

**Avant son entrée en vigueur au 1^{er} janvier 2020,
l'AFE expertise l'arrêté ministériel du 27 décembre 2018 relatif à
la prévention, à la réduction et à la limitation des nuisances
lumineuses.**

Analyse réalisée par Christian Remande, avec la collaboration de Roger Couillet, Patrick Duguet, Philippe Gandon-Léger, Gilles Pierret et Alain Trémeau, experts AFE

Parmi les 9 articles de l'arrêté, l'AFE souhaite en priorité donner son avis d'expert sur l'article 3 qui impose des valeurs maximales aux caractéristiques photométriques, impliquant successivement :

1. La proportion de flux lumineux sortant du luminaire dirigé vers l'hémisphère supérieur du luminaire (ULR).
2. La proportion de flux sortant du luminaire dirigé vers l'hémisphère inférieur du luminaire et contenu dans un cône de $2 \times 75^\circ 5'$ (Code Flux CIE n°3).
3. La température de couleur des sources en Kelvin
4. La quantité de flux sortant des sources LED par unité de surface devant être éclairée et exprimée en lumens par mètre carré (lm.m^{-2})

Les valeurs photométriques maximales imposées par l'arrêté, ne se réfèrent à aucune des performances photométriques normatives en éclairage extérieur [qu'elles soient internationales (CIE), européennes (CEN), ou françaises (AFNOR)]. Les exigences de l'arrêté sont dans de nombreux cas, en contradiction avec les performances normatives. Cela concerne les valeurs d'éclairement ou de luminance minimales, moyennes à maintenir, les uniformités, l'indice TI^1 d'éblouissement, le REI^2 d'éclairage des abords, la classification des voies de circulation du document FD cen/tr 13201-01 de 2015 et les performances photométriques correspondantes, exprimées dans la norme NF EN 13201-2 (révisée en 2016).

Un texte d'application de l'arrêté devrait permettre aux maîtres d'ouvrage :

- De respecter simultanément les caractéristiques normatives de chaque situation d'éclairage étudiée
- De réduire drastiquement les nuisances lumineuses dues à l'éclairage public dans l'esprit des objectifs de l'arrêté.

L'AFE analyse et propose ici des solutions en ce sens.

¹ Indice qui caractérise l'éblouissement d'incapacité. Il traduit l'augmentation du contraste de seuil de visibilité qu'il est nécessaire d'établir pour rétablir la visibilité (Recommandations AFE 2002)

² Rapport d'éclairement des abords routiers. C'est le rapport entre l'éclairement moyen de la bande de chaussée à celui de la bande hors chaussée mitoyenne de la première (NF EN 13201)
Expertise AFE sur l'arrêté relatif à la réduction des nuisances lumineuses – Oct. 2019 – www.afe-eclairage.fr

1. PROPORTION DU FLUX SORTANT DES LUMINAIRES QUI EST DIRECTEMENT DIRIGÉ AU-DESSUS DU PLAN HORIZONTAL PASSANT PAR LES LUMINAIRES.

Cette proportion est appelée ULR (*Upward Light Ratio*)

Le parc d'éclairage public d'espaces circulés est constitué principalement de deux types de luminaires répondant à des fonctions différentes :

- Les luminaires dits « fonctionnels », de hauteur de feu de 7 à 15 m, chargés d'éclairer uniformément les surfaces circulées (éclairage et luminance. Horizontal au sol) pour assurer la sécurité des déplacements.



© Comatelec Schröder

- Les luminaires dits « d'ambiance », de hauteur de feu de 3,5 m à 6 m, chargés d'éclairer le sol à un moindre niveau d'éclairage et d'uniformité mais aussi les surfaces verticales proches pour permettre la reconnaissance des visages, du mobilier urbain et de l'environnement voisin. Ils sont conçus pour créer un vélum lumineux de hauteur satisfaisante pour mettre en valeur l'environnement urbain piétonnier de plus en plus prioritaire et contribuer à l'attractivité urbaine des lieux où ils sont implantés.



© GHM Eclatec

2. LE CODE FLUX

Le Code Flux CIE n°3 est une caractéristique du luminaire et en aucun cas une performance de l'installation.

Les luminaires fonctionnels, de conception nouvelle, équipés de sources LED, ne posent aucun problème pour garantir un ULR < 1 % en sortie de fabrication, dans des conditions d'installation précises et ULR < 4 % lorsqu'ils sont installés sur des supports dont les crosses sont inclinées. A terme, tous les luminaires fonctionnels devraient garantir ULR < 1 %, le flux dirigé vers le ciel étant du flux perdu.

Il est tout à fait possible aujourd'hui de limiter l'ULR des luminaires LED d'ambiance à 4 % lorsqu'ils sont installés, ces 4 % étant nécessaires en centre-ville pour réaliser le volume de lumière recherché pour la qualité de perception de l'environnement par les piétons. Mais ces 4 % installés sont aussi 4 % sortie d'usine, ces luminaires, installés sur mâts droits, ne pouvant pas être inclinés. Cela concerne particulièrement les luminaires d'ambiance dit de « style », largement utilisés en cœur de ville, dont la forme et le design sont imposés par les services d'architecture des bâtiments de France depuis des décennies.

