

**Projet de règlement relatif à l'élaboration d'études d'éclairage pour les
ouvrages routiers extérieurs et les tunnels — Conception et mise en œuvre
appropriée**

Sommaire

1.	Introduction.....	5
2.	Catégorisation de la classe d'éclairage routier.....	6
2.1	Informations générales sur la conception de l'éclairage routier.....	6
2.2	Sélection des classes d'éclairage routier.....	6
2.2.1	Informations générales sur les classes d'éclairage routier.....	6
2.2.2	Routes avec véhicules à moteur (M) en tant qu'usagers principaux.....	7
2.2.3	Classes d'éclairage des zones à risque (C).....	10
2.2.4	Routes avec des piétons et des véhicules lents (P) en tant qu'usagers principaux.....	15
2.2.5	Classes d'éclairage adaptatif.....	16
2.3	Guide pour la détermination des classes d'éclairage routier.....	17
2.3.1	Guide pour la détermination des classes d'éclairage des autoroutes et des tronçons du réseau routier national.....	17
2.3.2	Guide pour la détermination des classes d'éclairage des routes urbaines standard.....	19
2.3.3	Exemples de sélection de classes d'éclairage nominal et adaptatif.....	22
2.4	Exigences applicables aux classes d'éclairage routier.....	25
3.	Conception de l'éclairage routier, études d'éclairage.....	27
3.1	Sélection des géométries standard.....	28
3.2	Facteur d'entretien.....	30
3.3	Logiciel de conception d'éclairage.....	31
3.4	Optimisation de la conception.....	32
3.4.1	Indice de densité de puissance.....	32
3.4.2	Facteur de luminance.....	32
3.4.3	Indicateur d'efficacité globale de l'installation.....	33
3.4.4	Indicateur annuel de la consommation d'énergie.....	33
3.5	Limitation de la pollution lumineuse et température de couleur des sources lumineuses.....	34
4.	Spécifications de l'équipement.....	34
4.1	Spécifications techniques minimales pour les luminaires d'éclairage routier.....	34
4.1.1	Caractéristiques de construction d'un luminaire.....	35
4.1.2	Capot de protection.....	35
4.1.3	Matériaux de l'unité optique.....	35
4.1.4	Caractéristiques de fonctionnement.....	35
4.2	Spécifications techniques minimales pour les systèmes de contrôle à distance des éclairages extérieurs.....	38
4.2.1	Interopérabilité.....	38
4.2.2	Caractéristiques de fonctionnement.....	38

5.	Méthodologie de fonctionnement de l'éclairage adaptatif.....	39
5.1	Introduction.....	39
5.2	Conception d'un ouvrage d'éclairage adaptatif.....	39
6.	Contrôle de conformité des équipements d'éclairage routier.....	40
6.1	Introduction.....	40
6.2	Mesures de laboratoire.....	41
6.3	Mesures sur site.....	41
6.3.1	Catégories de mesures sur site.....	41
6.3.2	Définition des zones de mesure sur site.....	42
6.3.3	Instruments de mesure sur site.....	45
6.3.4	Mesures de luminance (classes d'éclairage M).....	46
6.3.5	Mesures de l'intensité lumineuse (classes d'éclairage C et P).....	47
6.3.6	Mesure des caractéristiques géométriques et électriques.....	47
7.	Directives techniques internationales et européennes pour l'éclairage des tunnels.....	48
7.1	CIE 88 — Guide de l'éclairage des tunnels routiers et passages couverts.....	48
7.2	CIE 189 — Calcul des critères de qualité de l'éclairage des tunnels.....	48
7.3	CEN CR 14380 — Éclairagisme - Éclairage des tunnels.....	48
8.	Exigences en matière d'éclairage des tunnels.....	49
8.1	Distinction des tunnels en tunnels longs et courts.....	49
8.2	Étude de la nécessité d'utiliser un éclairage de jour (méthode LTP).....	49
8.3	Calcul de la luminance externe maximale L_{20}	52
8.4	Sélection de la classe d'éclairage et du facteur k.....	53
8.5	Exigences en matière d'éclairage de jour et de nuit des tunnels.....	55
8.5.1	Zone de seuil.....	57
8.5.2	Zone de transition.....	57
8.5.3	Zone intérieure.....	58
8.5.4	Zone de sortie.....	58
8.5.5	Zone d'accès et de séparation et éclairage nocturne du tunnel.....	58
8.5.6	Uniformité de la luminance.....	58
8.5.7	Éclairage des parois.....	59
8.5.8	Limitation du scintillement de la lumière et de l'éblouissement.....	59
9.	Spécifications relatives à l'équipement d'éclairage des tunnels.....	59
9.1	Spécifications techniques minimales pour les luminaires d'éclairage des tunnels.....	59
9.1.1	Caractéristiques de construction d'un luminaire.....	60
9.1.2	Capot de protection.....	60
9.1.3	Matériaux de l'unité optique.....	60
9.2	Caractéristiques de fonctionnement.....	60

9.2.1	Données photométriques.....	60
9.2.2	Caractéristiques électriques.....	60
9.2.3	Degrés de protection contre les influences extérieures.....	61
9.2.4	Connectivité.....	61
9.2.5	Maintien du flux lumineux.....	61
9.2.6	Certifications.....	61
10.	Exigences supplémentaires en matière d'éclairage des tunnels.....	63
10.1	Éclairage des niches de stationnement.....	63
10.2	Éclairage de secours.....	63
10.3	Éclairage d'évacuation.....	63
10,4	Peinture des parois, de l'asphalte et de l'entrée du tunnel.....	65
11.	Préparation d'études sur l'éclairage des tunnels.....	65
11.1	Exigences générales.....	65
11.2	Facteur d'entretien.....	66
11.3	Emplacement des luminaires dans le tunnel.....	66
11.4	Circuits d'éclairage et éclairage adaptatif.....	66
11.5	Contrôle dynamique via des dispositifs de mesure externes et internes.....	68
11.6	Éclairage d'un tunnel à double sens de circulation.....	68
11.7	Optimisation de la conception de l'éclairage des tunnels.....	68
12.	Contrôle de la conformité de l'éclairage des tunnels.....	69
12.1	Introduction.....	69
12.2	Mesures de laboratoire.....	69
12.3	Mesures sur site.....	70
12.3.1	Catégories de mesures sur site.....	70
12.3.2	Définition des zones de mesure sur site.....	70
12.3.3	Instruments de mesure sur site.....	71
12.3.4	Mesure de la luminance.....	71
12.3.5	Mesure de l'intensité lumineuse.....	72
12.3.6	Mesure des caractéristiques géométriques et électriques.....	72
13.	Dispositions relatives à la conformité des installations existantes d'éclairage routier et d'éclairage des tunnels.....	73
13.1	Installations d'éclairage routier.....	73
13.2	Installations de dispositifs d'éclairage pour les tunnels.....	73
14.	Révision du règlement.....	73

1. Introduction

Le présent règlement concerne et fixe la méthode et les paramètres pour la conception de nouvelles installations d'éclairage dans les ouvrages routiers ou la modification, la modernisation, la maintenance de tout élément d'une installation d'éclairage existante dans les ouvrages routiers, sur décision des autorités compétentes.

En particulier, dans le cas des réseaux existants, les dispositions du présent règlement s'appliquent individuellement aux éléments de l'installation existante, qui sont modifiés/améliorés/maintenus. Le concepteur de travaux, en consultation avec les autorités compétentes, veille à ce que l'ensemble de l'installation soit adapté autant que possible au présent règlement.

Le présent règlement couvre, d'un point de vue phototechnique, tous les aspects de la conception technique, de la mise en œuvre et de l'inspection des travaux d'éclairage routier.

2. Catégorisation de la classe d'éclairage routier

2.1 Informations générales sur la conception de l'éclairage routier

Le présent règlement, conformément à la norme européenne EN 13201, concerne et définit un ensemble d'étapes/actions à effectuer par le concepteur de travaux, depuis le début des travaux jusqu'à sa mise en œuvre. Les étapes nécessaires à la conception appropriée et intégrée des travaux d'éclairage routier sont les suivantes:

1. Déterminer les classes d'éclairage routier applicables
2. Établir les prescriptions applicables aux classes d'éclairage routier
3. Rédiger une étude sur l'éclairage routier
4. Calculer les indicateurs de performance énergétique

En plus de ce qui précède, une évaluation de l'installation d'éclairage par des mesures sur site est nécessaire. Les mesures peuvent potentiellement déclencher (dans des cas extrêmes) la nécessité de redessiner l'éclairage afin de corriger tout écart par rapport aux cibles.

2.2 Sélection des classes d'éclairage routier

2.2.1 Informations générales sur les classes d'éclairage routier

Les classes d'éclairage, telles que définies dans la norme européenne CEN/TR 13201-1, sont regroupées en trois catégories principales: Classes M — Motorized, Classes C — Conflict Areas, et Classes P — Pedestrians and Pedal Cyclists.

Les classes d'éclairage de catégorie M (Motorized) sont sélectionnées lorsque les principaux usagers de la route sont des véhicules à moteur et que l'éclairage est important pour la conduite en toute sécurité. La principale caractéristique mesurable pour laquelle les calculs et les mesures sur site sont effectués est la luminance (cd/m^2), qui exprime essentiellement la luminosité de l'asphalte et en particulier à une distance de 60 m devant le point d'observation. Ces routes sont principalement des autoroutes (les voies de circulation, y compris la voie d'urgence), le réseau routier provincial, des avenues ou des routes dans les zones urbaines où la zone d'utilisation est clairement séparée de la surface d'utilisation des autres usagers, par exemple par des trottoirs, des voies de séparation, etc.

La définition des classes M dépend des caractéristiques géométriques de la route, du flux de circulation et des paramètres d'utilisation respectifs. Le choix de la classe appropriée est effectué en tenant compte de l'exploitation de la route, de la vitesse de conduite, du flux de circulation et des conditions environnantes. Les caractéristiques mesurables de base de cette catégorie sont l'indice de luminance et d'éblouissement (TI).

Les classes d'éclairage de catégorie C (Conflict Area) sont sélectionnées pour les zones classées comme zones à haut risque, telles que les tronçons spécifiques des carrefours routiers, les intersections, les routes à haute fréquence d'intersections et à l'intérieur des centres urbains, où plusieurs catégories d'usagers (piétons, cyclistes, deux-roues et véhicules à moteur) cohabitent. La principale caractéristique mesurable pour laquelle les calculs et les mesures sur site sont effectués est l'intensité lumineuse (lx), qui indique la quantité de flux lumineux sur une surface, quelle que soit la direction dans laquelle elle est vue. L'aspect le

plus important de cette catégorie est l'identification d'objets par tous les usagers de la route à une distance relativement proche et dans plusieurs directions.

Les classes C désignent généralement les cas où les flux de véhicules se croisent ou rencontrent des zones où se trouvent d'autres usagers (piétons, deux-roues, bicyclettes, autres usagers) ou lorsque la géométrie de la route change de manière significative. Dans de nombreux cas, elles sont sélectionnées de manière à ce que leur niveau d'éclairage soit supérieur à celui des routes d'approche et qu'elles augmentent l'attention dans la zone d'intersection, ce qui nécessite une grande uniformité d'éclairage horizontal.

En tout état de cause, la zone classée dans la classe C ne devrait pas avoir une classe d'éclairage de classe C inférieure à la classe d'éclairage correspondante de classe M des routes d'approche (lorsque les routes d'approche ont été classées dans la classe M).

Les classes d'éclairage de la catégorie P (Pedestrian & Pedal Cyclists) sont sélectionnées dans le cas des zones piétonnes, des zones de circulation des véhicules à basse vitesse (< 40 km/h), des voies de stationnement, des routes urbaines locales pour desservir les rues résidentielles, les gares de stationnement, etc. La principale caractéristique mesurable pour laquelle des calculs et des mesures sur site sont effectués est, comme dans la classe C, l'intensité lumineuse (lx).

2.2.2 Routes avec véhicules à moteur (M) en tant qu'usagers principaux

Il s'agit de l'éclairage routier et des zones où les principaux usagers sont principalement des véhicules à moteur, qui fonctionnent à basse, moyenne ou haute vitesse. La caractéristique mesurable pour la conception et l'évaluation de la classe d'éclairage routier **M** est la luminance de la surface de la route (en cd/m²).

Les critères de sélection des classes M sont les 8 suivants et ont été tirés du rapport technique CEN/TR 13201-1:2014.

Le premier critère est la **vitesse de conception ou limite de vitesse de la route**. Si la limite de vitesse d'une route change le long de sa longueur ou pendant la nuit, le poids correspondant doit être choisi pour chaque cas. La vitesse de conception résulte de l'étude de trafic qui y est liée. Le deuxième critère est **le volume de trafic routier en pourcentage de la capacité maximale**. Pour les autoroutes à voies multiples, il doit être séparé par direction ou par routes plus petites. Si le volume du trafic change le long de sa longueur ou pendant la nuit, le poids correspondant doit être choisi pour chaque cas.

Le troisième critère est **la composition des usagers de la route**, c'est-à-dire si les principaux usagers de la route sont les véhicules à moteur, les véhicules lents, les cyclistes ou l'ensemble des véhicules ci-dessus. Si la composition des usagers change le long de sa longueur ou pendant la nuit, le poids correspondant est sélectionné pour chaque cas.

Le quatrième critère est **la présence ou non d'une séparation des sens de circulation de la route**. La séparation peut consister en une glissière de sécurité, une barre métallique, des poteaux, des fossés, etc. Si la séparation varie le long de la route, le poids correspondant doit être choisi pour chaque cas.

Le cinquième critère est **la densité des jonctions routières**. Les intersections se réfèrent aux routes qui se rejoignent sur un même niveau (intersections routières), tandis que les

carrefours à plusieurs niveaux se réfèrent aux entrées et aux sorties séparées, etc. La densité se réfère aux sections étudiées lorsqu'elles comportent plus d'une jonction.

Le sixième critère est **la présence ou l'absence de véhicules stationnés** sur la route étudiée. Il convient de noter que dans le cas des routes sur lesquelles il y a des véhicules stationnés de manière informelle, c'est-à-dire à des endroits non réservés et non spécialement désignés, ces véhicules devraient être considérés comme des véhicules stationnés pour des raisons de sécurité.

Le septième critère est **l'éclairage ambiant** de la route étudiée. L'éclairage intense peut être dû à la densité élevée des bâtiments éclairés adjacents à la rue, aux panneaux d'affichage, aux magasins, à l'éclairage des installations sportives et d'extérieur, etc. En pratique, un éclairage intense se trouve au centre des zones urbaines où il y a une activité commerciale intense.

L'éclairage ambiant moyen se réfère aux conditions normales dans les villes ne tombant pas dans le cas précédent, tandis que le faible éclairage se trouve généralement sur les routes en dehors du tissu urbain sans la présence d'un éclairage artificiel autre que l'éclairage routier. Si l'éclairage ambiant change pendant la nuit (par exemple après les heures d'ouverture des magasins) ou le long de la route, le poids correspondant doit être sélectionné pour chaque cas.

La connexion de la luminosité ambiante aux zones environnementales respectives est déterminée par l'interconnexion/normalisation suivante des tableaux 4 et 5 suivants.

Tableau 4. Zones de luminosité environnementale selon la norme ILP GN01:2011

Zone	Éclairage ambiant	Exemples
E0	Complètement sombre	Zones protégées par l'UNESCO, ciel noir IDA
E1	Sombre	Zones rurales relativement inhabitées
E2	Luminosité faible	Zones rurales à faible densité de population
E3	Luminosité moyenne	Zones rurales et urbaines/semi-urbaines densément peuplées
E4	Luminosité élevée	Centre-ville, tissu urbain principal, zones commerciales avec une luminosité et une activité intenses

Tableau 5. Adaptation des zones environnementales et de la luminance du fond

CEN/TR 13201-1:2014	CIE 150:2017
<i>Faible</i>	E2, E1, E0
<i>Moyenne</i>	E3
<i>Élevée</i>	E4

Aucun éclairage n'est proposé dans les zones environnementales E0.

Le huitième critère est la **difficulté de conduite** qui se rapporte au champ de vision du conducteur et aux efforts nécessaires, à la suite des informations qui lui ont été présentées ou d'autres circonstances changeantes, afin de choisir une route ou une voie et de maintenir ou de modifier la vitesse ou la position sur la route. Selon la norme CIE 100:1992, la difficulté de conduite peut être divisée en niveaux individuels suivants:

- Niveau positionnel. Il reflète l'effort nécessaire au conducteur pour rester dans la bonne position sur la surface de la route en ajustant son itinéraire et/ou en ajustant la vitesse du véhicule, etc.
- Niveau situationnel. Il reflète les actions nécessaires par le conducteur pour faire face aux changements dans la structure/géométrie de la route, les changements dans son parcours, les changements dans les conditions météorologiques, les changements dans les conditions d'exploitation de la route, par exemple les travaux. Ces actions peuvent être un changement de vitesse, un changement de direction et de position sur la route, etc.
- Niveau navigationnel. Il reflète l'effort requis par le conducteur pour suivre un itinéraire spécifique afin d'atteindre la destination souhaitée, ce qui comprend la lecture des panneaux de signalisation et des panneaux de direction.

Par conséquent, la difficulté de conduite est très élevée dans les cas où le conducteur est tenu de comprendre des panneaux complexes, de conduire sur des routes avec des sorties et entrées multiples et une structure complexe, des intersections de plusieurs voies de circulation, etc. La difficulté de conduite est élevée en cas de circulation aux ronds-points ou aux intersections simples. La difficulté de conduite est faible lorsque le conducteur effectue un simple changement de voie, changement de vitesse du véhicule, entrée, sortie, etc. et conduit sur une route ou une voie particulière sans nécessiter objectivement d'efforts importants. Lorsque la difficulté de conduite change le long de la route, le poids correspondant doit être sélectionné pour chaque cas.

En tout état de cause, le choix final de la classe d'éclairage se fait en additionnant les poids de chaque critère et en utilisant l'équation suivante:

$$M = 6 - VWS \quad (1)$$

où **M** est la classe d'éclairage correspondante et VWS est la somme des poids des critères selon le tableau 6. Les classes M1, M2, M3, M4, M5 et M6 dérivent de l'équation (1).

Les dispositions suivantes s'appliquent:

- Si $VWS < 0$ alors $VWS = 0$
- Si $M \leq 0$ alors $M = 1$ (classe M1)

Tableau 6. Critères de sélection pour les classes d'éclairage de la catégorie M

Critère	Options	Description	Poids
Vitesse de conception ou limite de vitesse	Très élevée	$v \geq 100$ km/h	2
	Élevée	$70 < v < 100$ km/h	1
	Moyenne	$40 < v \leq 70$ km/h	-1
	Faible	$v \leq 40$ km/h	-2
Volume de trafic		Autoroutes, directions à voies multiples	Directions à deux voies
	Élevée	> 65 % de la capacité maximale	> 45 % de la capacité maximale
	Moyenne	35 à 65 % de la capacité maximale	15 % à 45 % de la capacité maximale
	Faible	< 35 % de la capacité maximale	< 15 % de la capacité maximale
Composition des usagers	Mixte, avec une grande proportion de véhicules non motorisés		2
	Mixte		1
	Motorisés uniquement		0
Séparation des sens de circulation	Non		1
	Oui		0
Densité des jonctions routières		Intersections/km	Distance entre les carrefours à plusieurs niveaux, km
	Élevée	> 3	< 3
	Moyenne	≤ 3	≥ 3
Véhicules stationnés	Présents		1
	Absents		0
Éclairage ambiant	Élevée	Rues commerçantes, panneaux d'affichage, installations sportives, gares, etc.	
	Moyenne	Situations normales	
	Faible		
Difficulté de conduite	Très élevée		2
	Élevée		1
	Faible		0

Dans le cas des tronçons routiers pour lesquels, en principe, des classes d'éclairage **M** sont applicables selon les critères ci-dessus, mais qui se situent entre deux «zones de conflit» (à définir ultérieurement), et si la distance entre ces deux «zones à risque» est inférieure à la distance d'arrêt de sécurité pertinente (SD), la classe correspondante **C** est également sélectionnée pour la section intermédiaire ci-dessus et non pour la classe **M** d'origine résultant des critères et des poids ci-dessus. Les exemples typiques sont les routes locales dans les centres urbains et/ou les routes de distribution locale, où la fréquence d'intersection est si élevée que les routes forment pratiquement une seule «zone de conflit».

2.2.3 Classes d'éclairage des zones à risque (C)

Les classes **C** sont utilisées dans les zones à haut risque, c'est-à-dire où deux ou plusieurs flux de circulation, routes et usagers de la route sont impliqués. Les principaux usagers de ces zones sont les véhicules à moteur.

Plus précisément, les zones à risque sont des zones où différents flux de véhicules se rencontrent au même niveau, c'est-à-dire des jonctions, des intersections, etc. ou des zones

qui se rencontrent/se croisent au même niveau avec des zones souvent utilisées par d'autres types d'usagers, tels que les piétons, les cyclistes, etc.

Les zones avec un nombre réduit de voies ou une largeur de voie réduite ou une largeur hors tout sont également considérées comme des zones à risque, à l'exception des cas décrits ci-dessous. Les zones à risque présentent une forte probabilité de collision entre les véhicules, les véhicules et les piétons, les cyclistes avec d'autres usagers ou les voitures avec des obstacles fixes, etc.

La zone à risque est délimitée par la zone où les routes se croisent ou se rencontrent, plus la zone définie par la distance d'arrêt de sécurité respective de chaque route d'intersection.

Pour les zones à risque, il est préférable d'utiliser la luminance comme caractéristique de conception et d'évaluation. Toutefois, cela n'est pas possible dans les cas où les distances de visibilité de l'observateur standard (conducteur) sont courtes (< 60 m) ou qu'il y a plusieurs observateurs (de différentes directions, par exemple des intersections, des rampes d'entrée-sortie, etc.). Dans de tels cas, l'intensité lumineuse (I_x) est utilisée comme caractéristique de conception et d'évaluation.

L'utilisation de l'intensité lumineuse en tant que caractéristique d'évaluation s'applique soit aux parties individuelles de la zone à risque, lorsque la luminance ne peut pas être utilisée, soit à la zone à risque plus large, par exemple à l'ensemble de la jonction routière (sous réserve de conditions), à l'intersection, etc.

Les classes d'éclairage **M** et **C** (luminance et intensité lumineuse) sont attribuées en estimant ou en connaissant simultanément le facteur de réflexion totale de la surface de la route Q_0 comme le montre le tableau 7.

