,65	0,4875	10	20,5	0,5	20,7
LED chaude 2	144	6077	42,2	36000	0,75	0,65	0,4875	10	20,5	0,5	14,4

NB : Flux LED. 144 W de LED = 40 LED de 3,6 W

ColdFlux 71,3 lm/W. Absorption collimateurs = 17,5 % - 50 % de LED avec collimateur flux moyen = 65,1 lm/W

NeutralFlux 66,3 lm/W. Absorption collimateurs = 17,5 % - 50 % de LED avec collimateur flux moyen = 60,5 lm/W

WarmFlux 46,3 lm/W. Absorption collimateurs = 17,5 % - 50 % de LED avec collimateur flux moyen = 42,2 lm/W

Conclusion : en éclairage extérieur, compte tenu des garanties à apporter aux clients et des conditions de fonctionnement quelquefois difficiles (variations de température, humidité, vibrations etc.) et bien que « théoriquement » ces éléments n'affectent pas la durée de vie des LED, nous ne pouvons raisonnablement pas garantir une durée de vie de 60 000 heures. On peut retenir comme durée de vie utile garantie :

- Luminaires routiers, décoratifs ou projecteurs : 35 000 heures ;
- Luminaires encastrés de sol : 25 000 heures.

Chute de flux des LED

La chute de flux des LED est estimée à partir de tests et de calculs en laboratoires établis sur une durée de 8 000 heures. Cette chute de flux dépend des conditions de fonctionnement : courant de fonctionnement et température de jonction Tj. On peut estimer qu'à 35 000 heures la chute de flux est d'environ :

- 20 % avec une Tj = 55 °C ;
- 25 % avec une Tj = 85 °C ;

Prix lampe + main d'œuvre	Coût maintenance sur 36 000 h	Coût maintenance annuelle sur 4 000 h	Coût d'exploitation annuelle sur 4 000 h	Écart
€	€	€	€	%
34,75 €	104,25 €	17,38 €	1 412,29 €	10 %
57,90 €	260,55 €	43,43 €	1 776,06 €	38 %
75,90 €	227,70 €	37,95 €	1 283,23 €	Base
433,00 €	433,00 €	72,17 €	4 362,17 €	240 %
433,00 €	433,00 €	72,17 €	4 678,88 €	265 %
433,00 €	433,00 €	72,17 €	6 672,17 €	420 %
433,00 €	433,00 €	72,17 €	3 150,19 €	145%
433,00 €	433,00 €	72,17 €	3 388,11 €	164%
433,00 €	433,00 €	72,17 €	4 838,83 €	277%



Une des plus spectaculaires applications de l'éclairage par LED : la mise en lumière du patrimoine.

PHOTO DR

– 30 % avec une $T_j = 100\text{ °C}$.
Elle est identique quelle que soit la couleur des LED.

Conclusion : en éclairage extérieur, compte tenu des garanties à apporter aux clients (mesures d'éclairage contractuelles), on retiendra comme chute de flux réelle :

- 15 % à 25 000 heures ;
- 25 % à 35 000 heures.

Température de couleur

Les LED ne sont pas des lampes mais des composants électroniques. La température de couleur proximale T_{cp} des LED est répartie en trois familles :

1. Les LED froides :
 - plage de 4 500 K à 10 000 K ;
 - moyenne à 5 500 K.
2. Les LED neutres :
 - plage de 3 500 K à 4 500 K ;
 - moyenne à 4 100 K.
3. Les LED chaudes :
 - plage de 2 670 K à 3 500 K ;
 - moyenne à 3 200 K.

La fabrication est répartie en lots, ou « bins », qui ont une plage de variation de + ou – 150 K. L'achat des LED selon un « bin » particulier est possible, mais avec un surcoût et après validation du fournisseur. La différence de couleur d'un lot à l'autre est perceptible par l'œil humain. Elle peut être atténuée par l'utilisation d'une optique appropriée.

À partir de ces valeurs moyennes, dont nous garantissons la livraison dans des conditions économiques acceptables, nous pouvons établir une étude comparative fondée sur une installation type d'éclairage public (voie de 5 m éclairée à 5 m par des luminaires 70 W SHP/IM, 60 W Cosmopolis et LED 144 W). Le projet d'éclairage répond aux exigences de la norme EN 13 201.

Nous démontrons sur le *tableau 2* que pour un éclairage déprécié demandé à 10 lux nous devons prévoir, compte tenu des chutes de flux dues à la source et à l'encrassement des luminaires, un éclairage à la mise en service de :

- 14,2 lux pour des lampes sodium HP ;
- 15,4 lux pour les lampes iodures métalliques ;
- 15,2 lux pour les lampes Cosmopolis ;
- 20,5 lux pour les LED.

Nous calculons ensuite les espacements requis pour obtenir ces résultats avec les différentes sources, en considérant chacune des températures de couleur pour les LED et, afin d'être totalement impartial, les valeurs de facteurs d'utilisation suivantes (*tableau 2*) :

- 0,36 – pour une optique d'éclairage public pour lampes tubulaires claires standard ;
- 0,50 (valeur maximale obtenue pour des luminaires équipés de LED avec collimateurs avec un strict éclairage sur la chaussée et pratiquement rien sur les abords).

Les résultats se passent de commentaires, l'espacement entre foyers est de :

- 23,6 m pour le SHP 70 W ;
- 19 m pour les iodures métalliques 70 W à brûleur céramique ;

- 21,2 m pour les Cosmopolis 60 W ;
- 10,4 à 22,3 m pour les LED 144 W selon la teinte et le coefficient d'utilisation.

Un calcul économique de coût de maintenance et de coût de consommation conduit à un bilan économique très défavorable pour les luminaires à LED qui consomment entre 2,5 à 5,3 fois plus que la meilleure des solutions utilisant des lampes à décharge.

Il serait erroné de penser que cette augmentation de consommation est compensée par l'économie résultant d'une meilleure maintenance et d'une durée de vie plus élevée des LED. En effet, après 36 000 heures (soit 9 ans de fonctionnement) il faut changer tout le bloc à LED, voire tout le luminaire, ce qui représente un coût considérable. Rappelons que la durée de vie d'un luminaire est de 25 à 30 ans. Le bilan de consommation et de maintenance sur la durée de vie globale de l'installation est de 2,5 à 5,2 fois plus onéreux en LED.

Notre propos n'est pas de rejeter la LED en tant que telle. De nombreuses applications sont d'ores et déjà parfaitement au point et ont démontré leur efficacité telles que le balisage, l'animation lumineuse, la mise en valeur de bâtiments ou de végétaux, l'éclairage intérieur, la muséographie, les enseignes lumineuses, les décorations de Noël, les feux de signalisation routière, etc.

D'autre part, la technologie de fabrication de LED est en perpétuelle évolution avec de nouveaux produits chaque année. Soyons donc attentifs aux évolutions techniques rapides des LED (une nouvelle génération tous les 18 mois) et aux garanties que pourront offrir les fabricants.

À ce jour, et au moins pour les 5 ans à venir, la LED n'a strictement aucun intérêt en éclairage public et rien ne peut remplacer les lampes à décharge utilisées dans les meilleures optiques, le tout étant logé dans un luminaire au moins IP 65 avec un ULOR parfaitement maîtrisé.

Rappelons enfin que 50 % du potentiel d'économie d'énergie pour les installations d'éclairage public réside dans la qualité de l'étude qui doit être le préalable de toute installation. ■

NB : Chiffres de performance LED communiqués par LUMILED



L'éclairage de vitrines :
un autre domaine où les LED sont parfaitement adaptées.

PHOTO DR