En rénovation partielle d'installation existante, le seul changement de luminaire ne garantit pas systématiquement les résultats photométriques imposés, sans étude préalable. De même, le changement d'inclinaison des supports pour des luminaires existants, conduira généralement à des performances photométriques inacceptables et difficilement modifiables.

Dans la majorité des cas, les lampes LED de substitution remplaçant les lampes à décharge dans les luminaires anciens, ne rempliront aucune des conditions de l'arrêté.

Dans ces conditions et pour les nouvelles installations en luminaires sources LED, l'AFE propose d'exiger, pour les luminaires installés :

- Un ULR < 1 % pour les luminaires fonctionnels
 - Un ULR < 4 % pour les luminaires d'ambiance,
- sans exigence en sortie de fabrication pour l'un ou l'autre type de luminaires.

Reste le cas des projecteurs d'illumination, des encastré de sol, des bornes basses pour lesquels le texte d'application de l'arrêté doit prévoir des caractéristiques particulières à définir qui sortent du champ des règles imposées aux luminaires fonctionnels et d'ambiance. Les bornes lumineuses de hauteur inférieure à 1,20 m rentrent dans ces cas particuliers.

L'arrêté exige que le flux sortant des luminaires d'éclairage public réponde aux impositions du Code Flux CIE n°3, telles qu'elles sont décrites dans la publication CIE 040-1978 consacrée aux calculs photométriques d'éclairage intérieur.

Ce Code représente la proportion de flux lumineux émis dans l'hémisphère inférieur du luminaire, dans un angle solide de $3\pi/2$ (équivalent à un cône d'axe vertical de demi angle $75,5^\circ$) par rapport au flux lumineux total sortant dans l'hémisphère inférieur.

Cette proportion doit être supérieure à 95 % à la fois en agglomération et hors agglomération...

Le Code Flux est repris dans la norme NF EN 13032-2 sur les données photométriques des luminaires d'éclairage intérieur, mais il n'est pas évoqué dans la norme NF EN 13032-5 sur les luminaires d'éclairage extérieur.

Appliqué à l'éclairage public, le Code Flux CIE n°3 peut présenter plus d'inconvénients que d'avantages, à la fois en éclairage fonctionnel et en éclairage d'ambiance.

- En éclairage fonctionnel :

Là où il faut garantir des uniformités longitudinales d'aspect des voies circulées et des espacements maximums entre supports (pour des questions de perception visuelle des obstacles), le respect du Code Flux CIE n°3 peut être incompatible avec certains revêtements routiers plus ou moins spéculaires, qui exigent des répartitions spécifiques des faisceaux de lumière différentes de celles du Code Flux CIE n°3, particulièrement dans les plans $10^\circ/170^\circ$ - $20^\circ/160^\circ$ - $30^\circ/150^\circ$ de répartition des intensités lumineuses.

- En éclairage d'ambiance :

Là où il faut garantir des éclairagements verticaux permettant la reconnaissance des visages à des distances suffisantes et la perception de l'environnement, c'est particulièrement entre $75,5^\circ$ et 90° qu'il faut aussi éclairer, et assurer un ULR de l'ordre de 2 à 4 % sans rupture de faisceaux lumineux. Si 95 % de 96 % de flux sortant vers le bas sont contenus dans $75,5^\circ$, il ne reste au mieux que 4 % du flux sortant entre 75° et 90° .

La fonction ambiance de l'éclairage s'en trouve sérieusement contrariée, particulièrement en centre-ville historique.

Quant à la réduction des lumières intrusives dans les locaux privés, le Code Flux CIE n°3 n'est pas non plus d'une efficacité satisfaisante. En effet, c'est dans le sens longitudinal des voies circulées que le code flux limite l'angle et la puissance de lumière sortante du luminaire, sens dans lequel il n'y a pas de locaux d'habitation. En éclairage public, la lumière intrusive ne peut être que dans le sens transversal à la voie et dans ce sens le faisceau lumineux n'est pas concerné par le Code Flux CIE n°3 puisque le faisceau de lumière est au maximum incliné de 40° à 50° par rapport à la verticale passant par le luminaire. La faible hauteur de feu des luminaires d'ambiance ne peut concerner que le rez-de-chaussée des habitations, en général toutes protégées par des volets ou des rideaux pour d'autres raisons.

Citer la lumière intrusive dans l'arrêté, sans pouvoir l'évaluer correctement, c'est aller au-devant de contentieux inutiles.

La maîtrise des valeurs basses ou nulles de l'ULR est suffisante pour limiter les éblouissements dans le sens longitudinal des voies circulées. Le contrôle du TI normatif à des valeurs maximales complète cette limitation. L'AFE considère que la notion de code flux justifiée en éclairage intérieur ne doit pas être étendue à l'éclairage public où elle peut éventuellement avoir des effets négatifs, contraires aux attendus.

Toutefois, dans les espaces particuliers des réserves naturelles des sites d'observations, là où la priorité est à la suppression extrême des nuisances lumineuses, même aux dépens de la qualité de l'éclairage, les mesures proposées dans l'arrêté ont du sens mais les décideurs doivent être conscients de leurs responsabilités vis-à-vis de la sécurité des habitants et des circulations nocturnes courantes ou exceptionnelles.