Tableau 7. Attribution des classes M et C aux zones de conflit

Classe d'éclairage M			M1	M2	M3	M4	M5	M6
Classe d'éclairage C pour $Q_0 \leq 0,05$			C0	C1	C2	C3	C4	C5
Classe d'éclairage C pour $0,05 < Q_0 \leq 0,08$		C0	C1	C2	C3	C4	C5	C5
Classe d'éclairage C pour $Q_0 > 0,09$	C0	C1	C2	C3	C4	C5	C5	C5

Étant donné que les classes d'éclairage C sont conçues pour les mêmes usagers que celles des classes M, le tableau 7 devrait être utilisé pour définir les classes dans les zones à risque appartenant aux routes pour lesquelles les classes M ont déjà été définies. La classe de zones à risque ne devrait pas être inférieure à la classe la plus élevée des routes croisées. Par conséquent, dans de tels cas, la classe C est dérivée indirectement des classes M des routes croisées.

Si nécessaire et afin d'accroître la sécurité, le concepteur de travaux peut choisir une classe d'éclairage d'une classe supérieure à celle résultant de l'attribution des classes.

Afin de faciliter le travail des concepteurs de travaux, il est proposé d'appliquer une augmentation de la classe d'éclairage d'un grade par rapport à la classe M comparable dans les cas de croisements et de sections de carrefours séparés par catégorie lorsqu'il existe un

besoin réel en raison d'un changement critique de la géométrie de la route et d'un changement global de la largeur de la route.

Plus précisément, sur la base du «Manuel des lignes directrices pour la conception des routes (OMOE) — Livre 2: Sections transversales (OMOE-Δ)», on distingue les cas suivants, qui sont présentés de manière indicative et non restrictive.

1. Cas d'une modification non critique de la section transversale de la chaussée de type « $\beta 2+1$ » à un carrefour routier (figure 1). Dans ce cas, il n'est pas nécessaire d'augmenter le niveau d'éclairage de la classe C d'un échelon.

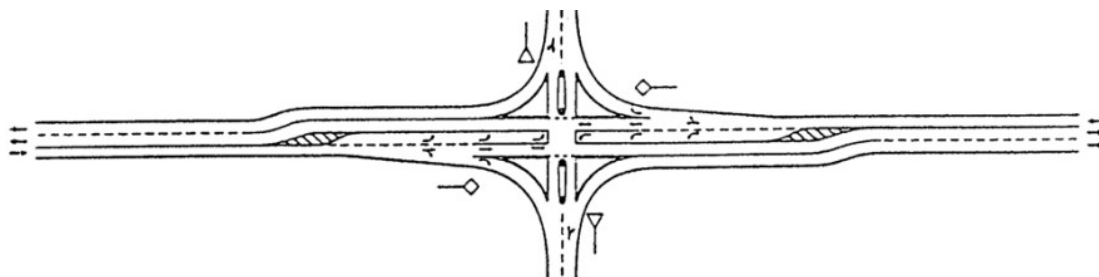


Figure 1. Route avec modification non critique de la section transversale de la chaussée de type « $\beta 2+1$ » à un carrefour routier

2. Cas d'une modification critique de la section transversale de la chaussée de type « $\beta 2+1$ » à un carrefour routier (figure 2). Dans ce cas, il est proposé d'augmenter le niveau d'éclairage de la classe C d'un échelon.

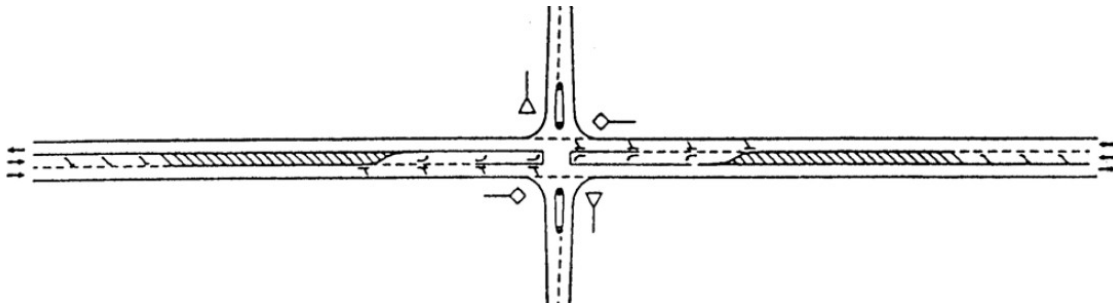


Figure 2. Route avec modification critique de la section transversale de la chaussée de type « $\beta 2+1$ » à un carrefour routier

3. Cas d'une modification non critique de la section transversale de la chaussée de type « $\beta 2+1$ » à un carrefour à niveaux séparés (figure 3). Dans ce cas, il n'est pas nécessaire d'augmenter le niveau d'éclairage de la classe C d'un échelon.

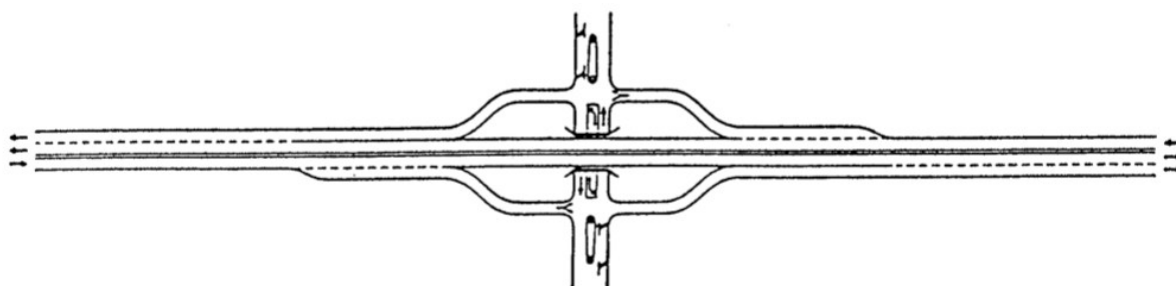


Figure 3. Route avec modification non critique de la section transversale de la chaussée de type «β2+ 1» à un carrefour à niveaux séparés

Par conséquent, dans le cas des carrefours à niveaux séparés rencontrés principalement sur les autoroutes, la zone à risque qui se voit nécessairement attribuer la classe C ne concerne pas, dans la plupart des cas, les zones d'entrée/de sortie de l'autoroute, mais les zones de passage séparé par catégorie, par exemple une jonction en T, un itinéraire circulaire, etc. Figure 4: En conséquence, les voies d'accélération/de décélération se voient attribuer une classe d'éclairage M égale à celle du tronçon routier principal, et les zones à risque pur se voient attribuer une classe C égale et/ou supérieure à la classe correspondante de la section principale, en fonction de l'importance du changement de section transversale, tel qu'il a été analysé ci-dessus.

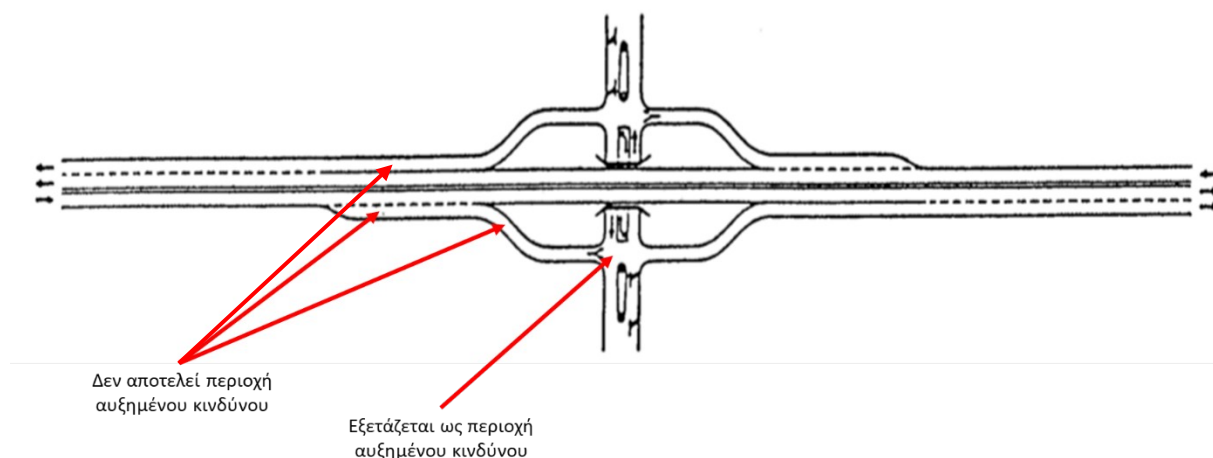


Figure 4. Zones de jonction routière standard considérées ou non comme zones à haut risque

Δεν αποτελεί περιοχή αυξημένου κινδύνου	Pas une zone à haut risque
Εξετάζεται ως περιοχή αυξημένου κινδύνου	Considéré comme une zone à haut risque

Si la classe d'éclairage **C** n'est pas déterminée sur la base de la classe **M** correspondante, mais qu'une analyse distincte est effectuée, alors la méthode de calcul pondérée suivante doit être utilisée pour sélectionner la classe d'éclairage **C** conformément à la norme CEN/TR 13201-1.

Les critères de sélection sont en grande partie identiques à ceux de la classe M. En particulier:

Le premier critère est la **vitesse de conception ou limite de vitesse de la route**. Le critère est similaire à celui analysé pour la classe M.

Le deuxième critère est le **volume de trafic routier en pourcentage de la capacité maximale**. Le critère est similaire à celui analysé pour la classe M, mais sans préciser les pourcentages de charge.

Le troisième critère est la **composition des usagers de la route**. Le critère est similaire à celui analysé pour la classe M.

Le quatrième critère est celui de la **présence ou non d'une séparation des sens de circulation de la route**. Le critère est similaire à celui analysé pour la classe M.

Le cinquième critère est la **présence ou absence de véhicules stationnés** sur la route étudiée. Le critère est similaire à celui analysé pour la classe M.

Le sixième critère est l'**éclairage ambiant** de la route étudiée. Le critère est similaire à celui analysé pour la classe M.

Le septième critère est la **difficulté de conduite** liée au champ de vision du conducteur. Le critère est similaire à celui analysé pour la classe M.

Le choix de la classe d'éclairage **C** est effectué en additionnant les poids de chaque critère et en utilisant l'équation suivante.

$$C = 6 - VWS \quad (2)$$

où **C** est la classe d'éclairage correspondante et VWS est la somme des poids des critères dérivés du tableau 8. Les classes C0, C1, C2, C3, C4 et C5 dérivent de l'équation (2).

Les dispositions suivantes s'appliquent:

- Si $VWS \leq 0$ alors $VWS = 1$
- Si $C < 0$ alors $C = 0$ (classe C0)

Tableau 8. Critères de sélection pour les classes d'éclairage de la catégorie C selon la norme CEN/TR 13201-1

Critère	Options	Description	Poids
Vitesse de conception ou limite de vitesse	Très élevée	$v \geq 100$ km/h	3
	Élevée	$70 < v < 100$ km/h	2
	Moyenne	$40 < v \leq 70$ km/h	0
	Faible	$v \leq 40$ km/h	-1
Volume de trafic	Élevée		1
	Moyenne		0
	Faible		-1
Composition des usagers	Mixte, avec une grande proportion de véhicules non motorisés		2
	Mixte		1
	Motorisés uniquement		0
Séparation des sens de circulation	Non		1
	Oui		0
Véhicules stationnés	Présents		1
	Absents		0
Éclairage ambiant	Élevée	Rues commerçantes, panneaux d'affichage, installations sportives, gares, etc.	1
	Moyenne	Situations normales	0
	Faible		-1
Difficulté de conduite	Très élevée		2
	Élevée		1
	Faible		0

2.2.4 Routes avec des piétons et des véhicules lents (P) en tant qu'usagers principaux

Ces classes concernent l'éclairage des zones de circulation avec des piétons et des cyclistes comme usagers principaux ou des routes à usage mixte qui sont des zones à vitesse limitée.

La définition des classes d'éclairage **P** est réalisée selon les critères ci-dessous.

Le premier critère est la **vitesse de conception ou limite de vitesse de la route**. Le critère est similaire à celui décrit dans la classe M.

Le deuxième critère est le **volume de trafic de la route** comme une description générale du volume. Le critère est similaire à celui décrit dans la classe M, mais sans préciser les pourcentages de volume.

Le troisième critère est la **composition des usagers de la route**. Le critère est similaire à celui décrit dans la classe M.

Le quatrième critère est la **présence ou absence de véhicules stationnés** sur la route étudiée. Le critère est similaire à celui décrit dans la classe M.

Le cinquième critère est l'**éclairage ambiant** de la route étudiée. Le critère est similaire à celui décrit dans la classe M.

Tableau 9. Critères de sélection pour les classes d'éclairage de la catégorie P selon la norme CEN/TR 13201-1

Critère	Options	Description	Poids
Vitesse de conception ou limite de vitesse	Faible	$v \leq 40$ km/h	1
	Très faible (marche)	Vitesse de marche	0
Volume du trafic		Élevé	1
		Moyen	0
		Faible	-1
Composition des usagers		Piétons, cyclistes et circulation motorisée	2
		Piétons et circulation motorisée	1
		Piétons et cyclistes	1
		Piétons	0
		Cyclistes	0
Véhicules stationnés		Présents	1
		Absents	0
Éclairage ambiant	Élevée	Rues commerçantes, panneaux d'affichage, installations sportives, gares, etc.	1
	Moyenne	Situations normales	0
	Faible		-1

2.2.5 Classes d'éclairage adaptatif

Cette méthodologie de sélection des classes d'éclairage à l'aide de poids, conçue par le CIE et adoptée par le CEN, a été développée dans le but de permettre une sélection souple des classes d'éclairage adaptatif. De cette façon, il est possible, lorsque les conditions le permettent, qu'une route éclairée change de classe d'éclairage et donc d'exigences en termes de niveaux d'éclairage, d'uniformité, etc. Cela nécessite la conception appropriée du système d'éclairage afin d'avoir les réglages/changements de flux lumineux correspondants appropriés.

Le changement de classe d'éclairage doit avoir lieu si un ou plusieurs des critères de sélection changent de poids pendant le fonctionnement du système d'éclairage. La plupart des critères de sélection pour toutes les classes peuvent être modifiés, sauf, bien sûr, pour les éléments de construction tels que la densité des jonctions routières et la séparation des voies.

De cette façon, plusieurs niveaux d'éclairage sont atteints pendant la nuit, qui répondent aux besoins locaux et horaires d'éclairage routier, offrant des conditions optimales au conducteur tout en maintenant la consommation d'énergie et limitant la pollution lumineuse à des niveaux optimaux.

Il est donc nécessaire, lors de la sélection des classes d'éclairage routier, d'étudier la possibilité de définir des classes d'éclairage adaptatif et les périodes correspondantes pendant lesquelles le changement a lieu.

La classe M/C/P maximale résultant de la méthode de sélection du poids est la «classe d'éclairage nominal», tandis que les autres classes sélectionnées pour certaines périodes et couvrant la même partie de la route sont appelées «classes d'éclairage adaptatif».

Un guide explicatif et des exemples de sélection des classes d'éclairage nominal et adaptatif sont présentés dans la section suivante.

2.3 Guide pour la détermination des classes d'éclairage routier

2.3.1 Guide pour la détermination des classes d'éclairage des autoroutes et des tronçons du réseau routier national

Le réseau routier constitué d'autoroutes et de tronçons du réseau routier national est un réseau clairement délimité et défini avec des caractéristiques géométriques claires et des sections standard spécifiques.

En particulier dans le cas des autoroutes, qui disposent toutes de systèmes avancés de mesure et/ou de prévision de la charge de circulation, la classe d'éclairage en mode statique et/ou dynamiquement variable (éclairage adaptatif dynamique) peut être définie avec précision.

Dans ce type de réseaux, la classe M doit être utilisée pour la construction de routes ouvertes, lorsqu'il y a un éclairage, et la classe C dans les zones à risque telles que définies à la section 2.3 ci-dessus.

En particulier, les dispositions suivantes s'appliquent à chaque critère de sélection de classe d'éclairage d'une autoroute:

a. Vitesse de conception.

La limite de vitesse clairement définie par tronçon d'autoroute.

b. Volume du trafic

Le volume du trafic des autoroutes est tiré des enregistrements historiques du trafic, par exemple via des boucles, des stations de péage, etc. Si ces données sont fournies directement tout au long de la journée, le poids du critère changera en conséquence.

La **classe d'éclairage nominal** pour chaque tronçon d'autoroute est dérivée du **pourcentage de trafic cumulé sur 24 heures sur une journée standard de l'année (trafic journalier annuel moyen (AADT)) multiplié par la capacité de trafic maximale du tronçon considéré** de l'autoroute (figure 5 — Trafic journalier annuel moyen). Afin de tenir compte de toute augmentation future des volumes de trafic dans la définition ci-dessus de la classe nominale, il est proposé de prendre en compte les prévisions de trafic correspondantes sur une période de dix ans, s'il est bien entendu disponible.

S'il existe des profils de volume de trafic différents par jour de la semaine, ou par saison, également s'il y a des changements saisonniers de longue durée importants et si des données historiques sur le trafic sont disponibles par jour standard de l'année (figure 5 — Standard du lundi au dimanche standard), la classe d'éclairage nominal est dérivée de la classe du **trafic cumulé sur 24 heures sur une journée standard de la semaine de la saison avec le volume de trafic le plus élevé**.

La définition et la mise en œuvre des **classes d'éclairage adaptatif**, pendant les heures nocturnes de fonctionnement de l'éclairage routier, est fondée sur les mesures actualisées de la charge de circulation, les prévisions et/ou les données d'enregistrement en temps réel, c'est-à-dire le pourcentage du volume de trafic aux heures de nuit concernées par rapport à la capacité de circulation maximale du tronçon routier et pour chaque période Δt , comme indiqué dans les exemples de la section 2.3.3.

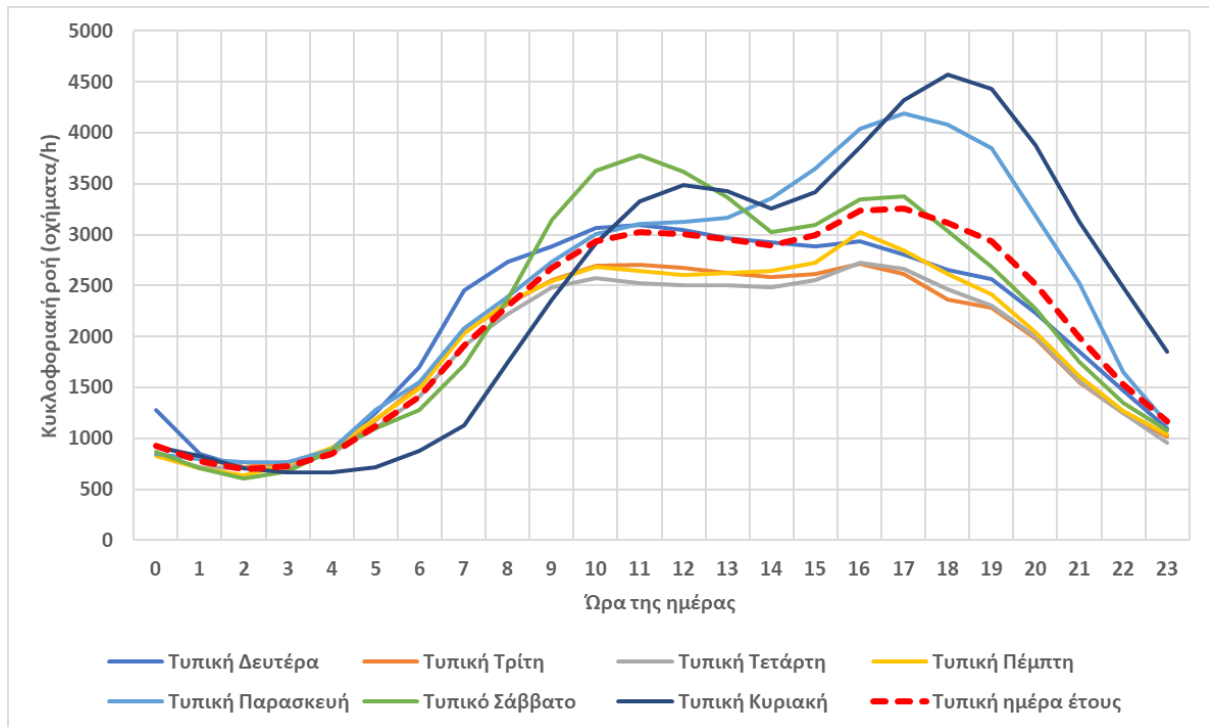


Figure 5. Exemple du trafic annuel moyen par jour d'une section d'autoroute grecque par semaine

Κυκλοφοριακή ροή (οχήματα/h)	Intensité du trafic (véhicules/h)
Ώρα της ημέρας	Moment de la journée
Τυπική Δευτέρα	Lundi standard
Τυπική Τρίτη	Mardi standard
Τυπική Τετάρτη	Mercredi standard
Τυπική Πέμπτη	Jeudi standard
Τυπική Παρασκευή	Vendredi standard
Τυπικό Σάββατο	Samedi standard
Τυπική Κυριακή	Dimanche standard
Τυπική ημέρα έτους	Jour standard de l'année

c. Composition des usagers

La composition des usagers est déterminée par le type d'autoroute et est généralement stable. Si une modification de la composition des usagers pendant la nuit est statistiquement établie, le poids peut changer en conséquence.

d. Séparation des sens de circulation

Ce critère a un poids fixe.

e. Densité des jonctions routières

La densité des jonctions routières est calculée pour l'ensemble du tronçon de l'autoroute étudié.

f. Véhicules stationnés

En règle générale, il n'y a pas de stationnement routier de véhicules sur les autoroutes grecques. Il convient de noter que la voie d'urgence n'est pas une voie de stationnement désignée.

g. Éclairage ambiant

L'éclairage ambiant des autoroutes grecques est évalué au cas par cas:

- o *Élevé*: Dans les sections passant au même niveau à travers un tissu urbain dense avec des rues illuminées adjacentes, des magasins, des installations sportives, etc.
- o *Moyen*: Dans les sections passant au même niveau par des zones semi-urbaines, relativement peu construites et où l'éclairage ambiant artificiel se compose de petites routes adjacentes, de maisons et d'un faible pourcentage de magasins.
- o *Faible*: Dans toutes les sections entre zones urbaines. L'éclairage ambiant est également considéré comme faible si, à certains endroits individuels, l'autoroute passe à proximité des agglomérations.

h. Difficulté de conduite

La difficulté de conduite, comme expliqué à la section 2.3, peut être déterminée de manière plus spécifique sur les autoroutes en raison des sections transversales, des marquages et du guidage visuel envisagés (tableau 14).