3. LA TEMPERATURE DE COULEUR DES SOURCES DE LUMIERE

(Limitée à 3 000 K en et hors agglomération en éclairage public, pour les parcs de stationnement, les bâtiments non résidentiels).

La réduction significative de la composante bleue dans le spectre est à l'origine de cette obligation de limiter la température de couleur à 3 000 K.

L'AFE est favorable à cette prescription, même si elle précise que cette limitation conduit à une efficacité énergétique inférieure de 8 % à celles procurée par des sources de 4 000 K.

Quant aux températures de couleur de 2 700 K et 2 400 K imposées dans les réserves naturelles, les cœurs des parcs nationaux hors agglomération, l'AFE aurait préféré qu'elles soient conseillées plutôt qu'imposées et laissées aux responsables locaux le soin de les prescrire en fonction de la nature des espèces à protéger.

A noter que le marché actuel a standardisé les températures de couleur de 2 200 K, sans prendre en compte 2 400 K.

Il faut noter que les parcs et jardins publics et privés non situés dans le périmètre des sites d'observation, des

réerves naturelles, des sites protégés (c'est-à-dire en agglomération) ne font l'objet d'aucune contrainte de température de couleur ni de valeur de ULR.

Pour l'AFE, la mesure sur site de la température de couleur doit être considérée avec une tolérance de 10 % sur les valeurs mesurées en laboratoire.

4. DENSITE SURFACIQUE DE FLUX LUMINEUX INSTALLE

(Total des flux des sources rapporté à la surface destinée à être éclairée et exprimé en lumens par mètre carré ($lm.m^{-2}$)).

Pour les installations d'éclairage extérieur entrant dans les catégories a, b, d, e, de l'article premier³, l'arrêté impose que la densité surfacique soit inférieure aux valeurs mentionnées dans le tableau repris ci-dessous, par type d'installation, en et hors agglomération.

En lm/m^2	En agglomération	Hors agglomération
Eclairages extérieurs définis au a	< 35	< 25
Parcs et jardins définis au b	< 25	< 10
Bâtiments non résidentiels définis au d	< 25	< 20
Parcs de stationnement définis au e	< 25	< 20

Sans précisions supplémentaires et justification de la pertinence de ces exigences, il y a tout lieu de penser que cette prescription sera difficilement applicable dans de nombreux cas, car en contradiction avec la norme européenne de performances photométriques. Elle risque également d'être dangereuse lorsque son unique application respectée débouchera sur une réalisation ne répondant pas aux légitimes exigences photométriques normatives de visibilité.

De quel flux lumineux en lumens devrait-on parler ?

1) Du flux source ?

Certainement pas.

Un module LED émet un flux différent lorsqu'il est mesuré hors luminaire, ou intégré au luminaire choisi (chaque modèle de luminaire générant un flux source pouvant être différent).

Il n'existe pas de module LED standardisé. Chaque constructeur définit ses propres circuits imprimés lors

de sa recherche de performances prioritaires (sécurité particulière, rendement lumineux, durée de vie, conditions thermiques, positionnement)

Le flux final d'un module LED est le résultat des phases successives de construction de ce module : choix de la puce – implantation PCB – sélection lentilles – drivers – courant LED nominal choisi – rendement du luminaire – température ambiante de la LED. C'est pourquoi, seul le flux sortant du luminaire, au régime de courant nominal choisi par le constructeur, a une signification. Dans tous les cas, ce n'est pas le potentiel maximum de flux que le driver permettrait d'obtenir qui est utilisé mais une valeur de flux pouvant être 4 à 5 fois plus faible réglée en usine et spécifique à chaque projet.

Cette valeur est nécessaire et suffisante pour garantir les performances lumineuses contractuelles demandées.

A titre de comparaison, ce n'est pas parce qu'une route prescrit une limitation de vitesse à 70 km/h que les voitures, pourtant fabriquées pour aller beaucoup plus vite, ne peuvent pas l'emprunter en respectant cette limitation !

2) Du flux sortant du luminaire ?

Oui, si cela sert à estimer le rendement lumineux de l'ensemble luminaire/source. Mais ce n'est pas suffisant si cela est destiné à minimiser les nuisances lumineuses.

3) Du flux utile ? (U)

Oui. Il s'agit de la proportion de flux sortant du luminaire qui atteint la surface à éclairer pour y produire un éclairage moyen minimum maintenu exprimé en lux.

C'est cette proportion au flux sortant (appelée utilance U) qui représente un paramètre déterminant dont la

³ Le présent arrêté s'applique aux installations d'éclairage :

a) Extérieur destiné à favoriser la sécurité des déplacements, des personnes et des biens et le confort des usagers sur l'espace public ou privé, en particulier la voirie, à l'exclusion des dispositifs d'éclairage et de signalisation des véhicules, de l'éclairage des tunnels, aux installations d'éclairage établies pour assurer la sécurité aéronautique, la sécurité ferroviaire et la sécurité maritime et la sécurité fluviale ;

b) De mise en lumière du patrimoine, tel que défini à l'article L. 1 du code du patrimoine, du cadre bâti, ainsi que

des parcs et jardins privés et publics accessibles au public ou appartenant à des entreprises, des bailleurs sociaux ou des copropriétés

d) Des bâtiments non résidentiels, recouvrant à la fois l'illumination des bâtiments et l'éclairage intérieur émis vers l'extérieur de ces mêmes bâtiments, à l'exclusion des gares de péage ;

e) Des parcs de stationnements non couverts ou semi-couverts ;

valeur est proportionnelle au niveau d'efficacité énergétique et lumineuse de l'installation et par conséquent au niveau de nuisances éventuelles de l'installation (guide Eclairage public AFE 2017).

Moins l'installation produit de flux pour respecter les éclairagements moyens minimum à maintenir normatifs, moins elle est source de nuisances lumineuses.

Quelle surface doit être prise en compte ?

Dans sa définition de densité surfacique de flux, l'arrêté précise que, dans le rapport lm.m^{-2} , les mètres carrés représentent la surface qui doit être éclairée.

Cette définition (qui convient à l'éclairage intérieur d'une surface unique devant être éclairée à un niveau d'éclairage moyen en lux), n'est pas applicable à l'éclairage public extérieur, lequel est généralement constitué :

- D'une surface routière S_1 devant recevoir un éclairage moyen minimum E_1 (lux)
- De surfaces S_2 et S_3 de 2 trottoirs devant recevoir un éclairage moyen minimum E_2 et E_3
- D'une possible voie latérale S_4 devant recevoir un éclairage moyen minimum E_4

(Voir schéma en p. 9)

Chaque surface doit recevoir une quantité de flux utile différente, permettant d'obtenir les différents éclairagements (E) exigés.

C'est la raison pour laquelle, à chaque distribution spécifique de flux lumineux d'un luminaire est associé, dirons-nous, la « carte d'identité du luminaire » garantie par son constructeur, permettant de calculer la proportion de flux sortant du luminaire qui atteint chaque surface particulière du projet concerné (chaussée, trottoirs, voie latérale, ...).

Cela est possible grâce à une représentation graphique normalisée du facteur d'utilance en fonction du rapport « largeur à éclairer sur hauteur de feu ».

En ne prenant pas en compte cette méthodologie incontournable, les valeurs maximales de lm.m^{-2} imposées par l'arrêté, n'ont aucune signification si elles ne sont pas associées au niveau d'éclairage moyen exigé par le cahier des charges.

D'autre part, dans les installations (b) et (d) de mise en lumière du patrimoine, quelles surfaces verticales, horizontales ou inclinées doit-on prendre en compte, totales ou partielles, dans le calcul de la densité surfacique ?

Facteur de maintenance M_f

L'arrêté ne prend pas en compte le facteur de maintenance propre à chaque installation ; lequel permet de garantir le niveau d'éclairage moyen minimum tout au long de la durée de vie de l'installation. Sa valeur est imposée dans tous les cahiers des charges en éclairage public, moyennant le respect d'une fréquence d'entretien déterminée, spécifique à chaque installation.

Le facteur de maintenance est inversement proportionnel au flux lumineux à générer et à l'énergie consommée. Il est le garant de la qualité du luminaire (étanchéité IPxx, tenue à la corrosion, résistance mécanique).

Son exigence élevée garantit la qualité de l'installation.

Quel que soit l'origine des lumens (sortant du luminaire ou utiles), leur quantité n'a de sens que si elle est associée à une valeur d'éclairage moyen minimum à maintenir, propre à chaque surface à éclairer.

Par définition, l'éclairage moyen exprimé en lux, d'une surface de 1 m^2 est le nombre de lumens reçus par cette surface.

Exemple d'incompatibilité partielle entre les valeurs d'éclairagements prescrites par la norme NF EN 13201-2 Classes C et les limites de densité surfaciques de l'arrêté

Connaissant :

- La proportion de flux sortant qui atteint une surface S considérée (utilance U)
- Le facteur de maintenance (M_f) de l'installation.

On peut écrire la relation suivante :

$$\text{Flux sortant du luminaire en lumens} = \frac{\bar{E} \times S}{U \times M_f}$$

\bar{E} étant l'éclairage moyen minimum à maintenir, en lux (lx).

S étant la surface à éclairer en mètre carré (m^2)

D'où l'expression de la densité surfacique en lumen par m^2 (lm.m^{-2}) :

$$\text{Densité surfacique} = \frac{\text{Flux sortant}}{S} = \frac{\bar{E}}{U \times M_f} \text{ (lm.m}^{-2}\text{)}$$

En considérant les valeurs courantes minimales et maximales du facteur U ainsi qu'une valeur intermédiaire

[0,41 ; 0,52 ; 0,64] et un facteur de maintenance M_f de 0,8 (moyenne entre vasque verre ou plastique – IP66 – Maintenance 4 ans), il est intéressant de comparer les densités surfaciques minimales obtenues : lorsque l'on réalise sur une surface les éclairagements minimums moyens

à maintenir proposée pour chaque classe C de la norme européenne NF EN 13 201-2 sur les chaussées :

Tableau 1

Classes	Norme NF EN 13201-2 Eclairagements minimums maintenus	Densité surfacique $lm.m^{-2}$ minimale pour $M_f = 0,8$		
		U = 0,64	U = 0,52	U = 0,41
C ₀	50 lux	98	120	152
C ₁	30 lux	59	72	91
C ₂	20 lux	39	48	61
C ₃	15 lux	29	36	46
C ₄	10 lux	20	24	30
C ₅	7,5 lux	15	18	23

Nota. La densité surfacique calculée est celle de la surface qui garantit l'éclairagement moyen minimum à maintenir de la classe correspondante

Tableau 2

Classes C pouvant être conformes à l'arrêté		
Installations	En agglomération	Hors agglomération
(a)	$\times C_3$ C ₄ C ₅	$\times C_4$ C ₅
(b)	C ₄ C ₅	Aucune
(d)	C ₄ C ₅	$\times C_4$ C ₅
(e)	C ₄ C ₅	C ₄ C ₅

Nota. Les classes $\times C$ ne sont applicables qu'avec un facteur d'utilité maximum de 0,64, c'est-à-dire dans les cas d'implantations les plus favorables et les études les plus performantes.