Tableau 14 — Difficulté de conduite par tronçon d'autoroute standard

Zones autoroutières	Difficulté de conduite
Tronçon ouvert (axe principal)	Faible
Voie d'accélération/de décélération	Faible
Tronçon d'entrée/de sortie	Faible
Croisement de jonctions ascendantes et descendantes	Faible ¹ /Élevée
Zone de rond-point	Très élevée
Zone d'intersection	Très élevée

2.3.2 Guide pour la détermination des classes d'éclairage des routes urbaines standard

Dans la plupart des cas, le réseau routier des centres urbains grecs présente des caractéristiques communes, à la fois en termes de caractéristiques géométriques et de caractéristiques de circulation. Pour le classement des routes conformément à la norme EN 13201, il est nécessaire de les caractériser en termes de données de trafic afin d'attribuer les classes d'éclairage correctes. Par conséquent, également dans le cadre du présent règlement, il est nécessaire de relier la classe d'éclairage et sa catégorie à l'état de la route sur la base de ses données de circulation.

À cet effet, dans chaque cas de route urbaine, il est nécessaire de rédiger une étude de circulation ou de caractériser la route en termes de données de circulation, afin d'indiquer au concepteur d'éclairage l'état de la route pour lequel le concepteur doit attribuer des classes

¹ S'il y a une séparation des sens de circulation avec une glissière de sécurité, la difficulté de conduite est considérée comme faible.

d'éclairage. Par conséquent, compte tenu des caractéristiques communes de la plupart de ces cas standard, dans le cadre du présent règlement, les lignes directrices suivantes sont données pour déterminer la classe d'éclairage en l'absence d'une étude de circulation.

Afin de couvrir dans la mesure du possible tous les cas de routes urbaines, dans le cadre du présent règlement, la classification de la circulation ci-après est suivie sur la base du tableau 1-2 du «Manuel des lignes directrices pour la conception des routes (OMOE) — Livre 2: Sections transversales (OMOE-Δ)».

Routes urbaines dont l'accès est une fonction principale (figure 6), c'est-à-dire les routes suivantes:

- Routes locales (ΔV)
- Routes de desserte locale (ΔIV)

Routes traversant des zones à l'intérieur ou à l'extérieur du tissu urbain (zones périurbaines et urbaines) avec la fonction principale de connexion et avec la possibilité d'entretenir les propriétés du bord de la route, c'est-à-dire les routes suivantes:

- Routes de desserte locale principales (ΓIV)
- Artères urbaines (ΓIII)

Tous les cas de route ci-dessus seront étudiés après avoir reçu directement la classe C, compte tenu de leurs caractéristiques communes, dont les plus importantes sont:

1. Vitesse de circulation généralement moyenne à faible.
2. Jonctions routières fréquentes à des distances, dans de nombreux cas, inférieures à la distance d'arrêt en toute sécurité (SD).
3. Cas de véhicules stationnés de manière informelle d'un côté de la route ou même dans les deux sens de circulation, ce qui augmente la complexité de l'effort du conducteur.
4. Présence d'autres types d'utilisateurs (piétons, etc.) sur la chaussée en raison de l'absence de passages protégés.
5. Autres obstacles sur la chaussée tels que les poubelles qui ont été déplacées, etc.
6. Augmentation de la difficulté de conduite due aux arrêts fréquents de véhicules de passage ou d'autres types d'utilisateurs, compte tenu de l'activité commerciale qui caractérise ce type de route.

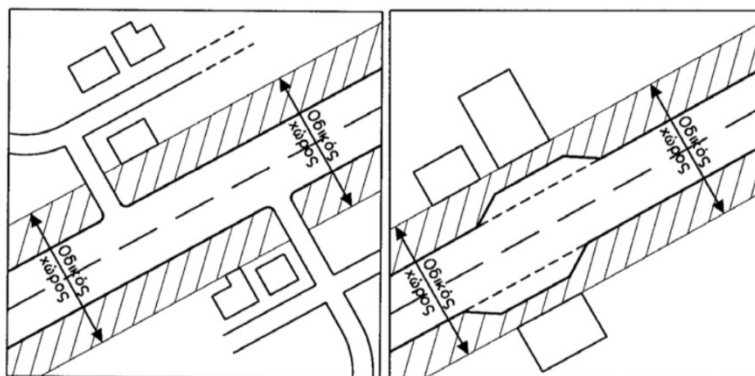


Figure 6. Cas des types de routes C et D selon le manuel OMOE

Οδικός χώρος	Espace routier
--------------	----------------

Comme les classes C, il y a des cas dans le réseau routier qui seront directement reliés aux classes P, en tenant compte de leurs caractéristiques géométriques et du rôle de la circulation qu'ils servent.

En particulier, les cas de routes urbaines dont la fonction principale est la desserte des habitations, c'est-à-dire les routes locales de type EV, EVI, sont tous des cas qui seront étudiés directement avec les classes P (figure 7).

Dans ceux-ci, les caractéristiques communes suivantes sont observées dans la plupart des cas:

1. Vitesse de circulation extrêmement faible en raison des mesures de limitation de la vitesse (zones à vitesse limitée).
2. Présence d'autres types d'utilisateurs (piétons, cyclistes, etc.) sur la chaussée.
3. D'autres obstacles sur la chaussée, tels que les poubelles, qui ont été déplacés, etc.
4. Routes avec la desserte des habitations comme fonction principale et qui desservent les propriétés situées en bord de route.

En outre, les routes dans les quartiers des communes situées en dehors du tissu urbain avec la desserte des habitations comme fonction principale et qui desservent presque exclusivement les habitations de ces zones, seront étudiées directement avec les classes P.

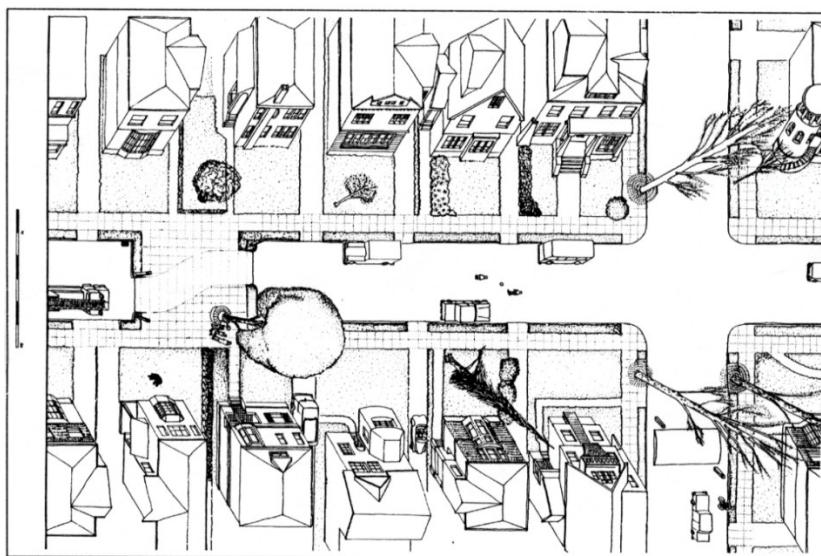


Figure 7. Cas de routes de type E conformément au manuel OMOE-1

Comme mentionné précédemment, les cas susmentionnés de routes urbaines sont énumérés de manière indicative et non exhaustive, l'objectif principal étant de couvrir les cas pertinents aussi pleinement que possible dans le cadre du présent règlement, mais aussi avec les objectifs généraux plus larges suivants:

1. Tout d'abord, comme nous l'avons déjà mentionné, le soutien des concepteurs de travaux en l'absence d'études de trafic.
2. Soutien aux concepteurs de travaux lorsqu'il est nécessaire de mener des études collectives et des regroupements de plusieurs cas routiers.
3. Uniformité dans l'urbanisme.

4. Soutien à l'évaluation et au suivi/maintien de l'installation d'éclairage routier urbain.

2.3.3 Exemples de sélection de classes d'éclairage nominal et adaptatif

Les tableaux 10 à 13 fournissent des exemples de classes d'éclairage des routes standard dans le réseau routier grec à l'intérieur et à l'extérieur des villes.

Ces exemples montrent comment les classes d'éclairage changent lorsque le poids d'un ou plusieurs critères change et que la somme totale change d'au moins un point. Les intervalles de temps indiqués se rapportent à des intervalles d'heures entre lesquels les poids changent et ne se rapportent manifestement pas aux mêmes heures pour toutes les routes.

Des études d'éclairage routier devraient être réalisées sur la base de classes nominales et des calculs supplémentaires devraient être effectués pour définir le flux lumineux minimal requis des dispositifs d'éclairage pour atteindre chaque classe d'éclairage adaptatif.

Tableau 10. Exemples de sélection de classes d'éclairage M

Critère	Options	Description		Route 1			Route 2	
				Δt_1	Δt_2	Δt_3	Δt_1	Δt_2
Vitesse de conception ou limite de vitesse	Très élevée	$v \geq 100$ km/h		2	2	2	2	2
	Élevée	$70 < v < 100$ km/h						
	Moyenne	$40 < v < 70$ km/h						
	Faible	$v \leq 40$ km/h						
Volume de trafic		Autoroutes, directions à voies multiples	Directions à deux voies					
	Élevée	> 65 % de la capacité maximale	> 45 % de la capacité maximale	1				
	Moyenne	35 à 65 % de la capacité maximale	15 % à 45 % de la capacité maximale		0		0	
	Faible	< 35 % de la capacité maximale	< 15 % de la capacité maximale			-1		-1
Composition des usagers	Mixte, avec une grande proportion de véhicules non motorisés							
	Mixte							
	Motorisés uniquement			0	0	0	0	0
Séparation des sens de circulation	Non							
	Oui			0	0	0	0	
Densité des jonctions routières		Intersections/km	Distance entre les carrefours à plusieurs niveaux, km					
	Élevée	> 3	< 3	1	1	1		
	Moyenne	≤ 3	≥ 3				0	0
Véhicules stationnés	Présents							
	Absents			0	0	0	0	0
Éclairage ambiant	Élevée	Rues commerçantes, panneaux d'affichage, installations sportives, gares,		1				

		etc.					
	Moyenne	Situations normales		0	0		
	Faible					-1	-1
Difficulté de conduite	Très élevée						
	Élevée						
	Faible		0	0	0	0	0
Somme des poids (VWS)			5	3	2	1	0
Classe d'éclairage M (6-VWS)			M1	M3	M4	M5	M6

Route 1: Section d'une autoroute fermée avec ligne de séparation, à l'intérieur du tissu urbain avec une forte densité de jonctions routières et un éclairage ambiant variable. Le volume de trafic est également variable. La sélection des classes fait référence aux sections entre les jonctions séparées par catégorie.

Route 2: Section d'une autoroute fermée avec ligne de séparation, à l'extérieur du tissu urbain avec une faible densité de jonctions routières, un volume de circulation moyen ou faible et un faible éclairage ambiant. La sélection des classes fait référence aux sections entre les jonctions séparées par catégorie.

Tableau 11. Exemples de sélection de classes d'éclairage M

Critère	Options	Description		Route 3			Route 4	
				Δt_1	Δt_2	Δt_3	Δt_1	Δt_2
Vitesse de conception ou limite de vitesse	Très élevée	$v \geq 100$ km/h						
	Élevée	$70 < v < 100$ km/h					1	1
	Moyenne	$40 < v < 70$ km/h		-1	-1	-1		
	Faible	$v \leq 40$ km/h						
Volume de trafic		Autoroutes, directions à voies multiples	Directions à deux voies					
	Élevée	> 65 % de la capacité maximale	> 45 % de la capacité maximale	1				
	Moyenne	35 à 65 % de la capacité maximale	15 % à 45 % de la capacité maximale		0		0	
	Faible	< 35 % de la capacité maximale	< 15 % de la capacité maximale			-1		-1
Composition des usagers	Mixte, avec une grande proportion de véhicules non motorisés							
	Mixte			1	1	1	1	1
	Motorisés uniquement							
Séparation des sens de circulation	Non			1	1	1	1	1
	Oui							
Densité des jonctions routières		Intersections/km	Distance entre les carrefours à plusieurs niveaux, km					
	Élevée	> 3	< 3	1	1	1		
	Moyenne	≤ 3	≥ 3				0	0
Véhicules stationnés	Présents			1	1	1		
	Absents						0	0
Éclairage ambiant	Élevée	Rues commerçantes, panneaux d'affichage, installations sportives, gares, etc.						

	Moyenne	Situations normales	0	0	0		
	Faible					-1	-1
Difficulté de conduite	Très élevée						
	Élevée						
	Faible		0	0	0	0	0
Somme des poids (VWS)			4	3	2	2	1
Classe d'éclairage M (6-VWS)			M2	M3	M4	M4	M5

Route 3: Avenue urbaine sans séparation, forte densité des jonctions routières et intensité de trafic changeante ainsi que l'éclairage ambiant variable. La sélection des classes fait référence aux sections entre les intersections.

Route 4: Route provinciale à double sens sans séparation des directions, avec des intersections clairsemées et un faible éclairage ambiant. La sélection des classes fait référence aux tronçons entre les croisements de jonction routière.

Tableau 12. Exemples de sélection de classes d'éclairage C

Critère	Options	Description	Route 5		Route 6		
			Δt_1	Δt_2	Δt_1	Δt_2	Δt_3
Vitesse de conception ou limite de vitesse	Très élevée	$v \geq 100$ km/h					
	Élevée	$70 < v < 100$ km/h	2	2			
	Moyenne	$40 < v < 70$ km/h					
	Faible	$v \leq 40$ km/h			-1	-1	-1
Volume de trafic	Élevée				1		
	Moyenne		0			0	
	Faible			-1			-1
Composition des usagers	Mixte, avec une grande proportion de véhicules non motorisés		2	2			
	Mixte				1	1	1
	Motorisés uniquement						
Séparation des sens de circulation	Non		1	1	1	1	1
	Oui						
Véhicules stationnés	Présents				1	1	
	Absents		0	0			0
Éclairage ambiant	Élevée	Rues commerçantes, panneaux d'affichage, installations sportives, gares, etc.			1		
	Moyenne	Situations normales				0	0
	Faible		-1	-1			
Difficulté de conduite	Très élevée						
	Élevée						
	Faible		0	0		0	0
Somme des poids (VWS)			4	3	4	2	0
Classe C (6-VWS)			C2	C3	C2	C4	C6

Route 5: Intersection en T sur une route provinciale à double sens sans séparation des directions et à faible éclairage ambiant. La sélection des classes fait référence à la zone délimitée par les routes croisées, ainsi qu'à la distance d'arrêt en toute sécurité dans chaque sens de circulation.

Route 6: Intersection urbaine en T sans séparation des sens de circulation, avec ou sans voitures stationnées. La sélection des classes fait référence à la zone délimitée par les routes croisées, ainsi qu'à la distance d'arrêt en toute sécurité dans chaque sens de circulation.

Tableau 13. Exemples de sélection de classes d'éclairage P

Critère	Options	Description	Route 7		Route 8	
			Δt_1	Δt_2	Δt_1	Δt_2
Vitesse de conception ou limite de vitesse	Faible	$v \leq 40$ km/h	1			
	Très faible (marche)	Vitesse de marche			0	0
Volume de trafic	Élevée					
	Moyenne		0			
	Faible			-1	-1	-1
Composition des usagers	Piétons, cyclistes et circulation motorisée		2	2		
	Piétons et circulation motorisée					
	Piétons et cyclistes				1	1
	Piétons					
	Cyclistes					
Véhicules stationnés	Présents		1	1		
	Absents				0	0
Éclairage ambiant	Élevée	Rues commerçantes, panneaux d'affichage, installations sportives, gares, etc.			1	
	Moyenne	Situations normales	0	0		0
	Faible					
Somme des poids (VWS)			4	2	1	0
Classe d'éclairage P (6-VWS)			P2	P4	P5	P6

Route 7: Zone urbaine à vitesse limitée avec des voitures stationnées et un nombre variable d'usagers.

Route 8: Rue piétonne également utilisée par les cyclistes à l'intérieur du tissu urbain et dans une zone commerçante avec un éclairage ambiant changeant.

2.4 Exigences applicables aux classes d'éclairage routier

Chaque classe d'éclairage est régie par les exigences d'éclairage correspondantes. Ces exigences sont définies par la norme ELOT EN 13201-2 et sont obligatoires. Les exigences sont à la fois qualitatives et quantitatives. La caractéristique quantitative de base de la classe **M** est la **luminance L** de la surface de la route à partir de la position standard de l'observateur (conducteur) calculée en cd/m^2 . La caractéristique quantitative de base des classes **C** et **P** est l'**intensité lumineuse E** qui est calculé en lx. Les exigences en matière d'éclairage de chaque classe sont indiquées dans les tableaux 15 à 17.

Tableau 15. Prescriptions applicables aux classes d'éclairage M selon la norme ELOT EN 13201-2:2016

Classe	Luminance de la chaussée pour chaussée sèche et mouillée				Indice d'éblouissement	Éclairage des zones adjacentes
	Sèche			Mouillée	Sèche	Sèche
	L_m (cd/m ²)	U_o	U_l	U_{ow}	f_{TI}	R_{EI}
M1	2,00	0,40	0,70	0,15	10	0,35
M2	1,50	0,40	0,70	0,15	10	0,35
M3	1,00	0,40	0,60	0,15	15	0,30
M4	0,75	0,40	0,60	0,15	15	0,30
M5	0,50	0,35	0,40	0,15	15	0,30
M6	0,30	0,35	0,40	0,15	20	0,30

où:

L_m : Valeur moyenne de la luminance de la chaussée (minimum)

U_o : Uniformité de luminance (minimum)

U_l : Uniformité de luminance longitudinale (minimum)

U_{ow} : Uniformité de luminance sur chaussée humide (minimum)

f_{TI} : Indice d'éblouissement (valeur maximale)

R_{EI} : Indice d'éclairage des zones adjacentes à la route (minimum)

Tableau 16. Exigences de la classe d'éclairage C selon la norme ELOT EN 13201-2:2016

Classe	Exigences obligatoires		Exigence facultative
	E_m (lx)	U_o	f_{TI} (%)
C0	50,0	0,40	15
C1	30,0	0,40	15
C2	20,0	0,40	15
C3	15,0	0,40	20
C4	10,0	0,40	20
C5	7,50	0,40	20

où:

E_m : Éclairage moyen sur la chaussée (minimum)

U_o : Uniformité de l'éclairage (minimum)

Tableau 17. Exigences de la classe d'éclairage P selon la norme ELOT EN 13201-2:2016

Classe	Exigences obligatoires		Exigences facultatives		
	E_m (lx)	E_{min} (lx)	f_{TI} (%)	$E_{v,min}$ (lx)	$E_{sc,min}$ (lx)
P1	15,0	3,00	20	5,00	5,00
P2	10,0	2,00	25	3,00	2,00
P3	7,50	1,50	25	2,50	1,50
P4	5,00	1,00	30	1,50	1,00
P5	3,00	0,60	30	1,00	0,60
P6	2,00	0,40	35	0,60	0,20
P7	Il n'y a pas d'exigence quantitative et qualitative				

où:

- E_m : Éclairage moyen sur la chaussée (minimum)
- $E_{v,min}$: Valeur minimale de l'intensité de l'éclairage vertical sur la chaussée
- $E_{sc,min}$: Valeur minimale de l'éclairage semi-cylindrique sur la chaussée
- E_{min} : Valeur minimale d'intensité lumineuse

Pour assurer l'uniformité dans les classes **P**, la valeur d'intensité lumineuse moyenne calculée ou mesurée dans chaque cas ne doit pas dépasser 150 % de la valeur nominale. Pour plus de détails sur les exigences minimales de chaque classe d'éclairage, le concepteur de travaux doit consulter la norme ELOT EN 13201-2.

Veuillez noter que l'utilisation de l'exigence facultative pour l'éblouissement de la classe C est laissée à la discrétion des propriétaires de projets d'éclairage, le cas échéant. L'utilisation des exigences optionnelles pour l'éblouissement, l'intensité de l'éclairage vertical et l'éclairage semi-cylindrique dans les classes P est également laissée à la discrétion des propriétaires du projet d'éclairage, pour des raisons de reconnaissance faciale ou pour d'autres raisons.

3. Conception de l'éclairage routier, études d'éclairage

La conception de l'éclairage routier doit satisfaire aux exigences minimales des classes d'éclairage respectives, telles qu'elles ont été choisies selon la procédure analysée au chapitre 2, et inclure la sélection de l'équipement et de son dispositif d'installation sur le tronçon routier considéré. Les calculs phototechniques doivent être effectués conformément à la norme ELOT EN 13201-3:2015 ou version ultérieure.

Les exigences de classe diffèrent et dépendent principalement du type de classe d'éclairage sélectionnée, c'est-à-dire si elle vise à couvrir l'exigence de luminance (classes M) ou d'intensité lumineuse (classes C, P)

Les routes de la classe M nécessitent le calcul de $L_{av} (cd/m^2)$, U_o , U_l , U_{ow} , f_{TI} , R_{EI} .

Les routes de la classe C nécessitent le calcul de $E (lx)$, U_o et, à titre facultatif, de $f_{TI} (%)$.

Les routes de classe P nécessitent le calcul de $E (lx)$ $E_{min} (lx)$ et, à titre facultatif, de $E_v (lx)$, $E_{sc} (lx)$ και $f_{TI} (%)$.

Ce qui précède est défini par les exigences de chaque classe d'éclairage énoncées au chapitre 2. Les calculs des caractéristiques photométriques sont effectués sur une grille standard conformément aux exigences de la norme ELOT EN13201-3:2015 ou version ultérieure de celle-ci.

3.1 Sélection des géométries standard

Aux fins de la réalisation des études d'éclairage, le concepteur de travaux doit avoir à sa disposition, en plus des données relatives aux exigences de classe, les données supplémentaires suivantes, telles qu'elles sont présentées dans le tableau 18.

Tableau 18. Données supplémentaires nécessaires aux études d'éclairage routier

Caractéristiques géométriques de la route	<ul style="list-style-type: none"> • largeur de la route • nombre de trottoirs • largeur des trottoirs (le cas échéant) • largeur de ou des ligne(s) de séparation (le cas échéant) • nombre de voies de circulation • type de revêtement de chaussée
Caractéristiques du dispositif d'éclairage routier	<ul style="list-style-type: none"> • hauteur des poteaux d'éclairage • configuration des poteaux d'éclairage sur les bords de route • distance entre deux poteaux d'éclairage consécutifs • distance des poteaux d'éclairage par rapport au bord du trottoir • longueur du bras • inclinaison du bras/du luminaire
Autres données	<ul style="list-style-type: none"> • Facteur de maintenance de l'installation

Si les luminaires ne sont pas installés sur des poteaux (support de surface, suspension de câble, etc.), le concepteur des travaux doit s'assurer que les résultats de son étude sont conformes aux exigences du règlement.