Si l'on doit se référer aux flux source LED dans l'expression de la densité surfacique, comme l'arrêté l'exige, alors il faut prendre en compte le rendement du luminaire \mathfrak{R} à partir de la valeur du flux sortant (voir plus haut).

Le rendement \mathfrak{R} est fonction :

- De la température ambiante du luminaire
- Du facteur d'absorption de la vasque

- Du flux perdu à l'intérieur du luminaire.
 \mathfrak{R} est compris entre 70 et 90 %.

Si l'on retient $\mathfrak{R} = 80 \%$, $U_{max} = 0,64$ et $M_f = 0,8$, le tableau de la densité surfacique du flux lumineux installé donne les valeurs suivantes d'éclairagement moyen minimum à maintenir :

Tableau 3

En lm/m^2	En agglomération	Hors agglomération
Eclairages extérieurs définis au (a)	< 35 soit $\bar{E} < 15$ lux	< 25 soit $\bar{E} < 10$ lux
Parcs et jardins définis au (b)	< 25 soit $\bar{E} \leq 10$ lux	< 10 soit $\bar{E} < 5$ lux
Bâtiments non résidentiels définis au (d)	< 25 soit $\bar{E} \leq 10$ lux	< 20 soit $\bar{E} < 7,5$ lux
Parcs de stationnement définis au (e)	< 25 soit $\bar{E} < 10$ lux	< 20 soit $\bar{E} < 7,5$ lux

Seuls les éclairagements moyens minimum à maintenir (\bar{E}) exprimés en rouge dans le tableau sont alors compatibles avec les valeurs de densité surfacique imposées par

l'arrêté. Ce qui revient à ne garder que les classes C₄ et C₅ de la norme, à condition de ne considérer que les installations réalisées avec un facteur d'efficacité maximum, ce qui représente l'exception des cas à traiter.

CONSTAT :

1. Les valeurs de densité surfacique maximales imposées aux types d'installations a, b, d, e, de l'article 1 de l'arrêté ne peuvent être respectées que pour les classes C₄ et C₅ de la classification européenne des voies circulées décrites (norme NF EN 13 201-2).

En d'autres termes, les voies de classe C₀ C₁ C₂ C₃ équivalents aux caractéristiques en luminance des classes M₁ M₂ M₃ ne pourraient pas être éclairées conformément aux exigences de visibilité définies en fonction :

- De la vitesse des motorisés
- Des types d'usagers
- De la densité du trafic
- De l'ambiance lumineuse
- De la charge mentale des conducteurs (guide Eclairage public AFE 2015)

2. Il est difficile de comprendre comment les installations (b) de mise en lumière du patrimoine, du cadre bâti, des bâtiments non résidentiels (d) et de leur illumination peuvent répondre à des exigences de densité surfacique, peu en rapport avec la création artistique recherchée et spécifique à chaque projet en fonction de la nature des matériaux qui doivent accrocher la lumière et des contrastes à obtenir. La puissance lumineuse à mettre en œuvre est fonction de l'environnement lumineux existant et de la distance à laquelle l'illumination sera observée.

3. Le problème de l'arrêté et des PMR

L'arrêté du 20 juillet 2017 impose que les zones recevant des PMR soient éclairées à un niveau de 20 lux minimum.

L'arrêté sur les nuisances, lui, précise pour les PMR, un niveau de 20 lux maximum.

- D'une part, en pratique, il est impossible de garantir à 5 % près que l'on obtiendra rigoureusement 20 lux sur le terrain ;
- D'autre part, pour garantir 20 lux, il faut prendre en compte un facteur de maintenance à la mise en service (de l'ordre de 0,85 à préciser), ce qui conduit à installer 23,5 lux.

C'est-à-dire 23,5 lumens par m² de surface PMR, étant entendu que ces lumens reçus ne sont qu'une fraction des lumens sortant des luminaires qui participent à l'éclairage.

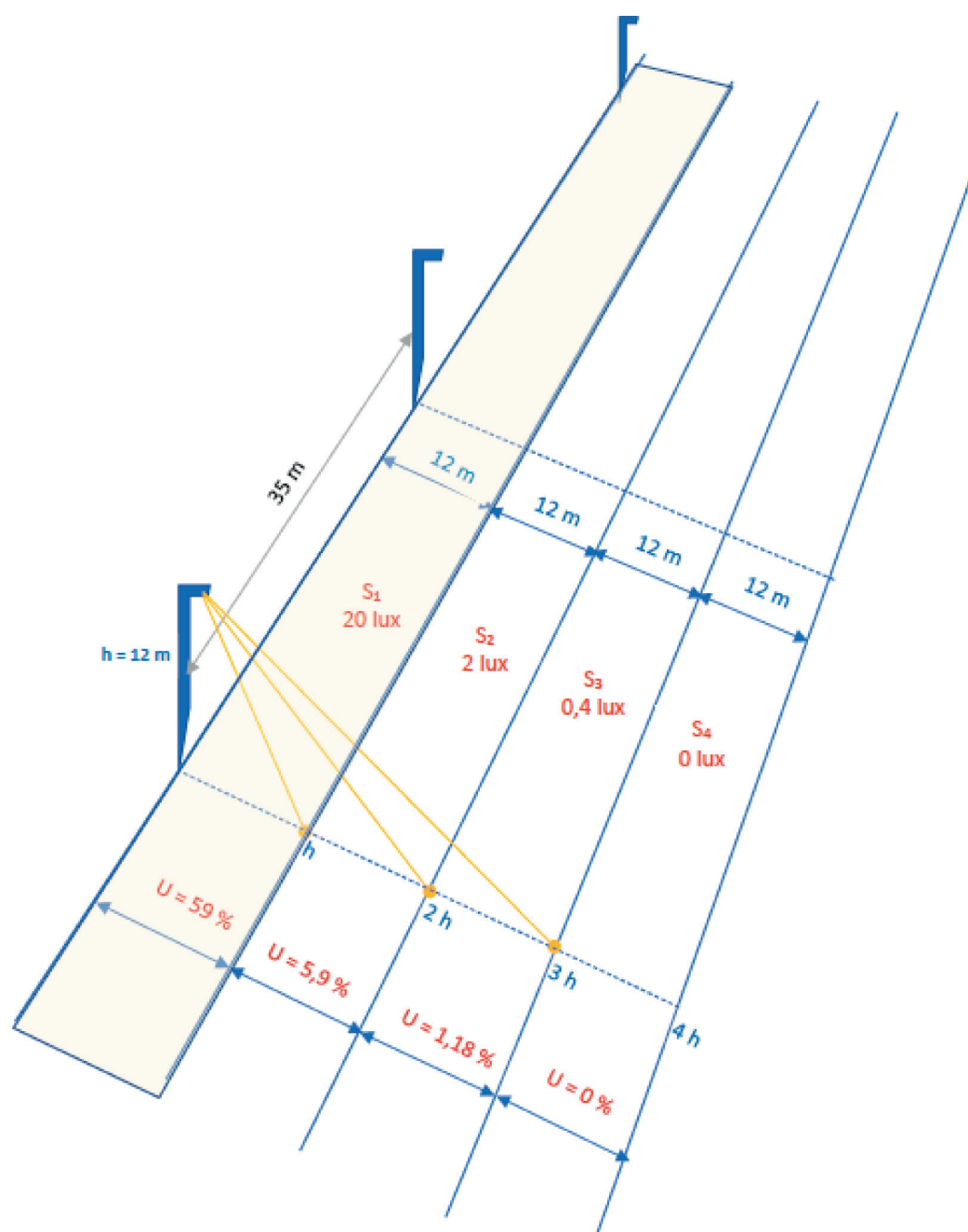
Comme vu précédemment, en prenant la valeur moyenne pour le facteur U de 0,52, on calcule aisément que pour garantir 20 lux moyens maintenus sur la zone PMR, il faut 23,5/0,52 soit 45,2 lm.m⁻² de flux sortant des luminaires ; valeur supérieure aux limites autorisées dans l'arrêté.

Sans parler des cheminements PMR dans les parkings, dont la densité surfacique serait limitée à 25 et 20 lm.m⁻².

Il faudrait également une installation spéciale PMR, en plus de l'installation existante pour les parkings. Cela est pratiquement impossible, étant donné le nombre de supports d'éclairage supplémentaires à implanter sans gêner la circulation.

2^{ème} exemple concernant la densité surfacique telle qu'elle est définie dans l'arrêté

Considérons une ligne de luminaires d'éclairage public constituée de mâts droits de 12 m, espacés de 35 m et éclairant uniquement devant elle des bandes parallèles au sol de 12 m de large (voir schéma).



La première bande S_1 représente une voie de circulation importante devant recevoir un éclairage moyen minimum maintenu de 20 lux.

Les luminaires d'éclairage public installés garantissent un ULR < 1 % et un pourcentage très élevé de flux sortant des luminaires atteignant la surface S_1 : 59 %, représentant 89 % de tout le flux sortant des luminaires vers les surfaces S_1, S_2, S_3, S_4 .

Propre au luminaire choisi, la courbe de proportion de flux sortant atteignant les différentes surfaces au sol (courbe d'utilance tracée en fonction du rapport largeur éclairée sur

hauteur de feu) permet de calculer les proportions de flux reçues par les surfaces S_1, S_2, S_3, S_4 qui sont respectivement de 59 % ; 5,9 % ; 1,18 % ; 0 %.

Pour garantir 20 lux moyens minimum maintenus avec un facteur de maintenance de 0,85, il faut obtenir un flux sortant par luminaire de

$$F_s = \frac{20 \times 12 \times 35}{0,59 \times 0,85} = 16\,750 \text{ lm}$$

C'est ce flux qui va générer des nuisances atmosphériques ici limitées aux flux réfléchis par les surfaces éclairées puisque ULR = 0.