Si l'éclairage concerne un nouveau réseau d'infrastructures de poteaux avec la possibilité de choisir ces emplacements, le concepteur de travaux doit examiner et choisir le positionnement optimal des luminaires (par exemple, hauteur du poteau, espacement des poteaux, pente, etc.) en fonction de l'efficacité énergétique de l'installation, de la qualité du service d'éclairage fourni et des conditions locales restrictives des travaux. Dans le même temps, l'équipement d'éclairage choisi doit être optimal du point de vue énergétique et phototechnique.

Dans les nouvelles installations d'éclairage, des études phototechniques seront réalisées pour toutes les géométries présentes, afin d'assurer l'effet d'éclairage requis en fonction de chaque classe à chaque point de l'installation. Lorsque les divergences entre les différentes géométries sont mineures, ou non mineures, mais nombreuses et inévitables en raison de diverses difficultés dans la conception du travail, le concepteur de travaux, par regroupement approprié, peut choisir de réaliser des études pour des cas représentatifs, qui sont considérés comme des «grilles de calcul standard».

Les grilles de calcul standard sont les plus critiques dans le cas d'études sur un réseau d'éclairage routier existant, où il n'y a pas de place pour les modifications et les interventions dans la configuration des poteaux. Dans ces cas, le concepteur de travaux regroupe les différents cas et crée des cas représentatifs de routes et de géométries. Les caractéristiques géométriques des routes doivent être regroupées de manière à ce que les routes appartenant au même groupe soient couvertes d'un point de vue phototechnique par une solution photométrique (type de luminaire, répartition de l'intensité lumineuse, flux lumineux total, etc.). Par conséquent, cette méthode crée un ensemble de cas différents pour répondre aux exigences phototechniques, dont le nombre dépend des éléments suivants:

- Le nombre total de luminaires inclus dans l'intervention.
- Le nombre de cas différents de géométries résultant de particularités et d'un manque d'uniformité de la zone étudiée.
- Le degré de présence de multiples types d'équipements d'éclairage en raison d'exigences esthétiques ou autres, etc.

L'ensemble de routes représentatives ci-dessus est défini comme la **norme phototechnique** de l'intervention.

Chaque cas standard est accompagné du nombre correspondant de luminaires qu'il représente, de sorte que son effet sur la consommation énergétique globale de la solution peut être évalué.

Il est à noter que le concepteur de travaux doit sélectionner les grilles standard en fonction des caractéristiques géométriques les plus défavorables, de manière à ce que toutes les géométries «représentées» soient correctement couvertes d'un point de vue phototechnique.

Il est à noter que si les caractéristiques de la route diffèrent, le concepteur de travaux choisit une grille standard pour chaque section distincte. Par conséquent, le choix d'une grille standard présentant les caractéristiques les plus défavorables n'est pertinent que pour cette section et non pour les autres sections.

Par conséquent, la sélection des caractéristiques géométriques des géométries standard de la norme phototechnique est sélectionnée afin de répondre dans toute la mesure du possible aux exigences phototechniques des routes.

La norme phototechnique doit être complète, c'est-à-dire inclure toutes les caractéristiques requises pour la réalisation d'études phototechniques, mais doit également se concentrer sur l'application des exigences d'optimisation pour la conception de l'éclairage avec des indicateurs d'évaluation des performances, comme présenté à la section 3.4.

Le tableau 19 présente des exemples de grille de calcul standard d'une norme phototechnique. Les valeurs indiquées sont indicatives.

Tableau 19. Exemple de grilles de calcul standard d'une norme phototechnique.

Grille standard	Installation de poteaux	Largeur de la ligne de séparation (m)	Largeur de la route (m)	Nombre de voies par sens de circulation	Espacement des poteaux (m)	Hauteur du bras du luminaire (m)	Distance du luminaire par rapport à la chaussée (m)	Angle de bras existant (°)	Classe d'éclairage
1	Ligne de séparation	-	6,0	1	35	9	0,35	5	M2
2	Droit	-	12,5	3	40	12	0,70	0	M2
3	Droit	-	9,0	2	27	9	0,50	5	M3
4	Ligne de séparation	6	6,0	1	26	9	-1,20	0	M3
5	Ligne de séparation	4	7,0	2	24	9	-0,25	0	M3
6	Traversé	-	7,5	2	36	9	0,00	10	M4
7	Droit	-	8,0	2	28	9	1,50	0	M4
8	Droit	-	8,0	2	28	9	1,50	0	M5
9	Droit	-	10,0	2	33	7	0,35	5	M5
10	Droit	-	12,0	3	30	7	-1,50	15	M5
11	Droit		5,0	1	30	7	0,60	0	C2
12	Droit		6,0	1	29	7	0,10	5	C2
13	Droit		6,5	1	32	7	0,40	5	C3
14	Droit		6,5	1	31	9	1,50	0	C3
15	Droit		6,5	1	34	7	-2,00	5	C3
16	Traversé		6,5	1	38	9	1,00	0	C3
17	Droit		7,0	2	35	7	-1,20	0	C4
18	Droit		7,0	2	25	9	-1,70	0	C4
19	Droit		7,0	2	32	7	-1,50	5	C5
20	Droit		8,0	2	30	7	0,00	5	C5

3.2 Facteur d'entretien

Un élément clé de la conception de l'éclairage est la détermination du facteur de maintenance pour la réduction de la capacité d'éclairage de l'installation au fil du temps.

Chaque étude d'éclairage doit calculer le facteur de maintenance (MF) respectif de l'installation. La valeur du facteur de maintenance est appliquée aux caractéristiques photométriques calculées et affecte ainsi la consommation d'énergie et d'électricité installée.

Le facteur de maintenance est le rapport de luminance ou d'intensité lumineuse obtenu par un système d'éclairage après une période de fonctionnement clairement définie par rapport à la luminance ou à l'intensité lumineuse respectivement obtenue par le système le premier jour de fonctionnement (nouveau système). La méthode de calcul est décrite dans le rapport technique CIE-154:2003 et dans la norme ISO/CIE TS 22012:2019.

Le facteur d'entretien est défini comme suit: $MF = E_m / E_{in}$ (3)

où:

E_m : La luminance ou l'intensité lumineuse après une période de fonctionnement clairement définie (maintenue)

E_{in} : Luminance ou intensité lumineuse le premier jour de fonctionnement (initiale)

Le calcul du facteur de maintenance, tel que défini ci-dessus, est pertinent pour une période d'exploitation spécifique et clairement définie de l'installation. Cela signifie que pour la même installation, un facteur de maintenance différent est calculé pour une période de temps différente. Par conséquent, un autre facteur de maintenance est calculé, par exemple, sur une durée de deux ans et un autre facteur de maintenance pendant quatre ans. Cette période doit être prise en considération par le concepteur des travaux comme étant égale à la durée d'utilisation prévue/indiquée des types de luminaires sélectionnés, déterminée en fonction des données pertinentes et dûment certifiées du fabricant ci-dessous.

Le facteur d'entretien doit être calculé en tant que produit de trois sous-facteurs selon l'équation suivante.

$$MF = LLMF \times LSF \times LMF \quad (4)$$

Chaque facteur est défini et calculé comme suit:

LLMF — Lamp Lumen Maintenance Factor (facteur de maintenance du flux lumineux):

Le facteur d'entretien calcule la diminution du flux lumineux des sources lumineuses pendant les heures de fonctionnement. Il est calculé sur la base des caractéristiques techniques de chaque source lumineuse. Pour les sources à LED, le facteur doit être calculé sur la base des données fournies par le fabricant de la source lumineuse à LED conformément aux normes IES-LM-80 et IES-TM-21 et/ou à la norme IEC 62717 et pour la période de temps liée au facteur d'entretien calculé.

LSF — Lamp Survival Factor (facteur de survie des lampes):

Calcule la probabilité de défaillance des sources lumineuses et est fourni par le fabricant des sources lumineuses.

LMF — Luminaire Maintenance Factor (facteur d'entretien des luminaires):

Calcule la diminution des performances des luminaires en ce qui concerne les pièces optiques telles que les lentilles, les réflecteurs, les bouchons, etc. Le calcul est effectué en conjonction avec l'indice de protection IP du luminaire. Des exemples sont fournis dans les tableaux correspondants des normes CIE 154:2003 et ISO/CIE TS 22012:2019. Pour ce calcul, le concepteur de travaux doit tenir compte de la fréquence d'entretien/de nettoyage prévue des luminaires, sur la base des spécifications/des manuels de l'ouvrage considéré.

3.3 Logiciel de conception d'éclairage

Le logiciel de conception doit pouvoir effectuer les calculs phototechniques nécessaires. Il intègre toute révision des normes européennes et applicables (par exemple, EN 13201) et doit aussi avoir la possibilité de produire des modèles 3D d'analyse photométrique. Il est également nécessaire qu'il soit compatible avec la photométrie de la plupart des luminaires industriels du marché international dans les formats de fichiers les plus reconnaissables (.ldt, .ies) ou les plus récents.

3.4 Optimisation de la conception

Comme indiqué à la section 3.1, le concepteur de travaux doit en tout état de cause établir la norme phototechnique complète contenant toutes les caractéristiques nécessaires à l'élaboration d'études phototechniques sur des exigences spécifiques, de sorte que son optimisation puisse ensuite être réalisée en fonction de l'empreinte énergétique de l'intervention, ainsi que de l'efficacité de l'utilisation de l'éclairage produit.

L'optimisation consiste à trouver/explorer les solutions photométriques alternatives résultant de l'équipement pour chaque cas de la norme phototechnique, ainsi que de trouver la meilleure solution dans chaque grille séparément et/ou globalement dans l'installation considérée. L'optimisation consiste donc à trouver la solution la plus économe en énergie, c'est-à-dire la solution avec la puissance électrique absorbée la plus faible.

Dans le même temps, le concepteur de travaux calcule les indicateurs de qualité et de performance énergétique suivants définis dans la norme ELOT EN 13201-5:2016.

3.4.1 Indice de densité de puissance

$$D_p = \frac{P}{\sum_{i=1}^n (E_i \cdot A_i)} \frac{W}{lx \cdot m^2} \quad (5)$$

où:

D_p : Indice de densité de puissance

P : La puissance totale des luminaires couvrant la zone concernée

E_i : L'intensité lumineuse horizontale moyenne de la sous-zone **i**

A_i : La surface de la sous-zone **i** éclairée par le système d'éclairage

n : Le nombre de sous-zones éclairées

L'indice **D_p** calcule la performance du système d'éclairage dans la zone d'intérêt (voiture, trottoirs, etc.) présentant la quantité de puissance absorbée nécessaire à l'éclairage routier. Il

convient de noter que l'indice Dp est une évaluation de la solution d'éclairage basée sur le critère d'éclairage, c'est-à-dire pour les classes d'éclairage C et P.

Les instructions détaillées pour l'utilisation de cet indice sont décrites dans la norme ELOT EN 13201-5:2016.

3.4.2 Facteur de luminance

Lorsque le critère de conception concerne la luminance, c'est-à-dire les classes M, le concepteur de travaux doit calculer le facteur de luminance q_{inst} comme indiqué ci-dessous et plus en détail dans la norme ELOT EN 13201-5.

$$q_{inst} = \frac{\bar{L}}{Q_0 \cdot \bar{E}} \quad (6)$$

où:

q_{inst} : Facteur de luminance

\bar{L} : Luminance moyenne de la chaussée

\bar{E} : Intensité lumineuse moyenne sur la chaussée

Q_0 : Le facteur de réflexion total de l'asphalte

Le facteur de luminance montre l'efficacité de la distribution de l'éclairage et le positionnement des luminaires afin de produire la plus grande luminance possible avec le moins d'intensité lumineuse possible sur la chaussée pour un facteur de réflexion de l'asphalte donné.

3.4.3 Indicateur d'efficacité globale de l'installation.

L'efficacité globale d'une installation d'éclairage peut être calculée pour les installations, avec la luminance ou l'intensité lumineuse comme critère de calcul, en utilisant l'équation suivante.

$$n_{inst} = C_L \cdot f_M \cdot U \cdot R_{LO} \cdot n_{ls} \cdot n_p \quad (7) \text{ où:}$$

n_{inst} : Efficacité totale de l'installation d'éclairage routier

C_L : Facteur de correction de la luminance

f_M : Facteur de maintenance totale de l'installation

U : Facteur d'utilisation de l'installation

R_{LO} : Rapport de sortie optique des luminaires

n_{ls} : Efficacité des sources lumineuses en lm/W

n_p : Efficacité énergétique des luminaires

Les instructions détaillées pour l'utilisation de cet indice sont décrites dans la norme ELOT EN 13201-5:2016.

3.4.4 Indicateur annuel de la consommation d'énergie

L'indicateur annuel de la consommation d'énergie D_e calcule les performances du système d'éclairage au cours de la période considérée (par exemple l'année) dans la zone d'intérêt. Cet indicateur spécifie la quantité d'énergie consommée requise pour l'éclairage routier.

$$D_E = \frac{\sum_{j=1}^m (P_j \cdot t_j)}{A} \frac{Wh}{m^2} (8)$$

où:

D_E : Indicateur annuel de la consommation d'énergie

P_j : La puissance totale des luminaires couvrant la zone concernée pendant la période d'exploitation **j**

t_j : Durée de la période d'exploitation **j**

A : Surface de la zone éclairée par le système d'éclairage

m : Nombre de périodes d'exploitation différentes

Le concepteur de travaux peut se référer à la norme ELOT EN 13201-5 pour des informations plus détaillées sur l'explication des différents éléments et la mise en œuvre des indicateurs de performance.

Les instructions détaillées pour l'utilisation de cet indice sont décrites dans la norme ELOT EN 13201-5:2016.

Le concepteur de travaux a la possibilité d'introduire d'autres critères de qualité qui entraînent la mise à niveau du service d'éclairage fourni. Les exemples incluent le calcul de la puissance installée par kilomètre routier (kW/km), l'évaluation des différentes propositions d'éclairage en fonction de l'uniformité globale de l'éclairage (luminance et/ou illumination) et l'uniformité de luminance longitudinale.

Il est proposé d'utiliser les critères de qualité de la norme phototechnique comme critères d'évaluation technique pour l'évaluation des offres alternatives dans les procédures d'appel d'offres, car il s'agit d'une méthode d'évaluation purement objective qui favorise un résultat d'éclairage positif.

3.5 Limitation de la pollution lumineuse et température de couleur des sources lumineuses

La pollution lumineuse est un effet secondaire important de l'éclairage extérieur qui affecte à la fois les usagers eux-mêmes et l'environnement environnant. Afin de limiter la lumière errante et la pollution lumineuse dans les zones adjacentes, les luminaires utilisés dans l'éclairage routier doivent avoir une émission lumineuse nulle dans l'hémisphère supérieur par conception, c'est-à-dire ULOR = 0 %. L'évaluation de ces indicateurs doit être effectuée en fonction du positionnement des luminaires à un angle de 0 degré. Il convient de noter que cette exigence concerne les luminaires routiers et non les luminaires architecturaux (lampes de plafond, éclairage décoratif, etc.). Dans des cas particuliers d'éclairage routier avec l'utilisation de projecteurs ou de luminaires hautement asymétriques, un écart par rapport à la spécification jusqu'à la catégorie U1 peut être autorisé.

Dans les cas où il est jugé approprié de placer les luminaires à un angle supérieur à 0 degré (en raison d'une solution plus efficace), il est suggéré que l'angle des luminaires ne dépasse pas 10 degrés et il est précisé qu'en aucun cas il ne doit dépasser 15 degrés.

Selon le rapport «Revision of the EU Green Public Procurement Criteria for Road Lighting and traffic signals» («Révision des critères des marchés publics écologiques de l'Union pour l'éclairage routier et les feux de circulation») du JRC de l'Union, afin de réduire l'effet de la température de couleur élevée sur le rythme circadien humain et de supprimer la sécrétion de

mélatonine et de limiter l'impact sur les êtres vivants, ainsi que conformément à la réglementation d'autres pays européens, la température nominale de couleur des sources lumineuses utilisées sur le réseau routier national devrait être ≤ 4000 K (une température ≤ 3000 K est recommandée), tandis que pour les zones résidentielles, l'utilisation de sources lumineuses ayant une température nominale de couleur ≤ 3000 K est requise.

4. Spécifications de l'équipement

4.1 Spécifications techniques minimales pour les luminaires d'éclairage routier

Les luminaires montés sur un bras ou les projecteurs de route équivalents utilisés pour l'éclairage extérieur de chaque type de route doivent avoir les caractéristiques techniques minimales et les certifications suivantes. Les luminaires de type urbain ou de rue présentant une conception architecturale ornementale sont exclus. Il convient de noter que chaque pouvoir adjudicateur peut exiger des spécifications supplémentaires de celles énumérées ci-dessous et intégrer les spécifications de la norme HTS applicable (Spécifications techniques helléniques).

4.1.1 Caractéristiques de construction d'un luminaire

Le corps du luminaire doit être constitué d'un matériau approprié aux conditions de fonctionnement et aux exigences. Dans les cas où l'équipement d'éclairage est proche d'un environnement côtier, il doit résister à l'environnement côtier. La construction du corps du luminaire doit assurer la capacité de dissiper la chaleur produite à la fois par la source optique et par les pièces électriques. Le luminaire peut avoir une capacité de réglage de l'angle si les études d'éclairage respectives l'exigent. En conséquence, les projecteurs doivent être équipés de supports appropriés pour leur bon réglage sur les bases des poteaux.

Dans le cas des projecteurs où les instruments électriques se trouvent dans un boîtier distinct de l'unité optique, ils doivent être verrouillés dans un cadre approprié pour leur bon fonctionnement et être accompagnés du câblage approprié à l'unité optique.

4.1.2 Capot de protection

Le capot de protection est conçu pour protéger l'unité optique de l'environnement extérieur. Le capot utilisé pour protéger l'unité optique peut avoir les deux formes suivantes.

- Dans le cas des sources optiques à LED, le capot de protection doit être en verre trempé, qui protège la source optique et les lentilles ou réflecteurs de diffusion lumineuse dans leur ensemble. Le capot peut être transparent ou translucide (de type dépoli).
- Capot de protection en matériau polycarbonate avec résistance aux ultraviolets (UV). Dans ce cas, le capot de protection peut également être équipé de lentilles de diffusion.

4.1.3 Matériaux de l'unité optique

Dans le cas d'un couvercle en verre ou en polycarbonate sans lentilles de diffusion, la diffusion est réalisée par des lentilles ou des réflecteurs en aluminium. Les lentilles peuvent

être faites de PMMA ou de silicone ou d'un autre matériau équivalent résistant aux températures de fonctionnement. Les réflecteurs sont constitués d'aluminium anodisé ou d'un autre matériau d'un facteur de réflexion supérieur.

4.1.4 Caractéristiques de fonctionnement

4.1.4.1. Données photométriques

Les données photométriques sont obtenues à une température T_a de 25 °C. Les données photométriques sont obtenues conformément à la norme EN 13032 ou à la norme IES LM 79 (leurs versions les plus récentes).

La puissance et le flux lumineux des luminaires sont sélectionnés en fonction des besoins d'éclairage pour chaque utilisation. En outre, en cas d'utilisation de luminaires à LED, la température de couleur corrélée (CCT) ne doit pas dépasser 4000 K (voir section 3.5). La combinaison des valeurs de CCT et de CRI est exprimée en codes de couleur conformes à la norme IEC 62717, par exemple 740 (CRI 70, 4000 K), 730 (CRI 70, 3000 K), etc.

La répartition de l'intensité lumineuse du luminaire doit être choisie par le concepteur des travaux selon les exigences.

4.1.4.2. Caractéristiques électriques

Le luminaire doit présenter les caractéristiques électriques minimales suivantes:

- Fonctionnement sur un réseau ayant une tension nominale de fonctionnement de 230V AC 50 Hz et une tolérance à la fluctuation sur la valeur nominale de fonctionnement d'au moins 220-240V.
- Protection contre les surtensions d'au moins 10 kV (selon la norme ELOT EN 61000-4-5, classe d'essai X).
- Protection contre les chocs électriques de classe I ou II (conformément à la norme EN 60598-1).
- Facteur de puissance du luminaire d'au moins 0,9 en mode pleine charge. Dans les cas où le luminaire fonctionne également dans des conditions de gradation, le concepteur des travaux veille à ce que le facteur de puissance soit maintenu aussi haut que possible et aussi proche que possible de la valeur ci-dessus.
- Contrôle de scintillement léger (PstLM, SVM selon les normes IEC TR 61547-1:2020 et IEC TR 63158:2018).

4.1.4.3. Degrés de protection contre les influences extérieures

Le luminaire doit être étanche à l'eau et à la poussière de catégorie IP66 au moins et avoir une résistance aux chocs d'au moins IK08.

Le luminaire doit pouvoir fonctionner dans un environnement extérieur compris entre -20 °C et + 40 °C. Compte tenu de l'importance de la température élevée dans la fonctionnalité des luminaires, la limite de température supérieure est conforme à la norme EN/IEC 60598. En particulier, chaque luminaire doit pouvoir fonctionner à une température allant jusqu'à T_a 40 °C ou plus en fonction des conditions extérieures de l'environnement.

4.1.4.4 Connectivité

Les luminaires LED doivent avoir une fonction de gradation du flux lumineux. À cette fin, leurs unités d'alimentation doivent pouvoir recevoir les commandes appropriées via DALI ou 1-10V (0-10V) ou PWM ou autre type en fonction des progrès technologiques.

Si les luminaires ne sont pas fournis avec la solution de gestion intégrée ci-dessus, ils doivent être fournis avec des prises d'expansion futures appropriées. Ces prises assurent le bon fonctionnement du luminaire jusqu'à ce qu'un contrôleur soit installé. En particulier, chaque luminaire de route doit être équipé de NEMA Socket 7 PIN C136.41 ou de Zhaga Socket ou d'un autre équivalent standardisé selon les progrès technologiques et les techniques de connectivité.

Toutes les connexions internes du luminaire doivent être mises en œuvre au cours de sa production et l'installation future d'un contrôleur doit être aussi simple que possible.

4.1.4.5 Maintien du flux lumineux

La maintenance du flux lumineux des sources LED est exprimée par le rapport technique des normes IES LM-80 et IES TM-21. Les luminaires doivent avoir des sources LED d'une valeur minimale de L80 calculée à 50 000 heures à une température extérieure d'au moins 25 °C. Le rapport LM 80 doit être utilisé comme preuve de cette déclaration, qui doit contenir un ou plusieurs ensembles de données représentatifs de la fonction du luminaire, c'est-à-dire des combinaisons de courant de commande (If-mA) et de température Ts (ou Tsp).

Il est à noter que si une déclaration de maintien du flux lumineux est demandée, avec un coefficient Byy autre que B50, la norme IEC 62717 peut également être utilisée pour le calcul.

4.1.4.6 Certifications

Les luminaires doivent avoir au moins les certifications suivantes:

1. Déclaration de conformité CE du fabricant. La déclaration comprend le respect des directives et des normes d'harmonisation correspondantes, le cas échéant.
 - a. Directive basse tension (LVD) 2014/35/UE
 - b. Directive sur la compatibilité électromagnétique (CEM) 2014/30/UE
 - c. Directive 2009/125/CE sur l'éco-conception
 - d. Règlement (UE) 2017/1369 tel que complété par le règlement (UE) 2019/2015
 - e. ATEX 2014/34/UE pour les produits destinés à être utilisés dans des atmosphères potentiellement explosives, le cas échéant et si l'étude prévoit la création de telles conditions dans les lieux où les produits doivent être placés
 - f. Directive RoHS 2011/65/UE
2. Le fabricant de luminaires doit disposer d'un système actif de gestion de la qualité ISO 9001:2015 et d'un système de management environnemental ISO 14001:2015 ou plus récent. La certification comprend la fabrication et la mise sur le marché de produits d'éclairage.

3. Certificat ENEC ou autre certificat ISO de type 5 équivalent répondant aux exigences des normes basse tension (normes EN 60598-1, EN 60598 2-3).
4. Facultatif — Certificat de type ENEC+ ou autre certificat ISO de type 5 équivalent relatif à l'application de l'EPRS 003 (application de la norme EN/IEC 62722-2-1).
5. Les données photométriques doivent être obtenues auprès d'un laboratoire accrédité ISO 17025 d'un organisme EA-MLA ou IAF/ILAC. Le pouvoir adjudicateur peut également exiger, en plus d'un laboratoire accrédité, que le laboratoire des données photométriques soit approuvé/reconnu par un organisme accrédité conformément à la norme ISO 17025. Dans ce cas, une déclaration de laboratoire doit être fournie indiquant que les données photométriques proviennent du laboratoire. La preuve de l'origine des données photométriques peut être une déclaration du laboratoire émetteur ou du laboratoire du fabricant si elle est disponible.
6. Il est recommandé que l'accréditation du laboratoire par un organisme EA-MLA (et non généralement par l'IAF/ILAC) soit requise, étant donné que seuls les organismes européens appartiennent à ce groupe d'organismes d'accréditation.
7. Les données d'entretien du flux lumineux conformément à la LM 80 doivent être obtenues à partir d'un laboratoire accrédité ISO 17025, EA-MLA ou IAF/ILAC.

Il est à noter que les certifications ci-dessus, ainsi que les caractéristiques de construction, sont des exigences minimales et chaque concepteur des travaux peut améliorer les exigences avec des caractéristiques qui favorisent la qualité des produits offerts. Des certificats plus spécifiques et/ou des rapports d'essais (par exemple pressions du vent, vibrations, résistance thermique, etc.) peuvent également être demandés en fonction des conditions de chaque application.

Enfin, il est nécessaire de fournir du matériel d'information supplémentaire, des photographies, des manuels d'installation et d'autres matériels techniques pour le respect des spécifications.

4.2 Spécifications techniques minimales pour les systèmes de contrôle à distance des éclairages extérieurs

4.2.1 Interopérabilité

Les systèmes de commande des installations d'éclairage routier doivent être équipés de la technologie appropriée pour permettre l'interopérabilité avec d'autres systèmes de contrôle. L'interopérabilité concerne les paramètres suivants:

- a) La capacité d'échanger des données opérationnelles et des signaux de contrôle entre deux systèmes de contrôle ou plus de fabricants différents dans le cadre d'un logiciel de contrôle commun. Cela nécessite la mise à disposition d'une interface de programmation d'application appropriée (API, SDK, etc.) par le fabricant du système de contrôle.
- b) Afin de permettre la mise à niveau des contrôleurs d'éclairage, ainsi que la possibilité d'élargir les options de l'opérateur, il est proposé d'utiliser des contrôleurs d'éclairage de type NEMA Socket ou Zhaga, afin que l'installation d'éclairage puisse être facilement améliorée à l'avenir.

4.2.2 Caractéristiques de fonctionnement

Le système de contrôle à distance se compose des dispositifs de terrain et du logiciel correspondant. Les dispositifs de terrain, en termes de caractéristiques et de nombre, dépendent de la technologie de communication correspondante. Il existe 3 catégories de base de systèmes de contrôle à distance

- Systèmes avec contrôleur de segment central
- Systèmes avec des technologies qui permettent à chaque luminaire de communiquer directement avec le cloud de gestion sans le truchement d'un contrôleur de segment central.
- Il est permis d'utiliser des systèmes hybrides avec 2 types de contrôleurs créant un réseau maillé à une fréquence dégroupée appropriée pour la communication des contrôleurs avec le cloud. Le premier type de contrôleur communiquera à la fois avec le réseau mobile et le réseau maillé local. Le deuxième type de contrôleur aura une communication au moins avec le réseau maillé local.

Dans le cas des systèmes dotés d'un contrôleur de segment central, la communication entre les contrôleurs de luminaires et le contrôleur de segment respectif peut être réalisée par des moyens sans fil ou câblés. Dans le cas d'une communication sans fil, le contrôleur de segment sans fil peut être placé à proximité ou à l'intérieur d'un panneau d'alimentation électrique (par exemple, systèmes d'éclairage de routes et de carrés).

Tous les systèmes de commande doivent avoir les caractéristiques minimales de fonctionnement suivantes:

1. Commande dynamique directe de tout luminaire ou groupe de luminaires (allumage/arrêt et réglage du flux lumineux aux niveaux intermédiaires).
2. Possibilité de créer des groupes de luminaires en fonction des besoins d'installation.
3. Surveillance de l'état de fonctionnement des luminaires.
4. Possibilité de connecter des capteurs supplémentaires (mouvement, présence de photocellules, conditions météorologiques, etc.) qui augmentent la fonctionnalité de l'installation.
5. Informations visuelles sur le fonctionnement d'un système GIS (par exemple Google Maps, etc.).
6. Stockage des paramètres d'exploitation dans une base de données.
7. Création de rapports d'exploitation.
8. Création d'alarmes d'erreur.

Il est à noter que le concepteur des travaux peut demander plus de caractéristiques de fonctionnement ainsi que de caractéristiques de construction que celles mentionnées, en fonction des exigences de chaque application et de la technologie qu'il souhaite utiliser.

5. Méthodologie de fonctionnement de l'éclairage adaptatif

5.1 Introduction

Selon la norme ELOT EN 13201, l'éclairage adaptatif est une technique d'ajustement de la classe d'éclairage en tenant compte des changements dans les critères de sélection des classes spécifiques pendant l'opération d'installation. Lorsqu'il est utilisé, l'éclairage adaptatif se traduit par une réduction de l'empreinte énergétique de l'installation d'éclairage et la

protection de l'environnement tant en termes d'émissions de gaz à effet de serre que de pollution lumineuse.

En particulier, selon la norme CEN/TR 13201-1, il est permis de modifier la classe d'éclairage d'une route, c'est-à-dire la classe d'éclairage nominale, si, pendant le fonctionnement du système d'éclairage routier, le poids d'un ou de plusieurs des critères change, puisqu'il s'agit d'un changement de paramètres dans son ensemble. Dans ce cas et pour la durée des variations de poids, la route se voit attribuer une classe d'éclairage inférieure, également appelée classe d'éclairage adaptatif.

De cette façon, plusieurs niveaux d'éclairage sont atteints pendant la nuit, répondant aux besoins locaux et horaires d'éclairage routier, offrant des conditions optimales au conducteur tout en maintenant la consommation d'énergie aussi faible que possible. Une classe d'éclairage nominal et, le cas échéant, une ou plusieurs classes d'éclairage adaptatif sont attribuées à chaque route étudiée, si le poids d'un ou de plusieurs critères de sélection des classes change.

5.2 Conception d'un ouvrage d'éclairage adaptatif

La conception d'un travail d'éclairage adaptatif exige que l'équipement d'éclairage soit en mesure d'ajuster le flux lumineux pendant des périodes spécifiques, que ce soit pour la programmation autonome ou la gestion à distance.

Les niveaux de flux lumineux requis ou «niveaux de gradation» sont définis en tenant compte de la classe nominale et des classes d'éclairage adaptatif. Ces niveaux sont identifiés par le concepteur d'éclairage après les calculs correspondants de l'éclairage adaptatif.

Le nombre de niveaux de réglage de la luminance est dérivé du nombre de classes adaptatives que le concepteur des travaux a défini. En fonction des capacités de l'équipement d'éclairage et du système de gestion à distance, les profils de contrôle de flux lumineux suivants peuvent être mis en œuvre:

1. **Niveau de gradation fixe.** Dans ce cas, il existe des profils de fonctionnement fixes qui sont activés à des moments spécifiques sélectionnés par le concepteur des travaux, en fonction des conditions locales des paramètres changeants. Le niveau de gradation fixe peut se rapporter, par exemple, à un ou plusieurs niveaux intermédiaires autres que le niveau nominal. Le niveau de gradation fixe est atteint soit en pré-programmant les luminaires pendant la phase d'installation, soit au moyen d'un système de gestion de l'éclairage à distance.
2. **Niveau de gradation variable.** Si l'installation est capable de surveiller en temps quasi réel la modification des paramètres affectant les classes d'éclairage adaptatif, un niveau de gradation variable peut être utilisé. Cette méthode est appliquée aux autoroutes et/ou aux avenues urbaines avec surveillance des flux de circulation. Le niveau de gradation variable peut être atteint grâce à l'interconnexion du système d'éclairage avec les données de trafic et avec un traitement approprié. Cette méthode permet une plus grande économie d'énergie et garantit également que l'éclairage répondra toujours aux conditions de circulation, même en cas d'urgence.

6. Contrôle de conformité des équipements d'éclairage routier

6.1 Introduction

Les études sur l'éclairage routier précisent qu'un chapitre spécifique devrait être inclus, à savoir les «lignes directrices pour le contrôle de la conformité pendant la mise en œuvre (OESY)», afin de décrire les procédures à suivre pour le contrôle de la conformité pendant la phase de mise en œuvre de l'étude.

Le contrôle de conformité concerne les contrôles qualitatifs et quantitatifs à effectuer pendant la mise en œuvre et après l'achèvement des travaux d'installation des équipements d'éclairage routier.

Le contrôle vise à confirmer, par échantillonnage, les résultats obtenus, que ce soit sur l'équipement lui-même (luminaires, système de commande, etc.) ou sur l'installation dans son ensemble (performance d'éclairage sur site).

Les procédures de contrôle de la conformité doivent en tout état de cause être conformes aux dispositions (données de certification, essais de bon fonctionnement, critères d'acceptation des travaux finis, etc.) des spécifications techniques helléniques pertinentes (HTS/ELOT TS 1501-05-07-02-00 «Poteaux d'éclairage routier»). Le contrôle de la conformité ne remplace en aucun cas les contrôles à partir desquels aboutissent les certificats de conformité prévus dans les spécifications techniques et ne certifie pas non plus le processus de production de l'équipement.

Les contrôles à prévoir dans les OESY, en particulier en ce qui concerne les luminaires et leurs performances après intégration dans l'installation d'éclairage routier, devraient inclure des mesures de laboratoire et des contrôles sur site décrits ci-dessous.

6.2 Mesures de laboratoire

Des contrôles d'échantillons de l'équipement doivent être prévus pour chaque nouvelle installation de luminaires dans les travaux d'éclairage routier (ou la mise à niveau d'une installation existante). Le nombre d'échantillons à contrôler dépend du travail et du nombre de différents types de luminaires. Dans tous les cas, les contrôles d'échantillons doivent représenter adéquatement l'ensemble de l'installation contrôlée.

Les échantillons doivent être prélevés pendant l'installation du groupe de luminaires à installer sur place et aucun échantillon d'usine ne doit être sélectionné pour inspection.

Les mesures doivent être effectuées par un organisme accrédité pour les mesures respectives, qui doit disposer de l'infrastructure appropriée et de l'équipement étalonné. Les mesures doivent être effectuées conformément à l'une des normes EN 13032, CIE S025 ou IES LM79.

Les caractéristiques à contrôler, au minimum, sur chaque échantillon sont présentées dans le tableau 20. Les caractéristiques contrôlées sont comparées à celles fournies par le constructeur et les écarts ne doivent pas dépasser le pourcentage correspondant indiqué dans le même tableau.

Tableau 20 — Caractéristiques mesurées lors des essais en laboratoire des luminaires.

Caractéristique contrôlée	Écart maximal par rapport à la déclaration du fabricant
Tension de fonctionnement	-
Courant total du luminaire	-
Puissance totale du luminaire	+ 10 %
Facteur de puissance du luminaire à pleine charge	- 0,05
Distorsion harmonique du courant du luminaire jusqu'au 30 ^e harmonique	+ 2 %
Flux lumineux total du luminaire	- 10 %
Répartition de l'intensité lumineuse du luminaire	-
Température de couleur corrélée (CCT) mesurée à des niveaux de C0-C330 à 60° et à des angles de c = 0 à c = 180° à 30°).	± 200 K
Variation de puissance par rapport au flux lumineux pour les luminaires avec flux lumineux réglable entre 100 % et 0 % du flux lumineux avec un pourcentage de réglage de 10 %.	-
Lumière scintillante des luminaires (PstLM, SVM) dans des conditions de fonctionnement nominales et à chaque niveau de contrôle du flux lumineux.	+ 5 %

6.3 Mesures sur site

6.3.1 Catégories de mesures sur site

Les mesures sur site concernent le contrôle des performances globales d'une installation d'éclairage routier (luminaires, installation, caractéristiques géométriques, etc.). Les OESY établissent que le contrôle doit être effectué dans les cas suivants (tels que décrits dans les lignes directrices techniques pertinentes de la Chambre technique de Grèce (TOTEE) «Conception et contrôle des installations d'éclairage routier», 2018):

a. Mesures préalables à la livraison de l'installation (Type 1 — T1)

Il convient de prévoir des mesures à effectuer pendant la phase finale de livraison des travaux et le processus de mise en service du système d'éclairage routier. Le respect des spécifications applicables et/ou des résultats des études d'éclairage doit être contrôlé.

b. Mesures au cours de l'exploitation de l'installation (Type 2 — T2)

Il convient de prévoir des mesures à intervalles réguliers et prédéterminés du système d'éclairage routier. Ces mesures vérifient le taux de dégradation de l'installation, identifient les éventuels problèmes opérationnels et ajustent les intervalles de maintenance et de réinspection.

c. Mesures de l'éclairage adaptatif (Type 3 – T3)

Il s'agit d'une série de mesures à effectuer pour le contrôle et le réglage des installations d'éclairage routier à flux lumineux réglable. Ces mesures permettent de

vérifier ou d'ajuster en conséquence les niveaux atteints d'éclairage adaptatif. Elles sont réalisées en combinaison avec des mesures T1 ou T2.

d. Mesures pour l'étude des écarts (Type 4 — T4)

Il convient de prévoir des mesures à effectuer dans les cas où les écarts des niveaux d'éclairage atteints par rapport aux études d'éclairage ou aux spécifications du projet sont examinés en raison de l'équipement, de la méthode d'installation, des propriétés de l'asphalte, de l'environnement ou d'autres facteurs.

Les mesures sont effectuées par du personnel correctement formé et selon la norme ELOT EN13021-4. Des exigences de contrôle supplémentaires peuvent être prévues par le concepteur de travaux. Les instruments de mesure des caractéristiques photométriques, géométriques et électriques doivent être adaptés à l'utilisation prévue, disposer de certificats d'étalonnage valides pendant la période de mesure et couvrir la plage de mesure de chaque caractéristique qui devrait être mesurée sur place.

Les rapports sur les mesures doivent être fournis en détail avec l'indication des mesures individuelles, le calcul des indicateurs de qualité (si nécessaire), les caractéristiques géométriques et électriques de l'installation, les conditions météorologiques, etc. selon la norme ELOT EN13021-4.

6.3.2 Définition des zones de mesure sur site

Les mesures sur site sont réalisées conformément aux grilles de mesure standard de la norme ELOT EN13021-4. Des exemples standard de zones de mesure sont présentés à la figure 8.

Une grille de mesure est définie entre deux poteaux d'éclairage continus (sur le même côté de la route) comme le montrent les figures 9 et 10. Dans chaque géométrie standard testée (espacement des poteaux, hauteur/largeur de la route, type de luminaire, etc.), au moins 2 grilles doivent être mesurées.

En tout état de cause, la ou les zone(s) de mesure doivent être soigneusement sélectionnées de manière à être représentatives de la route ou de l'installation concernée en général.

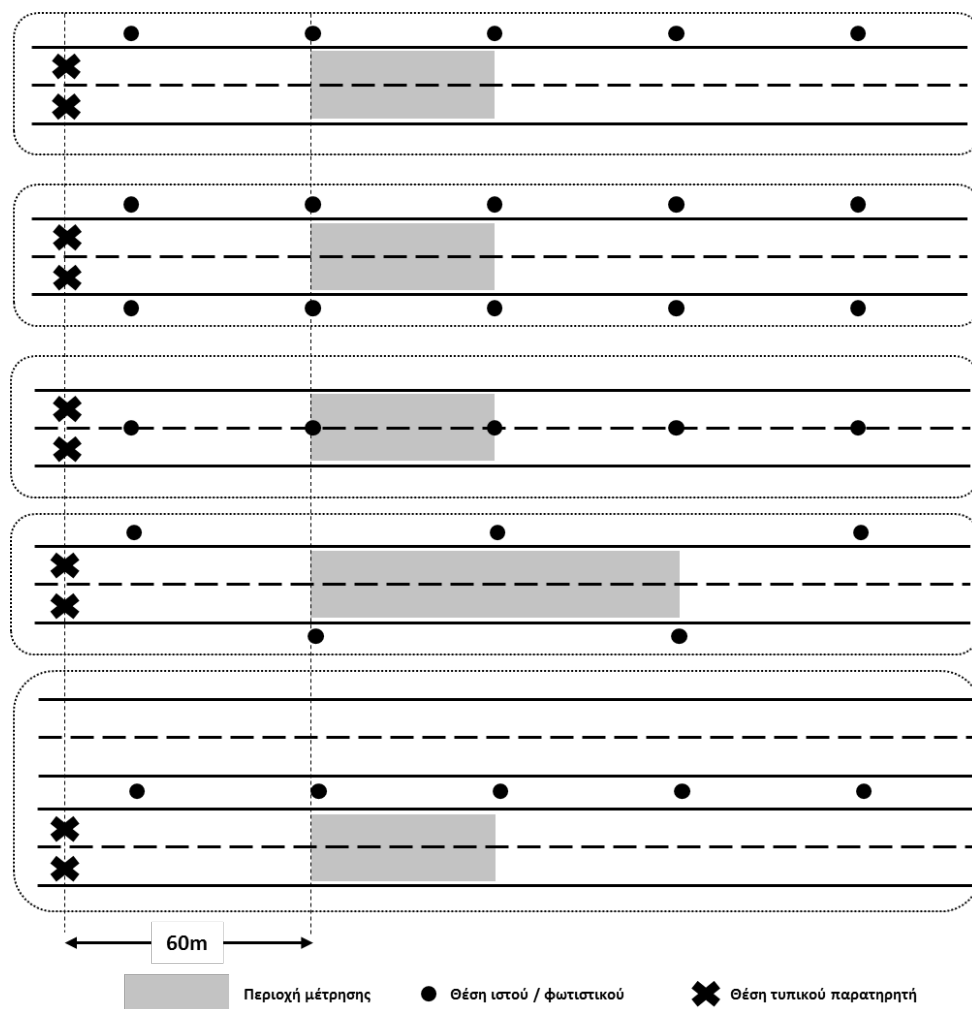


Figure 8 — Zones de mesure standard des caractéristiques photométriques de l'éclairage routier selon la norme ELOT EN 13201-3 (source: TOTEE, 2018).

Περιοχή μέτρησης	Zone de mesure
Θέση ιστού/φωτιστικού	Emplacement du poteau/du luminaire
Θέση τυπικού παρατηρητή	Position de l'observateur standard

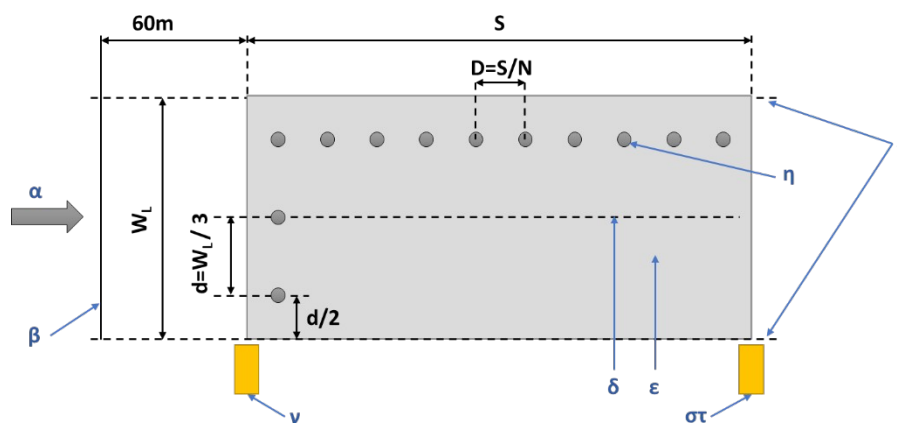


Figure 9 — Grille standard pour la mesure de la luminance ou de l'intensité lumineuse selon la norme ELOT EN 13201-3 (source: TOTEE, 2018).