Pour cette bande S₁, la densité surfacique de l'installation est de

$$\frac{16\,750}{12 \times 35} = 40 \text{ lm. m}^{-2}$$

Cette valeur est non conforme à l'arrêté en et hors agglomération.

Pourtant, si l'on considère qu'obligatoirement les bandes S₂ et S₃ reçoivent de la lumière,
 S₂ reçoit 2 lux moyen minimum
 Et S₃ reçoit 0,4 lux moyen minimum,

La densité surfacique S₁ + S₂ devient

$$\frac{16\,750}{24 \times 35} = 20 \text{ lm. m}^{-2}$$

Et la densité surfacique S₁ + S₂ + S₃

$$\frac{16\,750}{36 \times 35} = 10 \text{ lm. m}^{-2}$$

Dans les 3 cas, le niveau de nuisance est le même et sans rapport avec les densités surfaciques calculées ou imposées.

Cet exemple illustre le fait qu'une même voie de circulation éclairée à un niveau d'éclairage en lux bien défini aura, d'après l'arrêté, une densité surfacique variable en fonction de l'existence ou non de trottoirs et de leur largeur, ce qui montre l'inefficacité de ce critère de référence pour apprécier le niveau de nuisances.

C'est aussi insuffisant de ne considérer que les lumens sortants pour apprécier l'efficacité énergétique d'une installation, laquelle ne peut s'exprimer qu'en Watt par lux et par mètre carré.

En conséquence, l'AFE considère que la densité surfacique, telle qu'elle est exprimée dans l'arrêté, n'est qu'une statistique difficile à exploiter car elle ne prend pas en compte les performances photométriques exigées dans tous les cahiers des charges.

Dans l'équation représentative de la densité surfacique en $\text{lm.m}^{-2} \left[\frac{\bar{E} \times S}{U \times M_f} \right]$, on constate que celle-ci est proportionnelle au niveau d'éclairage moyen de la surface éclairée.

Il serait donc plus juste de parler de lumens par lux et par mètre carré éclairé ($\text{lm.lx}^{-1}.\text{m}^{-2}$) dont l'équation serait :

$$\text{lm.lx}^{-1}.\text{m}^{-2} = \frac{1}{M_f \times U}$$

Ainsi l'efficacité lumineuse d'une installation est inversement proportionnelle au produit du facteur de maintenance M_f par la proportion de flux sortant qui atteint la surface éclairée U (utilrance). Il en est de même de l'optimisation de la réduction des nuisances atmosphériques en y associant la réduction de l'ULR.

L'AFE propose de créer un indicateur simple de nuisances lumineuses atmosphériques dues à l'éclairage public

En considérant un facteur de maintenance correct de 0,8 et un facteur d'utilrance significatif rencontré dans les installations performantes entre 0,5 et 0,69 (selon les implantations), on pourrait garantir les efficacités lumineuses, énergétiques et la réduction des nuisances atmosphériques des installations d'éclairage public en imposant des valeurs de $\text{lm.lx}^{-1}.\text{m}^{-2}$ inférieures ou égales à 2,10 par exemple.

Ce n'est là qu'une approche de solution pour garantir simultanément efficacité lumineuse, énergétique et réduction des nuisances. Les caractéristiques croisées d'un nombre d'installations significatives permettraient d'affiner cette proposition.

M _f	U	lm.lx ⁻¹ .m ⁻²
0,8	0,50	2,5
0,8	0,55	2,27
0,8	0,60	2,08
0,8	0,65	1,92
0,8	0,70	1,86

Indicateur de Niveau de Nuisances Atmosphériques dû à l'éclairage public :

Après avoir proposé en 2006 une méthode de calcul de la quantité du flux lumineux maximum potentiellement rayonné vers le ciel pour chaque installation d'éclairage public, l'AFE propose aujourd'hui, suite à la demande en 2017, de Monsieur le Ministre d'Etat, Ministre de la transition écologique et solidaire, **un indicateur simple de niveau de nuisances atmosphériques lumineuses dues à l'éclairage public**, appelé NNA, qui s'obtient en calculant le rapport

$$NNA = \frac{\text{Flux maximum dirigé vers le ciel}}{\text{Flux minimum irréductible dirigé vers le ciel}}$$

pour chaque caractéristique d'installation en fonction de ULR et de la proportion de flux sortant qui atteint la surface à éclairer.

En limitant la densité surfacique a des valeurs maximales qui ne permettent pas de réaliser les éclairages moyens minimum à maintenir, reconnus aujourd'hui indispensables pour voir et être vu en toutes circonstances, l'arrêté priorise la réduction des nuisances lumineuses atmosphériques en éclairage public, aux dépens des conditions nécessaires de visibilité.

En agissant sur d'autres paramètres, on pourrait pourtant accéder de manière satisfaisante à des réductions équivalentes de nuisances lumineuses.

La réduction de l'ULR dans les limites proposées est excellente. Il suffit de lui associer la recherche de l'efficacité lumineuse et énergétique maximale pour réduire les nuisances à leur valeur minimale.

L'efficacité lumineuse optimisée s'obtient en recherchant le facteur d'utilance le plus élevé possible, ce qui fait appel au choix judicieux de la photométrie du luminaire utilisé et au facteur de maintenance le plus élevé possible.