Les caractéristiques de la figure 9 sont les suivantes:

- α : Sens de circulation de l'observateur
- β : Position longitudinale de l'observateur
- γ : Premier luminaire dans la zone de mesure
- δ : Axe central de la voie de circulation
- ϵ : Zone de mesure
- $\sigma\tau$: Dernier luminaire dans la zone de mesure
- ζ : Limites des voies de circulation
- η : Points de mesure
- W_L : Largeur de la voie de circulation
- S : Distance entre les luminaires
- D : Distance longitudinale entre les points de mesure ($D = S/N$)
- N : Nombre requis de points de mesure le long de la route
 - Pour $S < 30$ m, $N = 10$.
 - Pour $S > 30$ m, N est égal à l'entier minimum résultant en $D \leq 3$ m

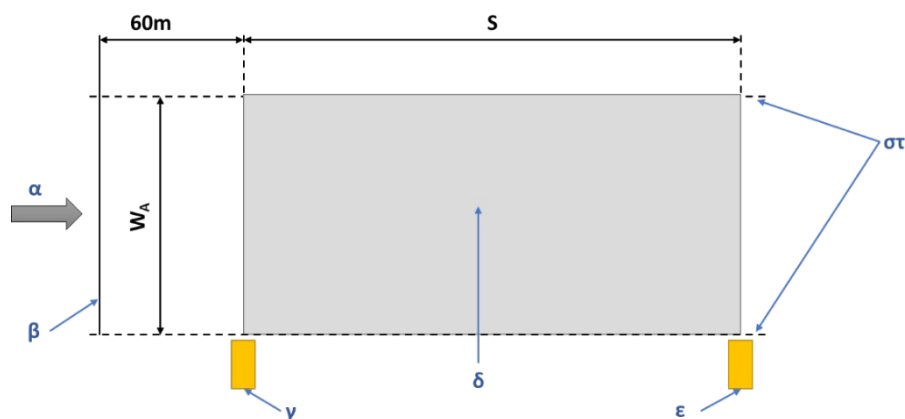


Figure 10 — Prise en compte de l'ensemble de la zone de mesure pour la mesure de la luminance avec un dispositif ILMD selon la norme ELOT EN 13201-3 (source: TOTEE, 2018).

Les caractéristiques de la figure 10 sont les suivantes:

- α : Sens de circulation de l'observateur
- β : Position longitudinale de l'observateur
- γ : Premier luminaire dans la zone de mesure
- δ : Zone de mesure
- ϵ : Dernier luminaire dans la zone de mesure
- $\sigma\tau$: Limites des voies de circulation
- W_A : Largeur de la zone de mesure
- S : Distance entre les luminaires

Dans chaque grille, les caractéristiques d'éclairage correspondant à la classe (luminance ou intensité lumineuse) sont mesurées et les indicateurs qualitatifs et quantitatifs correspondants sont calculés.

6.3.3 Instruments de mesure sur site

Les instruments de mesure des caractéristiques photométriques, géométriques et électriques d'une installation d'éclairage routier doivent être conçus pour l'utilisation prévue, avoir des certificats d'étalonnage valides et couvrir la plage de mesure de chaque caractéristique mesurée qui devrait être mesurée sur place. Le tableau 21 présente les exigences indicatives des instruments de mesure.

Tableau 21 — Exigences indicatives des instruments de mesure pour les installations d'éclairage routier (source: TOTEE, 2018).

Type de mesure	Caractéristique	Exigence
Intensité lumineuse (instrument portable)	Plage de mesure	0,1 à 10 000 lx ou plus
	Précision	$\pm 3 \% \pm 1$ chiffre
	Répétabilité	$\pm 1 \% \pm 1$ chiffre
	Précision du filtre V(L)	$f1' < 6 \%$
	Correction de cosinus	$f2 < 3 \%$
	Correction spectrale	Oui
Luminance (instrument de mesure analogique portable)	Plage de mesure	0,01 à 10 000 cd/m ² ou plus
	Champ de vision	2' d'un degré angulaire en longueur 20' de degré angulaire en largeur
	Précision du filtre V(L)	$f1' < 6 \%$
	Correction spectrale	Oui
	Précision	$\pm 3 \% \pm 1$ chiffre
	Répétabilité	$\pm 1 \% \pm 1$ chiffre
Luminance (appareil ILMD)	Plage de mesure	0,001 à 10 000 cd/m ² ou plus
	Résolution d'image	640x480 pixels ou plus
	Champ de vision	> 20° horizontalement > 10° verticalement
	Précision du filtre V(L)	$f1' < 6 \%$
	Correction spectrale	Oui
	Précision	$\pm 3 \% \pm 1$ chiffre
	Correction de l'ombrage des lentilles	OUI
	Correction du bruit	OUI
Spectre de couleur/température (spectromètre portable ou colorimètre)	Plage de réponse spectrale de l'instrument	380-780 nm ou plus
	Analyse de mesure (spectromètre)	1 nm ou moins
	Calcul de la température de couleur (T)	OUI
	Calcul Ra	Souhaité
Caractéristiques électriques (analyseur de puissance portable)	Mesure de tension (V)	OUI
	Mesure du courant (I)	OUI
	Mesure de puissance (VA, W, Var)	OUI
	Mesure du facteur de puissance (L)	OUI
	Mesure de distorsion harmonique (THD)	OUI
Mesure de distance (mètre ou ruban de mesure)	Plage de mesure	0 – 100 m ou plus
	Précision du mètre de mesure	$\pm 3 \% \pm 1$ chiffre
	Précision de mesure du ruban de mesure	0,1 ou plus
Caractéristiques soumises aux exigences de protection de l'environnement (thermomètre portable)	Mesure de la température	OUI
	Mesure de l'humidité relative	OUI
	Stockage des séries temporelles de mesure	OUI

6.3.4 Mesures de luminance (classes d'éclairage M)

Le contrôle de conformité des installations d'éclairage routier de classe M doit être effectué en mesurant la luminance routière. Les mesures doivent être effectuées conformément à la norme EL0T EN13201-4 dans une grille présentée aux figures 9 ou 10. Les grilles de mesure doivent être sélectionnées parmi 2 luminaires consécutifs situés dans un groupe d'au moins 4 luminaires similaires sur une installation similaire. Un dispositif de mesure de la luminance tel que décrit ci-dessus doit être utilisé pour les mesures.

Les mesures doivent être effectuées à une distance de 60 m du début de la grille et d'une hauteur de 1,5 m au-dessus du sol. Si la distance de 60 m n'est pas réalisable, les mesures

peuvent être effectuées à partir d'une hauteur plus petite et d'une distance plus courte, mais dans tous les cas, l'angle relatif de la position de mesure du début de la grille doit être d'environ 1 degré.

Les mesures doivent être effectuées sur la chaussée sèche et sans humidité qui est exempte d'objets étrangers, tels que les véhicules stationnés, les matériaux de construction et d'autres obstacles sur la grille. Dans tous les cas, la lumière errante, le cas échéant, doit être enlevée au moyen d'une mesure supplémentaire avec l'extinction des luminaires, si possible. Si la section à mesurer contient des sections d'asphalte de qualité différente et de date de pavage ou des modifications dues à l'utilisation, une autre grille de mesure doit être sélectionnée. Dans le cas contraire, cela doit être clairement indiqué dans le rapport de mesure. Dans le cas d'une nouvelle installation, l'état de l'asphalte et son âge doivent être indiqués.

6.3.5 Mesures de l'intensité lumineuse (classes d'éclairage C et P)

Le contrôle de conformité des installations d'éclairage routier des classes C et P doit être effectué en mesurant l'éclairage sur la surface de la route concernée. Les mesures doivent être effectuées conformément à la norme ELOT EN13201-4 dans une grille illustrée à la figure 9. Les grilles de mesure doivent être sélectionnées parmi 2 luminaires consécutifs situés dans un groupe d'au moins 4 luminaires similaires sur une installation similaire. Un instrument de mesure de l'intensité lumineuse tel que décrit ci-dessus doit être utilisé pour les mesures.

Les mesures doivent être effectuées à chaque point de la grille en contact avec le sol en position horizontale. La valeur de l'intensité lumineuse de chaque point doit être enregistrée lorsque la lecture de l'instrument est stabilisée. Dans tous les cas, la lumière errante, le cas échéant, doit être enlevée au moyen d'une mesure supplémentaire avec l'extinction des luminaires (si possible). Une attention particulière est accordée à la création d'ombres sur le capteur de l'instrument par le corps de l'instrument, par l'opérateur de l'instrument ou par divers obstacles situés autour et à l'intérieur de la grille de mesure.

6.3.6 Mesure des caractéristiques géométriques et électriques

Outre les caractéristiques photométriques mesurées, les caractéristiques suivantes doivent également être enregistrées.

- Largeur de la route
- Largeur de chaque voie de circulation
- Largeur de la bande d'arrêt d'urgence
- Espacement des poteaux dans la zone de mesure, plus un poteau avant et un poteau après.
- Hauteur des luminaires dans la zone de mesure, plus un luminaire avant et un luminaire après.
- Distance de chaque luminaire par rapport au début de la voie la plus proche
- Angle du luminaire par rapport au niveau horizontal
- Roulement de la chaussée
- Type de chaque luminaire.

Lorsque des mesures électriques sont possibles, elles doivent être effectuées sur chaque luminaire séparément ou sur un nombre déterminé de luminaires similaires.

Le changement de température et d'humidité relative doit être enregistré tout au long des mesures.

7. Directives techniques internationales et européennes pour l'éclairage des tunnels

Les normes et les références techniques régissant l'éclairage des tunnels sont principalement les trois suivantes.

7.1 CIE 88 — Guide de l'éclairage des tunnels routiers et passages couverts

Le rapport technique CIE 88 est la principale source d'information sur la conception de l'éclairage des tunnels, tant en Europe qu'à l'international. Ce rapport a également servi de base au dernier rapport technique européen CEN CR 14380 décrit ci-dessous. Ces deux rapports techniques partagent les mêmes informations pour la plupart, tandis que les différences ne se trouvent que dans certaines parties.

La dernière version du CIE 88 a été publiée en 2004 (2^e version) et elle fait l'objet d'une révision depuis 2017. La nouvelle version devrait être publiée en 2023 ou 2024.

Le rapport CIE 88 contient des instructions pour la sélection des classes, les exigences en matière d'éclairage et les méthodes de conception de l'éclairage dans les tunnels et les passages souterrains. Certaines des sections principales sont les suivantes:

- Distinction entre tunnels longs et courts
- Zones d'éclairage des tunnels
- Paramètres pour la sélection de la classe et des exigences
- Calcul de la luminance externe de l'entrée du tunnel (L_{20} et L_{seq})
- Définition de la courbe de variation de la luminance le long du tunnel
- Éclairage de secours
- Questions de maintenance et d'exploitation
- Autres propositions de conception et lignes directrices

La plupart des études d'éclairage en Grèce et dans le monde sont basées sur le rapport CIE 88. Un logiciel spécifique a été développé pour tenir compte des recommandations et des paramètres de sélection des exigences en matière d'éclairage décrits dans le présent rapport technique.

7.2 CIE 189 — Calcul des critères de qualité de l'éclairage des tunnels

Le rapport technique CIE 189 a été publié par la Commission internationale de l'éclairage en 2010 dans le but de déterminer les paramètres de calcul des caractéristiques photométriques pour l'éclairage des tunnels. C'est la source d'information la plus acceptée pour le développement de logiciels pour les calculs photométriques d'éclairage des tunnels. Tous les logiciels de ces études ont adopté la méthode de calcul décrite dans le rapport CIE 189.

7.3 CEN CR 14380 — Éclairagisme - Éclairage des tunnels

Le rapport technique CEN CR 14380 a été publié en 2003 et adopté par ELOT en 2004 sous le nom ELOT CR 14389. Il s'agit essentiellement de la version européenne du rapport CIE 88 sur l'éclairage des tunnels avec quelques ajouts et variations. Ce rapport a été adopté principalement par les pays européens et, dans la plupart d'entre eux, il est utilisé en combinaison avec le rapport CIE 88 ou l'a remplacé de manière informelle. En Grèce, il est

également utilisé en combinaison avec le rapport CIE 88. Le contenu de ce rapport est similaire à celui du rapport CIE 88, tel qu'il est mentionné à la section 7.1.

8. Exigences en matière d'éclairage des tunnels

Le présent règlement s'appuie sur les méthodes décrites dans le rapport technique CEN CR14380. En cas de publication d'une nouvelle version du rapport CEN CR 14380 ou du rapport CIE 88 (selon la version la plus récente), le présent règlement sera mis à jour s'il est considéré que les dispositions de ces nouvelles versions introduisent des modifications significatives.

Parmi les méthodologies proposées pour les concepteurs de travaux, on suggère à titre d'exemple ce qui suit:

8.1 Distinction des tunnels en tunnels longs et courts

Les tunnels ou les passages souterrains doivent être équipés d'un système d'éclairage de jour si leur longueur est supérieure à 200 m. Les tunnels de moins de 25 m de longueur ne nécessitent pas d'éclairage de jour et les tunnels de longueur intermédiaire doivent être considérés selon la méthode LTP (voir section 8.2). Le tableau 22 résume ce qui précède.

En tout état de cause, les caractéristiques de construction des tunnels doivent être soigneusement examinées et, le cas échéant, des tunnels de moins de 25 m peuvent être éclairés pendant la journée pour des raisons de sécurité particulières.

Tableau 22: Nécessité d'utiliser un éclairage de jour dans un tunnel

Longueur du tunnel	Nécessité d'utiliser un éclairage de jour
> 200 m	Oui
Entre 25 m et 200 m	Enquête par méthode LTP
< 25 m	Non

8.2 Étude de la nécessité d'utiliser un éclairage de jour (méthode LTP)

Pour les tunnels d'une longueur totale comprise entre 25 m et 200 m, la nécessité d'un système d'éclairage de jour doit être étudiée en calculant l'indice LTP. Cet indice fait référence au pourcentage de visibilité de la sortie du tunnel par rapport à l'entrée du tunnel (Look Through Percentage — LTP) et est défini par l'équation (9).

$$LTP = 100 \cdot (\text{surface } E\sigma TZH) / (\text{surface } AB\Gamma\Delta) \quad (9)$$

Les surfaces énumérées dans l'équation (9) sont définies dans le dessin général de la figure 11. L'indice LTP est calculé soit sur la base du dessin du tunnel, soit sur la base d'une photographie de celui-ci. Dans tous les cas, le champ de vision est défini par l'image/le dessin lorsque l'observateur est:

- à la distance d'arrêt en toute sécurité de l'entrée du tunnel
- à une hauteur de 1,2 m au-dessus du sol
- au milieu de chaque voie

Dans le cas, par exemple, de 3 voies, 3 images ou 3 dessins sont pris et l'indice LTP est calculé pour chaque voie

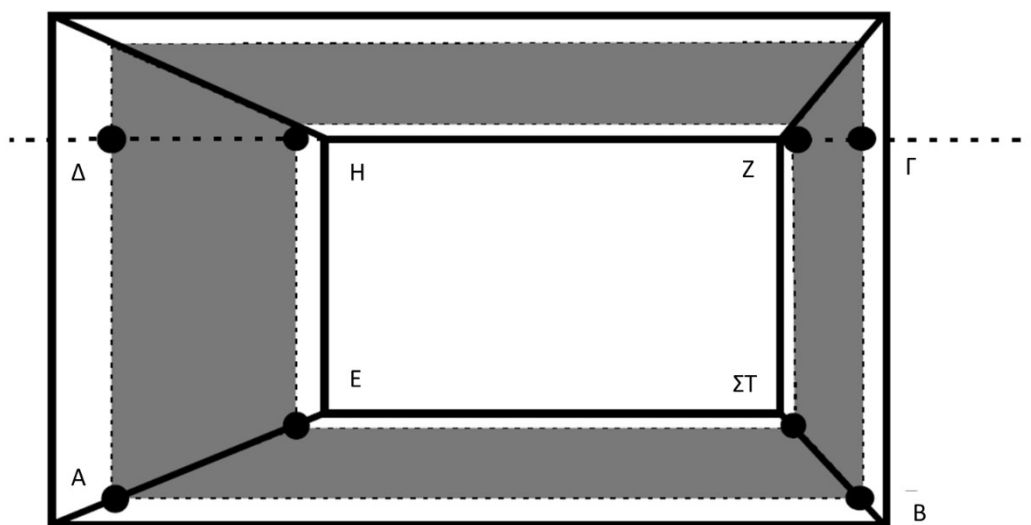


Figure 11: Plan généralisé de mise en œuvre de la méthode LTP.

Selon la figure 11, le plafond du tunnel n'est pas pris en compte. En outre, en raison de l'afflux de lumière naturelle dans le tunnel (entrée et sortie), une section qui précède l'entrée (~5 m) et une section qui précède la sortie (~10 m) ne sont pas prises en compte pour le calcul de l'indice LTP.

Dans le cas de tunnels ou de croisements avec courbure dans les niveaux horizontaux et verticaux, il est préférable que le contrôle soit effectué sur la base des dessins et du LTP calculé à l'aide de l'équation (10). Les angles correspondants de l'équation (10) sont présentés dans le dessin général de la figure 12.

$$LTP = 100 \cdot (\beta_u / \beta_i) \cdot (\alpha_u / \alpha_i) \quad (10)$$

La décision d'utiliser l'éclairage de jour en fonction de l'indice LTP est présentée dans le tableau 23.

Tableau 23: Utilisation de l'éclairage de jour dans les tunnels en fonction de l'indice LTP

Valeur de l'indice LTP	Nécessité d'utiliser un éclairage de jour
< 20 %	Oui
> 50 %	Non
Entre 20 % et 50 %	Enquête sur la visibilité des véhicules/piétons/cyclistes

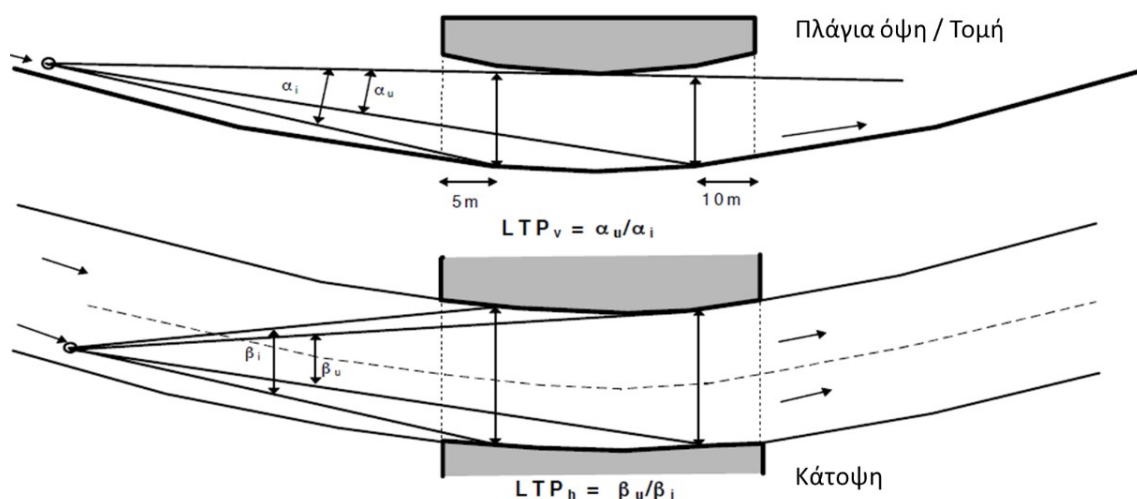


Figure 12: Plan de mise en œuvre généralisé de la méthode LTP aux tunnels courbes

Πλάγια όψη/Τομή	Vue latérale/Section
Κάτοψη	Plan

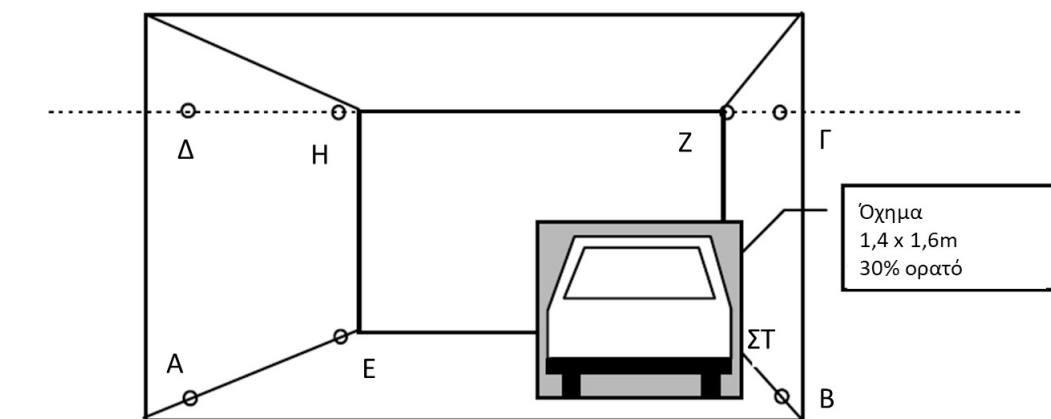
Dans les cas où l'indice LTP est estimé entre 20 % et 50 %, une enquête de détection d'objectifs selon les figures 13 (pour les tunnels ne comportant que des véhicules à moteur) et 14 (pour les tunnels à usage mixte par les piétons et les cyclistes) est effectuée. Dans chaque cas, un obstacle virtuel de voiture ou de piéton doit être placé au centre de la voie à contrôler et le pourcentage de l'obstacle visible doit être calculé par rapport à la sortie du tunnel.

Le véhicule obstacle standard doit mesurer 1,4 m x 1,6 m.

Le piéton/cycliste obstacle standard doit mesurer 0,5 m x 1,8 m.

L'utilisation de l'éclairage de jour est nécessaire lorsque:

- Plus de 30 % du véhicule obstacle standard n'est pas visible par rapport à la sortie du tunnel
- Plus de 30 % du piéton/cycliste obstacle standard n'est pas visible par rapport à la sortie du tunnel



Όχημα	Όχημα
30% ορατό	30% ορατό

Figure 13: Plan généralisé pour l'application de la méthode LTP avec un véhicule obstacle (exemple).

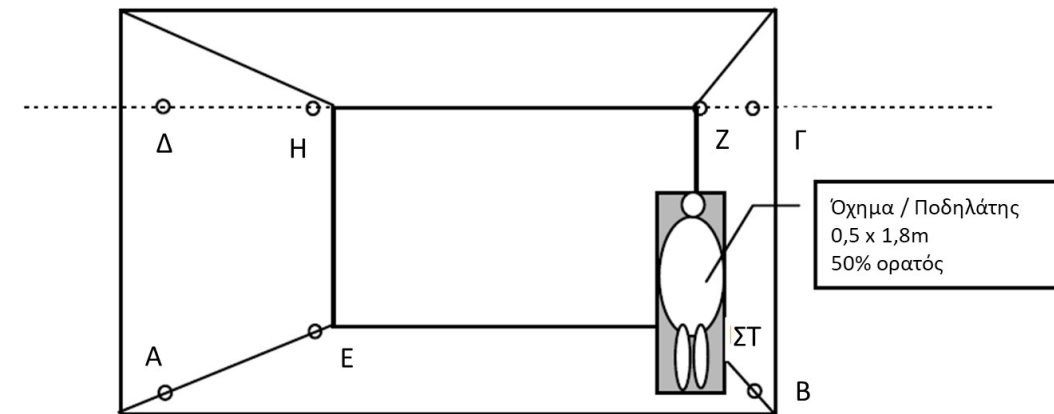


Figure 14: Plan généralisé pour l'application de la méthode LTP avec un piéton ou cycliste obstacle (exemple).