Le produit de ces deux facteurs atteint aujourd'hui la valeur approximative de 0,58 en éclairage public fonctionnel avec des luminaires LED, alors qu'il n'est que de 0,28 environ dans de très nombreux luminaires à lampe encore en service.

En éclairage public, il est préférable de parler de niveau de luminance et d'uniformité de luminance pour caractériser la visibilité nécessaire et suffisante pour voir et être vu, c'est-à-dire en quantité de lumière que les surfaces éclairées renvoient dans les directions d'observation des usagers, ce qui fait appel aux facteurs de réflexion de ces surfaces.

Actuellement, le projet européen EMPIR et le groupe de travail « revêtements et lumière » (CEREMA) ont pour objectif de :

- Constituer une bibliothèque d'échantillons de revêtements utilisés en France pour enregistrer leurs indicateurs de réflexion.
- Développer un nouveau concept de mesure de luminances urbaines qui devrait conduire à une baisse des niveaux d'éclairages normalisés sans altérer la visibilité, d'où une optimisation nouvelle des niveaux de luminance et d'éclairage qui conduira systématiquement à une nouvelle réduction des nuisances lumineuses.

Il serait dommage que l'application obligatoire de l'arrêté, dans sa forme actuelle, rende dangereuses et contestables certaines nouvelles installations d'éclairage public, tout en justifiant l'arrêt des crédits engagés et devenus sans intérêt immédiat en raison des pouvoirs sélectifs de l'arrêté.

CONCERNANT LES AUTRES ARTICLES DE L'ARRETE :

Article 1 :

- Il faudrait préciser que l'éclairage public d'ambiance appartient aux installations de type (a)
- Il faudrait donner aux parcs et jardins des définitions complémentaires en dissociant les éclairages de mise en valeur des éclairages de sécurité (pour en tirer les conséquences sur les ULR, la température de couleur, les niveaux d'éclairement).
- Il faudrait aussi distinguer les parcs et jardins fermés la nuit mais devant être rallumés en fin de nuit pour l'entretien et la préparation à l'ouverture au public, des parcs et jardins ouverts de nuit, au même titre que les cheminements piétons avant et après les jardins.

Article 2 :

- Voir remarques précédentes pour l'allumage, l'extinction et le rallumage.
- Contrairement à l'affirmation de l'arrêté, article 2-VII, les dispositifs à détection de présence ne génèrent pas qu'un éclairage ponctuel, mais l'allumage temporaire ou l'augmentation de puissance d'une zone dont la

longueur est au moins égale à la distance de visibilité nécessaire aux déplacements concernés.

Article 4 :

L'AFE considère que les remarques éventuelles doivent provenir des usagers concernés.
A propos des obligations concernant l'éclairage des cours d'eau et rives de plan d'eau marin ou fluvial, il serait préférable de dire que l'éclairage intentionnel des cours et plans d'eau est interdit.

Article 5 :

Ce n'est pas la puissance en Watt des luminaires LED au régime maximum qu'il faut exiger, mais seulement la puissance utilisée au régime le plus élevé, ce qui est différent et indépendant des autres régimes de variation de puissance.

De même ce n'est pas le flux source LED au régime maximum qu'il faut considérer mais le flux sortant du luminaire au régime nominal retenu, très inférieur au flux maximum que le module pourrait produire.

Article 6-7-8-9 : pas d'observation AFE

L'application de l'arrêté, dans sa forme actuelle, pose de sérieuses difficultés, à la fois à l'AFE et à tous les donneurs d'ordre en éclairage public :

- A l'AFE, parce qu'elle est garante du bon usage des normes et participe à leur élaboration, tant dans les instances nationales (AFNOR), qu'internationales (CEN et CIE). A ce titre, elle est le conseiller objectif et indépendant des collectivités territoriales et ne voit pas comment elle va pouvoir mettre en application des documents contradictoires.
- Aux responsables techniques des collectivités territoriales qui, devant respecter l'arrêté, ne pourront pas justifier la pertinence des performances photométriques normatives à partir desquelles ils justifient leurs choix. La responsabilité pénale des maires peut être alors engagée au titre de leurs prérogatives de sécurité des personnes et des déplacements. Il appartiendra alors au juge administratif de se prononcer en cas d'accident impliquant un sous dimensionnement flagrant de l'éclairage, lequel est tout à fait envisageable (voir les exemples donnés plus haut).

Enfin, rappelons que pour une collectivité territoriale, l'éclairage public représente un outil politique fort.

De façon transverse, il concerne la plupart des services urbains tant il implique la vie quotidienne des habitants et leur sécurité, l'énergie et les enjeux environnementaux. Il est un vecteur social de transformation urbaine. Aujourd'hui, les progrès technologiques permettent une réduction drastique des nuisances lumineuses atmosphériques, sans porter atteinte, de nuit, à la sécurité et à la qualité de vie des citoyens.

Cette expertise AFE ne s'est volontairement penchée que sur les principales difficultés photométriques engendrées par l'arrêté afin de ne pas cumuler les problèmes majeurs et les interrogations particulières, nouvellement générées par l'arrêté ; ce qui porterait atteinte à la volonté partagée « d'éclairer juste » en réduisant les nuisances lumineuses.