Όχημα/Ποδηλάτης	Véhicule/Cycliste
50% ορατός	50 % visible

8.3 Calcul de la luminance externe maximale L_{20}

Le calcul de la luminance externe maximale L_{20} du tunnel doit être réalisé à l'aide d'un dessin ou d'une photographie de l'entrée du tunnel à partir de la distance d'arrêt en toute sécurité. La figure 15 montre le dessin d'un tunnel type à partir de la distance d'arrêt en toute sécurité.

La luminance L_{20} est calculée à l'aide de l'équation (11):

$$L_{20} = \gamma L_c + \rho L_R + \varepsilon L_E + \tau L_{th} \quad \text{avec: } \gamma + \rho + \varepsilon + \tau = 1 \quad (\text{cd/m}^2) \quad (11)$$

où: L_c est la luminance du ciel, γ – le taux de couverture du ciel, L_R – la luminance de la route, ρ – le taux de couverture de la route, L_E – la luminance de la zone environnante, ε – le taux de couverture de la zone environnante, L_{th} – la luminance seuil (ou la luminance de l'entrée du tunnel) et τ – le taux de couverture de l'entrée du tunnel. Tous les éléments ci-dessus sont définis pour le champ de vision de 20° .

La perspective du dessin utilisé ou de la photographie prise doit avoir une position d'observation/de prise de position comme suit:

- À la distance d'arrêt en toute sécurité à partir de l'entrée du tunnel
- À une hauteur de 1,2 m au-dessus du sol
- À partir du milieu de la largeur totale de la chaussée
- Dans la direction vers le centre de l'entrée du tunnel

Dans l'équation (11), la luminance de l'entrée du tunnel (L_{th}) est inconnue et est le but de la conception du tunnel. Pour une distance d'arrêt en toute sécurité de plus de 100 m, on considère que τ est faible (moins de 10 %) et que la luminance du seuil/de l'entrée du tunnel L_{th} est significativement plus faible que le reste des valeurs de la luminance L_{20} . Ainsi, la contribution du facteur L_{th} peut être omise. Ainsi:

$$L_{20} = \gamma L_c + \rho L_R + \varepsilon L_E \quad (\text{cd/m}^2) \quad (12)$$

avec:

$$\gamma + \rho + \varepsilon < 1 \quad (13)$$

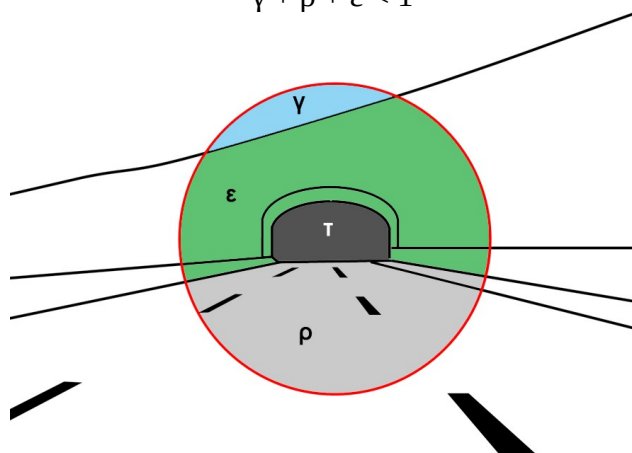


Figure 15: Exemple de conception d'un tunnel à partir de la distance d'arrêt en toute sécurité pour le calcul de la luminance L_{20}

La luminance L_{20} maximale est calculée selon les valeurs du tableau 24 et les taux de couverture sont calculés sur la base de la photographie ou du dessin correspondant.

Tableau 24: Valeurs de luminance des différents facteurs L_{20} pour chaque type et orientation.

Sens de la conduite	L_c (ciel) kcd/m ²	L_R (chaussée) kcd/m ²	L_E (environnement) kcd/m ²			
			Rochers	Bâtiments	Neige	Végétation
Nord	8	3	3	8	15 (V/O)	2
Est Ouest	12	4	2	6	10 (V)	2
					15 (H)	
Sud	16	5	1	4	5 (V)	2
					15 (H)	

(V) Surfaces verticales, (H) Surfaces horizontales

8.4 Sélection de la classe d'éclairage et du facteur k

Pour les tunnels longs et ceux nécessitant un éclairage de jour, la classe de tunnel appropriée et le coefficient k selon les tableaux 4 à 6 doivent être sélectionnés afin de calculer la luminance du seuil L_{th} . La luminance L_{th} est calculée à l'aide de l'équation (14) et correspond à la luminance requise pour la zone d'entrée du tunnel.

$$L_{th} = k \cdot L_{20} \quad (\text{cd/m}^2) \quad (14)$$

Les données relatives au trafic (estimées sur un horizon de 10 ans) doivent être utilisées pour déterminer la classe du tunnel et, si aucune donnée de ce type n'est disponible, des hypothèses sûres doivent être formulées.

Les tunnels sont divisés en deux catégories principales selon le type d'utilisateurs:

- Véhicules à moteur uniquement (A)
- Utilisation mixte, y compris des piétons/des cyclistes (M)

Le tableau 25 est utilisé afin de déterminer à laquelle des 4 catégories appartient le tunnel, en fonction de l'intensité du trafic et du type d'usagers, et le tableau 26 énumère les catégories d'intensité du trafic en nombre véhicules par heure et par voie.

Tableau 25: Sélection de la classe du tunnel

Volume du trafic	Élevé		Moyenne		Faible	
Type d'usagers	M	A	M	A	M	A
Classe du tunnel	4	3	3	2	2	1

Tableau 26: Intensité du trafic par rapport au flux de trafic

Intensité du trafic	Tunnels à sens unique (flux en véhicules/h · voie)	Tunnels à double sens (flux en véhicules/h · voie)
Élevée	> 1500	> 400
Moyenne	500 – 1500	100 – 400
Faible	< 500	< 100

Tableau 27: valeurs du facteur K par rapport à la distance d'arrêt en toute sécurité

Classe du tunnel	Distance d'arrêt en toute sécurité (m)		
	60	100	160
4	0,05	0,06	0,10
3	0,04	0,05	0,07
2	0,03	0,04	0,05
1	Seul un éclairage de guidage est nécessaire		

La distance d'arrêt en toute sécurité requise pour utiliser le tableau 27 et déterminer la longueur des zones d'éclairage du tunnel (voir section 8.5) est calculée à l'aide de l'équation (15).

$$SD = u \cdot t_0 + \frac{u^2}{2 \cdot g \cdot (f \pm s)} \quad (\text{m}) \quad (15)$$

où:

u: la vitesse de conception

t₀: le temps de réaction (généralement 1 seconde)

f: le coefficient de frottement

g: l'accélération de la gravité

s: l'angle de la chaussée (+) en montée, (–) en descente

Si le coefficient de frottement n'est pas connu, il peut être estimé sur la base du diagramme de la figure 16.

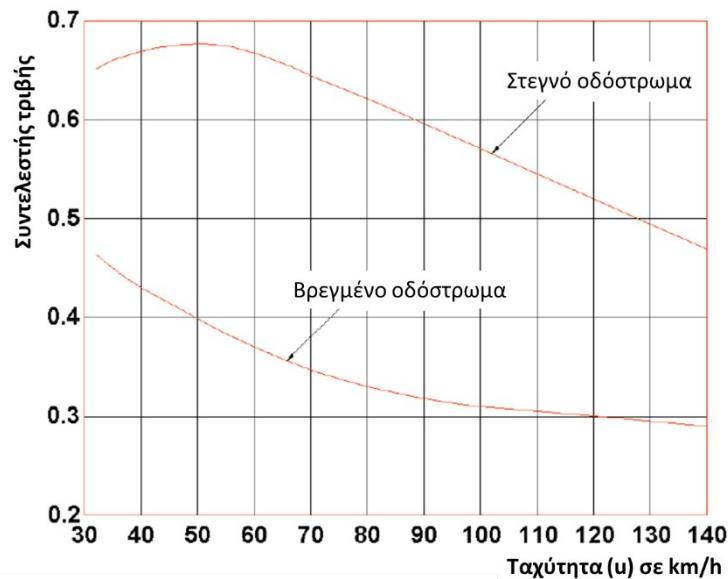


Figure 16: Calcul graphique du coefficient f de frottement.

Συντελεστής τριβής	Coefficient de frottement
Στεγνό οδόστρωμα	Chaussée sèche
Βρεγμένο οδόστρωμα	Chaussée mouillée
Ταχύτητα (u) σε km/h	Vitesse (u) en km/h

8.5 Exigences en matière d'éclairage de jour et de nuit des tunnels

Les tunnels longs et ceux nécessitant un éclairage de jour sont divisés en zones d'éclairage suivantes:

- 1. Zone d'accès**
Il s'agit de la section de route découverte avant l'entrée du tunnel.
- 2. Zone de seuil**
C'est la première zone du tunnel. Elle commence à l'entrée du tunnel et se termine à une longueur égale à la distance d'arrêt en toute sécurité.
- 3. Zone de transition**
Cette zone commence après la zone seuil et se termine avant la zone intérieure
- 4. Zone intérieure**
Cette zone couvre toute la longueur du tunnel entre la fin de la zone de transition et la zone de sortie, le cas échéant, ou l'entrée du tunnel
- 5. Zone de sortie**
Il s'agit d'une zone d'éclairage facultative qui, si elle existe, commence après la fin de la zone intérieure et se termine à l'entrée du tunnel.
- 6. Zone de séparation**
Il s'agit de la section de route découverte après la fin du.

La représentation graphique des zones d'éclairage d'un tunnel est illustrée à la figure 17. La même image montre la variation standard de la luminance de la route le long du tunnel et dans chaque zone d'éclairage.

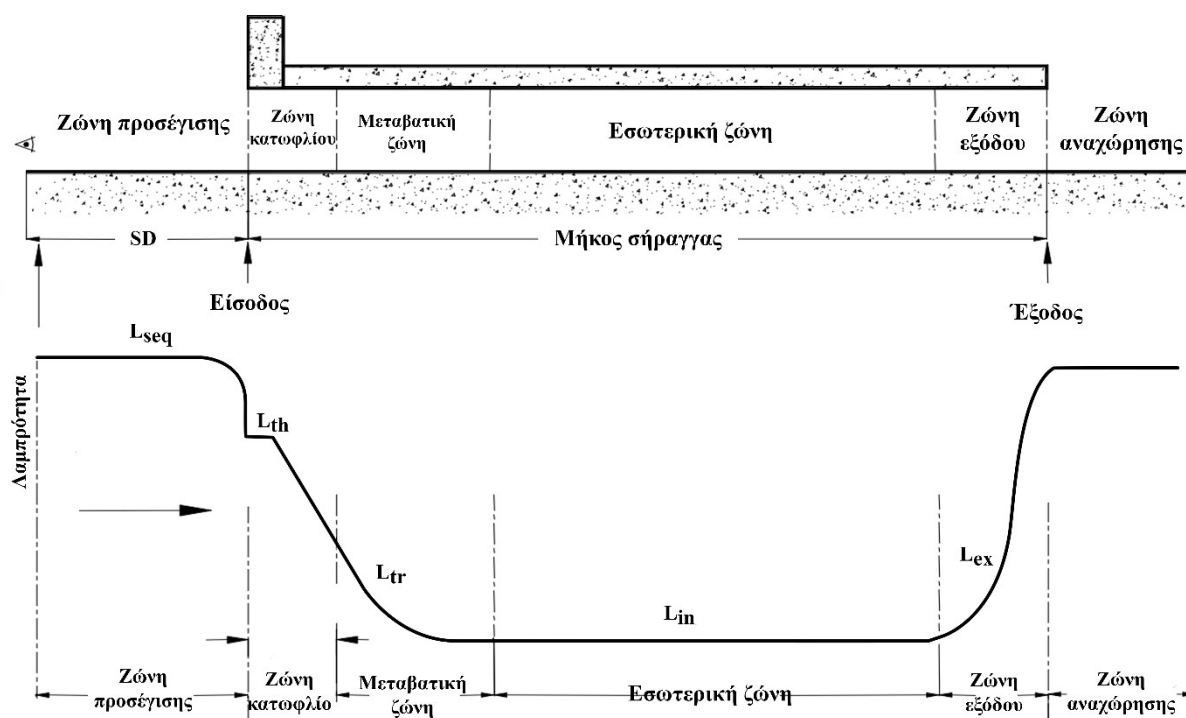


Figure 17: Zones d'éclairage des tunnels et variation standard de la luminance de la surface de la route.

Ζώνη προσέγγισης	Zone d'accès
Ζώνη κατωφλίου	Zone de seuil
Μεταβατική ζώνη	Zone de transition
Εσωτερική ζώνη	Zone intérieure
Ζώνη εξόδου	Zone de sortie
Ζώνη αναχώρησης	Zone de séparation
Είσοδος	Entrée
Μήκος σήραγγας	Longueur du tunnel
Έξοδος	Sortie
Λαμπρότητα	Luminance

Les exigences en matière d'éclairage de chaque zone sont énoncées dans les sections suivantes. La figure 18 montre la courbe standard de variation de luminance le long du tunnel pour les zones d'éclairage sur l'échelle de temps.

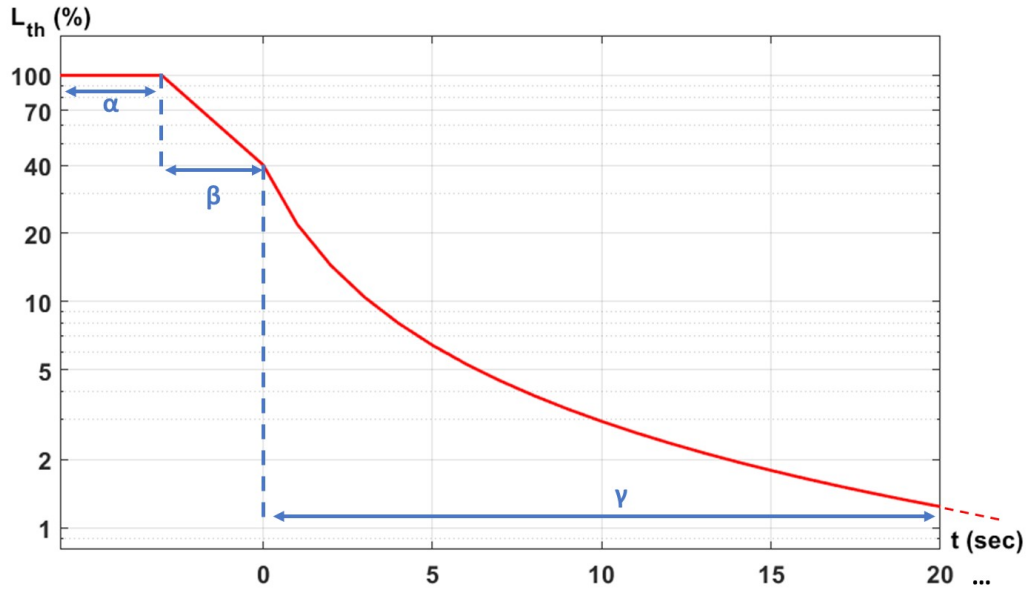


Figure 18: Variation standard de la luminance moyenne d'une surface de la route du tunnel. a) section fixe de la zone de seuil, b) diminution linéaire de la luminance de la zone seuil, c) zone de transition.

8.5.1 Zone de seuil

La zone de seuil doit être au moins égale à la distance d'arrêt en toute sécurité calculée au moyen de l'équation (15). Au milieu de la zone de seuil, la luminance moyenne de la surface de la route doit être au moins égale à la luminance de seuil L_{th} (figure 18, section a) calculée à l'aide de l'équation (14). Pour le reste de la zone de seuil, la luminance doit être réduite linéairement à 40 % de L_{th} (figure 18, section b). Cette réduction peut avoir lieu progressivement, tant que la luminance ne tombe pas en dessous des valeurs correspondant à la réduction linéaire.

La luminance moyenne requise doit être calculée sur toute la largeur de la surface de la route (voies et bande d'arrêt d'urgence, le cas échéant).

8.5.2 Zone de transition

La luminance de la zone de transition L_{TR} change selon l'équation (16).

$$L_{tr} = L_{th} \cdot (1.9 + t)^{-1.423} \quad \text{cd/m}^2 \quad (16)$$

Dans l'équation (16), le temps t commence à la fin de la zone de seuil ($t = 0$). La forme de la courbe de variation de luminance est illustrée à la figure 18, section c. Ce changement peut avoir lieu progressivement tant que la luminance ne tombe pas en dessous des valeurs de cette courbe imaginaire. Dans ce cas, les étapes de luminance ne doivent pas dépasser 3:1. Dans le même temps, le passage de la zone seuil à la zone de transition ne doit pas avoir un rapport de luminance supérieur à 1,5:1.

L'extrémité de la zone intérieure est définie comme le point où la luminance L_{TR} correspond à deux fois la valeur de la luminance L_{in} de la zone intérieure.

La luminance moyenne requise doit être calculée pour toutes les voies (y compris la bande d'arrêt d'urgence, le cas échéant).

8.5.3 Zone intérieure

La luminance L_{in} de la zone intérieure doit être fixée dans toute cette zone et sélectionnée sur la base de la classe de tunnel et de la vitesse de conception conformément au tableau 28.

Tableau 28: Valeurs de luminance de la zone intérieure L_{in}

Classe du tunnel	Distance d'arrêt en toute sécurité (m)		
	60	100	160
4	3,0	6,0	10,0
3	2,0	4,0	6,0
2	1,5	2,0	4,0
1	0,5	0,5	1,5

Ces valeurs se réfèrent à la luminance de la zone pendant la journée et sont calculées pour la largeur totale des voies, à l'exception de la bande d'arrêt d'urgence (le cas échéant). La bande d'arrêt d'urgence doit avoir une luminance moyenne au moins égale à la luminance moyenne de la voie pour les tunnels de classe 4 ou au moins 50 % de la luminance moyenne de la voie pour les tunnels des classes 3 et 2.

8.5.4 Zone de sortie

La zone de sortie est facultative, mais peut être utilisée lorsque:

- La géométrie, l'emplacement et l'orientation du tunnel combinés à l'environnement à la sortie du tunnel augmentent de manière disproportionnée le niveau de luminance externe entraînant un éblouissement pendant la conduite.
- Dans les très longs tunnels de la classe 4 (> 1 000 m).

Dans ce cas, la luminance de la zone de sortie doit augmenter linéairement avant de quitter la distance d'arrêt en toute sécurité entre le niveau L_{in} et le niveau $5 \cdot L_{in}$ 20 m avant la sortie.

8.5.5 Zone d'accès et de séparation et éclairage nocturne du tunnel

L'éclairage du tunnel pendant la nuit doit être au moins égal à l'éclairage de la route découverte avant et après le tunnel. Par conséquent, le niveau d'éclairage suit celui de la zone d'accès et de séparation du tunnel, mais n'est pas inférieur à 1 cd/m^2 pour les tunnels de classe 2 et pas moins de $1,5 \text{ cd/m}^2$ pour les tunnels des classes 3 et 4. L'éclairage nocturne concerne à la fois les longs tunnels et les tronçons routiers couverts (> 200 m de longueur) et les tronçons routiers couverts plus courts (croisements souterrains/aériens, etc.) qui se trouvent dans un tronçon éclairé, même s'ils ne nécessitent pas d'éclairage de jour.

8.5.6 Uniformité de la luminance

L'uniformité totale et longitudinale de la surface de la route du tunnel doit être déterminée en fonction de sa classe sur la base du tableau 29. Les exigences d'uniformité (totales et longitudinales) ne s'appliquent pas à la zone de transition des tunnels.

Tableau 29: Uniformité de luminance minimale requise de la surface de la route.

Classe du tunnel	Uniformité totale U_o	Uniformité longitudinale U_l
4	0,4	0,7
3	0,4	0,6
2	0,3	0,5
1	-	-

8.5.7 Éclairage des parois

L'éclairage des parois doit être suffisant pour contribuer au contraste visuel lors de la détection d'obstacles éventuels à l'intérieur du tunnel. La luminance moyenne de la paroi est calculée pour le point calculé correspondant dans le tunnel où la luminance moyenne de la surface de la route est calculée. Les exigences sont les suivantes:

- Dans les tunnels de la classe 4, la luminance moyenne des parois à une hauteur maximale de 2 m doit être au moins égale à la luminance moyenne de la surface de la route au même point.
- Dans les tunnels des classes 3 et 2, la luminance moyenne des parois jusqu'à 2 m doit être au moins égale à 60 % de la luminance moyenne de la surface de la route au même point.
- Il n'y a pas d'exigence pour les tunnels de classe 1, mais il est proposé que la luminance moyenne des parois jusqu'à 2 m soit au moins égale à 25 % de la luminance moyenne de la surface de la route au même point.

8.5.8 Limitation du scintillement de la lumière et de l'éblouissement

Le scintillement de la lumière est causé par l'alternance fréquente entre fond clair et fond sombre. Dans les tunnels, cela est dû à la succession des luminaires. À cet effet, les luminaires doivent être placés à une distance telle que, selon la vitesse de passage, le scintillement de la lumière soit inférieur à 2,5 Hz ou supérieur à 15 Hz.

L'éblouissement est calculé à l'aide de l'indice TI (Threshold Increment). La valeur TI doit en tout état de cause être < 15 . Une attention particulière doit être accordée lors de l'utilisation de luminaires à LED lorsque le calcul de TI exige une grande précision dans les enregistrements photométriques des luminaires.

9. Spécifications relatives à l'équipement d'éclairage des tunnels

9.1 Spécifications techniques minimales pour les luminaires d'éclairage des tunnels

Les luminaires pour tunnels doivent avoir les caractéristiques techniques et les certifications minimales suivantes. Il est à noter que chaque pouvoir adjudicateur a la possibilité d'exiger des spécifications supplémentaires pour les éléments suivants, ainsi que d'intégrer les spécifications de chaque HTS applicable.

Les luminaires doivent être de construction standard, avec un boîtier spécialement protégé pour les installations de tunnels. Ils sont conçus dès le départ pour une utilisation exclusive

dans les tunnels et aucun luminaire n'est autorisé à être converti à partir de projecteurs ou de luminaires destinés à d'autres utilisations.

9.1.1 Caractéristiques de construction d'un luminaire

Le corps du luminaire doit être fabriqué en matériau adapté aux conditions et exigences de fonctionnement pertinentes, à la discrétion du pouvoir adjudicateur. Dans les cas où l'équipement d'éclairage est proche d'un environnement côtier, il doit résister à l'environnement côtier. La construction du corps du luminaire assurera l'élimination de la chaleur produite à la fois par la partie de la source optique et pour la partie des pièces électriques. Le luminaire doit également être équipé de raccords d'adaptation et de protection adaptés aux installations dans le tunnel, selon les besoins.

Dans le cas des luminaires où les instruments électriques se trouvent dans un boîtier distinct de l'unité optique, ils doivent être verrouillés dans un cadre approprié pour leur bon fonctionnement et être accompagnés du câblage approprié à l'unité optique.

9.1.2 Capot de protection

Le capot de protection est conçu pour protéger l'unité optique de l'environnement extérieur. Le capot de protection doit être en verre trempé qui protège la source optique et les lentilles de diffusion lumineuse ou les réflecteurs dans leur ensemble. Le capot peut être transparent ou translucide (de type dépoli).

9.1.3 Matériaux de l'unité optique

La diffusion est réalisée par des lentilles ou des réflecteurs en aluminium. Les lentilles peuvent être faites de PMMA ou de silicone ou d'un autre matériau résistant à la température équivalent. Les réflecteurs sont constitués d'aluminium anodisé ou d'un autre matériau d'un facteur de réflexion supérieur.

9.2 Caractéristiques de fonctionnement

9.2.1 Données photométriques

Les données photométriques sont obtenues à une température T_a de 25 °C. Les données photométriques sont obtenues selon la norme EN13032 ou la norme IES LM 79 (leurs versions les plus récentes).

La puissance et le flux lumineux des luminaires sont sélectionnés en fonction des besoins d'éclairage pour chaque utilisation. En outre, en cas d'utilisation de luminaires à LED, la température de couleur corrélée (CCT) ne doit pas dépasser 4000 K. La combinaison des valeurs de CCT et de CRI est exprimée en codes de couleur selon la norme IEC 62717, par exemple 740 (CRI 70, 4000 K), 730 (CRI 70, 3000 K) etc.

La répartition de l'intensité lumineuse du luminaire doit être choisie par le concepteur des travaux selon les exigences.

9.2.2 Caractéristiques électriques

Le luminaire doit avoir les caractéristiques électriques minimales suivantes

- Fonctionnement sur un réseau avec une tension de fonctionnement nominale de 230V AC 50 Hz et une tolérance à la fluctuation sur la valeur de fonctionnement nominale d'au moins 220-240 V.
- Protection contre les surtensions d'au moins 10 kV (selon la norme ELOT EN 61000-4-5, classe d'essai X)
- Protection contre les chocs électriques de classe I ou II (conformément à la norme EN 60598-1)
- Facteur de puissance du luminaire d'au moins 0,9 en mode pleine charge. Dans les cas où le luminaire fonctionne également dans des conditions de gradation, le concepteur des travaux veille à ce que le facteur de puissance soit maintenu aussi haut que possible et aussi proche que possible de la valeur ci-dessus.
- Contrôle de scintillement léger (PstLM, SVM selon les normes IEC TR 61547-1:2020 et IEC TR 63158:2018).

9.2.3 Degrés de protection contre les influences extérieures

Le luminaire doit être étanche à l'eau et à la poussière de catégorie IP66 au moins et avoir une résistance aux chocs d'au moins IK08.

Le luminaire doit pouvoir fonctionner dans un environnement extérieur compris entre -20 °C et +30 °C. Compte tenu de l'importance de la température élevée dans la fonctionnalité des luminaires, la conformité de la limite de température supérieure à la norme EN/IEC 60598 est vérifiée. En particulier, chaque luminaire doit pouvoir fonctionner à une température allant jusqu'à Ta 30 °C ou plus en fonction des conditions extérieures de l'environnement.

9.2.4 Connectivité

Les luminaires LED doivent avoir une fonction de gradation du flux lumineux. À cette fin, leurs unités d'alimentation doivent pouvoir recevoir les commandes appropriées via DALI ou 1-10V (0-10V) ou PWM ou autre type en fonction des progrès technologiques.

Toutes les connexions internes du luminaire doivent être mises en œuvre au cours de sa production et l'installation future d'un contrôleur doit être aussi simple que possible.

9.2.5 Maintien du flux lumineux

La maintenance du flux lumineux des sources LED est exprimée par le rapport technique des normes IES LM-80 et IES TM-21. Les luminaires doivent être équipés de sources LED d'une valeur minimale de L80 calculée à 50 000 heures à une température ambiante extérieure d'au moins 25 °C. Le rapport LM 80 doit être utilisé comme preuve de cette déclaration, qui doit contenir un ou plusieurs ensembles de données représentatifs de la fonction du luminaire, c'est-à-dire des combinaisons de courant de conduite (If-mA) et de température Ts (ou Tsp).

Il est à noter que si une déclaration de maintien du flux lumineux est demandée, avec un coefficient B_{yy} autre que B50, la norme IEC 62717 peut également être utilisée pour le calcul.

9.2.6 Certifications

Les luminaires doivent avoir au moins les certifications suivantes.

1. Déclaration de conformité CE du fabricant. La déclaration comprend le respect des directives et des normes d'harmonisation correspondantes, le cas échéant.
 - a. Directive basse tension (LVD) 2014/35/UE
 - b. Directive sur la compatibilité électromagnétique (CEM) 2014/30/UE
 - c. Directive 2009/125/CE sur l'éco-conception
 - d. Règlement (UE) 2017/1369 tel que complété par le règlement (UE) 2019/2015
 - e. ATEX 2014/34/UE pour les produits destinés à être utilisés dans des atmosphères potentiellement explosives, le cas échéant et si l'étude prévoit la création de telles conditions dans les lieux où les produits doivent être placés
 - f. Directive RoHS 2011/65/UE
2. Le fabricant de luminaires doit disposer d'un système actif de gestion de la qualité ISO 9001:2015 et d'un système de management environnemental ISO 14001:2015. La certification comprend la fabrication et la mise sur le marché de produits d'éclairage.
3. Certificat ENEC ou autre certificat ISO de type 5 équivalent répondant aux exigences des normes basse tension (EN 60598-1, EN 60598 2-3)
4. Facultatif — Certificat de type ENEC+ ou autre certificat ISO de type 5 équivalent relatif à l'application de l'EPRS 003 (application de la norme EN/IEC 62722-2-1).
5. Les données photométriques doivent être obtenues auprès d'un laboratoire accrédité ISO 17025 d'un organisme EA-MLA ou IAF/ILAC. Le pouvoir adjudicateur peut également exiger, en plus d'un laboratoire accrédité, que le laboratoire des données photométriques soit approuvé/reconnu par un organisme accrédité conformément à la norme ISO 17025. Dans ce cas, une déclaration de laboratoire doit être fournie indiquant que les données photométriques proviennent du laboratoire. La preuve de l'origine des données photométriques peut être une déclaration du laboratoire émetteur ou du laboratoire du fabricant si elle est disponible.
6. Il est à noter que le concepteur de travaux a la possibilité d'exiger l'accréditation du laboratoire photométrique par un organisme EA-MLA (et non généralement par l'IAF/ILAC), étant donné que seuls les organismes européens appartiennent à ce groupe d'organismes d'accréditation.
7. Les données d'entretien du flux lumineux conformément au LM-80 doivent être obtenues auprès d'un laboratoire accrédité par un organisme EA-MLA ou IAF/ILAC conformément à la norme ISO 17025.

Enfin, il est nécessaire de fournir du matériel d'information supplémentaire, des photographies, des manuels d'installation et d'autres matériels techniques prouvant la conformité aux spécifications.

10. Exigences supplémentaires en matière d'éclairage des tunnels

10.1 Éclairage des niches de stationnement

Lorsque les tunnels comportent des niches de stationnement encastrées, l'éclairage doit satisfaire aux exigences de la classe P1 selon la norme ELOT EN13201-2. Ces niches peuvent avoir un système d'éclairage séparé qui fonctionne 24h/24 et 7j/7. Il est proposé d'utiliser des luminaires à température de couleur plus élevée pour faciliter l'identification de la zone, si son identification n'est pas facilitée par d'autres moyens (peinture, marquage, etc.).

10.2 Éclairage de secours

Dans le système d'éclairage du tunnel, des dispositions doivent être prévues pour maintenir un niveau d'éclairage minimal en cas de situation d'urgence, telle qu'une panne d'alimentation électrique. Le niveau minimal de sécurité peut être maintenu en utilisant des luminaires raccordés à un système d'alimentation ininterrompu. En outre, dans le même but, une partie du flux lumineux de luminaires spécifiques peut être utilisée si nécessaire, par exemple une des lampes dans des luminaires avec plus d'une lampe, certaines LED dans des luminaires à LED, etc.

En tout état de cause, le système d'éclairage doit, en cas de situation d'urgence, atteindre un éclairage moyen de 10 lx avec une valeur minimale de 2 lx en tout point du tunnel, y compris la surface de la route et les trottoirs, si possible. Cette exigence ne s'applique pas à l'éclairage des parois.

En cas de panne de courant et jusqu'à ce que le groupe électrogène de secours soit opérationnel, le système d'alimentation sans interruption (UPS) alimentera, entre autres, le système d'éclairage de secours du tunnel (tout éclairage de nuit) et les signaux lumineux (routes et panneaux d'évacuation, etc.). Ensuite, le système UPS alimentera également une partie du système de tunnel. Le système de contrôle de la circulation, avec l'utilisation de panneaux de contrôle de la circulation avant et à l'intérieur du tunnel, déterminera la nouvelle vitesse à laquelle les véhicules passeront avant et à travers le tunnel. Cette limite doit être calculée et correspondre au niveau d'éclairage du seuil et des zones de transition résultant du nombre prédéterminé de luminaires électrifiés par l'ensemble de générateurs d'installations dans ces zones.

10.3 Éclairage d'évacuation

En cas d'incendie, le niveau d'éclairage du tunnel est réduit en raison de la fumée, de sorte que les itinéraires et les voies d'évacuation ne sont pas toujours suffisamment visibles. Par conséquent, chaque tronçon du tunnel doit être équipé de luminaires indiquant les itinéraires et orientés vers les voies d'évacuation. Les issues de secours doivent être marquées de panneaux et clairement éclairées. Cet éclairage qui sert à l'orientation et à l'assistance de l'évacuation est nécessaire pour tous les tunnels d'une longueur ≥ 500 m.

a. Panneaux lumineux indiquant les voies d'évacuation les plus proches

Ces panneaux doivent être installés sur le côté du tunnel où se trouvent les issues de secours, encastrés dans la paroi du tunnel, à des intervalles ≤ 25 m et de telle sorte qu'ils indiquent

clairement la voie d'évacuation et fournissent une orientation. Ils doivent être éclairés en permanence et comporter un pictogramme muni d'un symbole d'évacuation (l'icône «homme qui fuit» dans la direction de l'issue de secours la plus proche), combiné avec des flèches montrant le sens de l'évacuation et avec une indication, au-dessus ou en dessous, de la distance de l'issue de secours la plus proche ou de la sortie du tunnel la plus proche. Afin de comprendre rapidement les informations de distance ci-dessus, les chiffres sont arrondis aux dix mètres les plus proches (10 m). Le pictogramme de ces signes doit être vert et blanc (la couleur des symboles doit être blanche sur fond vert).

Afin de permettre une vue latérale des panneaux éclairés ci-dessus, ils doivent dépasser de 2 à 3 cm du mur du tunnel et au maximum de 6 cm. Ils doivent être munis d'un éclairage de guidage latéral sous la forme d'une bande verte verticale ayant des dimensions minimales (LxH) de 20 mm x 300 mm et avec la technologie LED. Ils doivent également être conçus de manière à ne pas causer de préjudice aux usagers qui s'échappent. Si la construction du tunnel ne permet pas le montage encastré de ce panneau lumineux, des panneaux lumineux plats et peu profonds doivent alors être utilisés.

Les panneaux lumineux indiquant les issues de secours les plus proches doivent satisfaire aux exigences suivantes:

- Dimensions minimales du pictogramme 300 mm x 300 mm.
- Luminance moyenne du pictogramme d'au moins 200 cd/m²
- Surfaces latérales de couleur verte, luminance moyenne d'au moins 75 cd/m²
- Classe de protection/d'étanchéité des panneaux lumineux: IP 65 et IK 08
- Classe de protection: I
- Hauteur de l'installation: Le bord inférieur du panneau lumineux doit être à une hauteur de 1,00 à 1,20 m au-dessus du niveau de la voie d'évacuation
- Alimentation électrique: Ce panneau lumineux doit être alimenté par un système UPS. La répartition des lignes de distribution sur les panneaux lumineux est déterminée par l'évaluation des risques du tunnel. Dans tous les cas, les luminaires successifs seront alimentés par une phase différente (R,S,T).

Ces panneaux lumineux, en bas, auront un luminaire intégré (qui peut également être situé à l'extérieur) de couleur blanche pour l'éclairage (vers le bas) de la voie d'évacuation le long du trottoir et alimenté par un système UPS. Celui-ci ne sera activé qu'en cas d'incendie ou d'une autre situation d'urgence, automatiquement via le système de détection d'incendie ou manuellement à partir du centre de surveillance du tunnel. Le luminaire doit être doté d'une technologie LED, avec $I(\alpha)$ d'au moins 25 cd, avec un angle α situé dans la plage suivante: $-87^\circ < \alpha < +87^\circ$ _au niveau horizontal et $-60^\circ < \alpha < +20^\circ$ au niveau vertical. Le chevauchement des panneaux lumineux indiquant l'issue de secours la plus proche doit être évité en réduisant l'éblouissement de ce luminaire situé au bas du panneau lumineux. Si un luminaire individuel est placé à l'extérieur du panneau lumineux, ses caractéristiques doivent être les mêmes que celles du luminaire incorporé dans le panneau lumineux.

b. Panneaux indiquant les sorties de secours

Les issues de secours doivent être clairement indiquées par un panneau à double face éclairé intérieurement en permanence, monté verticalement dans la direction de la circulation, alimenté par un système UPS. Un feu clignotant vert doit être monté au-dessus des panneaux lumineux, qui doivent également être actionnés par un système d'alimentation et activés uniquement en cas d'incendie ou d'autres situations d'urgence, automatiquement via le

système de détection d'incendie ou manuellement à partir du centre de surveillance du tunnel. Ces luminaires d'évacuation doivent être de la catégorie de protection IP 65, IK 08 et de la classe de protection: I.

c. Éclairage indiquant les issues de secours

Les issues de secours doivent également être indiquées par des rubans LED placés autour d'elles, alimentés par un système UPS et allumés de façon permanente afin d'indiquer leur position. Ils peuvent être installés de chaque côté de la voie d'évacuation sous la forme de colonnes éclairées d'environ 2,5 m de haut. Alternativement, le résultat optique souhaité peut être obtenu en installant un nombre suffisant (3-5) d'indicateurs lumineux bifaces disposés verticalement de chaque côté de la sortie. L'éclairage est de couleur verte, avec technologie LED et contrôlé par le système d'automatisation afin d'obtenir une luminance de 30 cd/m² en fonctionnement normal du tunnel et 100 cd/m² en cas d'alerte d'évacuation.

Les luminaires doivent être conçus de manière à fournir un éclairage adéquat sur l'axe transversal, permettant aux usagers se déplaçant facilement dans le tunnel de localiser et d'identifier l'issue de secours. Ils doivent avoir une protection IP65, IK 08 et une conception telle qu'il n'y a pas de risque de blessure pour les piétons qui passent (côtés inclinés).

10,4 Peinture des parois, de l'asphalte et de l'entrée du tunnel

Afin d'améliorer la luminance des parois et de réduire la puissance installée requise du système d'éclairage, il est proposé que les parois du tunnel soient peintes en gris clair avec un facteur de réflexion totale $\geq 50\%$ à une hauteur d'au moins 3 m.

Dans le même temps, il peut être possible d'étudier l'utilisation d'un revêtement asphalté de couleur claire pour augmenter la luminance de la surface de la route. Dans ce cas, la connaissance des propriétés réfléchissantes du revêtement est requise et toutes les caractéristiques de qualité d'éclairage (uniformité, rapport de luminance paroi/asphalte) doivent être assurées.

Afin de réduire la luminance de l'entrée du tunnel, et ainsi réduire la luminance requise dans le tunnel pendant la journée, il est proposé de peindre les éléments structurels de l'entrée du tunnel avec de la peinture sombre. La végétalisation des abords ou l'utilisation de matériaux sombres contribuent également à réduire la luminosité de l'entrée du tunnel. En tout état de cause, les interventions à l'entrée du tunnel doivent réduire la luminance globale L20 du champ de vision standard du conducteur.

11. Préparation d'études sur l'éclairage des tunnels

11.1 Exigences générales

Le but d'une étude sur l'éclairage d'un tunnel est de répondre aux besoins d'éclairage du tunnel sur sa longueur et pendant le jour et la nuit. Le système d'éclairage doit atteindre les niveaux appropriés de luminance routière le long du tunnel, calculés sur la base du schéma de la figure 18 (section 8.5). Dans le même temps, les exigences en matière d'éclairage pour les murs et les uniformités requises doivent être respectées. Les études d'éclairage des tunnels doivent être réalisées à l'aide d'un logiciel spécifique adapté aux études d'éclairage des tunnels. Les logiciels intègrent des méthodes de calcul conformes aux normes applicables

telles que le rapport technique CIE 189. La conception de l'éclairage doit tenir compte des données géométriques réelles du tunnel ainsi que de la détermination d'autres données relatives à l'emplacement et au fonctionnement du tunnel.

11.2 Facteur d'entretien

Le facteur d'entretien d'un système d'éclairage de tunnel doit être calculé comme dans le cas de l'éclairage routier et est décrit à la section 3.2. Dans le cas des tunnels, la détérioration dans le temps des propriétés réfléchissantes de ces parois doit être prise en compte dans les calculs avec l'utilisation du logiciel spécialisé de ces études d'éclairage, en liaison avec le programme de nettoyage des murs des travaux routiers en question, tel que prévu dans les manuels d'entretien.

11.3 Emplacement des luminaires dans le tunnel

Les emplacements des luminaires sont déterminés sur la base des résultats des études d'éclairage d'un tunnel. Les positions d'éclairage doivent assurer le fonctionnement en toute sécurité des luminaires et doivent satisfaire aux exigences de sécurité des installations électromécaniques. La configuration habituelle des luminaires est la suivante:

1. Montage sur le plafond sur des supports spéciaux, au centre ou à proximité du centre du tunnel à côté des conduits de câbles électriques, à une distance du centre pour faciliter l'entretien. Cette configuration peut consister en un ou plusieurs ensembles de luminaires en fonction de la largeur du tunnel ou des exigences photométriques. Pour les tunnels de 3 voies ou plus, les luminaires doivent être répartis dans des positions assurant une utilisation optimale de l'émission lumineuse des luminaires.
2. Montage sur les parois du tunnel à une hauteur appropriée indiquée par les spécifications de sécurité et les études d'éclairage pertinentes.

En tout état de cause, les niveaux d'éclairage requis sur les murs et sur la surface de la route du tunnel doivent être assurés.

La distance entre les luminaires doit être calculée pendant l'étude de l'éclairage et peut être variable le long du tunnel ou fixée par groupe d'un nombre donné de luminaires. Dans le premier cas, un changement en douceur de la luminance est réalisé le long du tunnel, tandis que dans le second cas, les niveaux de luminance sont atteints en étapes distinctes. Quelle que soit la méthode suivie, les niveaux de luminance définis par le diagramme de la figure 18 (section 8.5) doivent être respectés.

11.4 Circuits d'éclairage et éclairage adaptatif

Les besoins d'éclairage d'un tunnel varient au cours de la journée. La luminance de la zone d'accès change et dépend directement de la luminance du ciel, de la luminance de l'entrée du tunnel ou des conditions météorologiques. En conséquence, la luminance L_{20} change, de même que la luminance L_{th} de la zone de seuil requise. Il est donc clairement nécessaire d'adapter automatiquement l'éclairage de la zone de seuil et de la zone de transition par rapport à la luminance extérieure. À cette fin, les luminaires couvrant l'éclairage de la zone de seuil, des zones de transition, de l'intérieur et des zones de sortie (le cas échéant) doivent être ajustés en conséquence pour atteindre les niveaux d'éclairage souhaités.

Les systèmes de commande d'éclairage des tunnels doivent gérer les luminaires en utilisant l'une des méthodes suivantes:

1. Groupement de luminaires et commutation ON/OFF

C'est le cas principalement dans les installations existantes, compte tenu de la prédominance des sources d'éclairage conventionnelles avant l'émergence des luminaires LED et de leurs options de contrôle supplémentaires. Avec cette méthode, les luminaires sont divisés en groupes de circuits, un ou plusieurs par degré d'éclairage. Ces circuits gèrent la mise en marche/l'arrêt des circuits et permettent d'atteindre les différents niveaux d'éclairage du tunnel. La méthode ON/OFF peut être utilisée avec n'importe quelle technologie de luminaire. Le nombre de circuits de commande et donc les niveaux d'éclairage correspondants doivent être d'au moins 5 sans tenir compte du niveau d'éclairage nocturne, par exemple 100 %, 80 %, 60 %, 40 % et 20 % de la luminance L_{th} plus le niveau de lumière nocturne.

2. Groupement de luminaires et réglage du flux lumineux à deux niveaux et commutation ON/OFF.

Cette méthode est similaire à la première, mais combine la possibilité d'utiliser des luminaires de type bi-Power. Dans ce cas, le flux lumineux des luminaires peut être ajusté à deux niveaux distincts, par exemple 100 % et 50 % du flux lumineux nominal. Cela permet d'obtenir deux fois plus d'éclairage que la première méthode ou peut permettre de réduire de moitié le nombre de circuits requis tout en atteignant le même nombre de niveaux d'éclairage. Par exemple, dans le premier cas, avec 4 circuits de luminaires, 4 niveaux d'éclairage sont atteints, tandis que dans le second cas, avec 2 circuits de luminaires et 2 niveaux de flux lumineux par luminaire, 4 niveaux d'éclairage sont également atteints. Le nombre de circuits de commande et donc les niveaux d'éclairage correspondants doivent être d'au moins 5 sans tenir compte du niveau d'éclairage de nuit.

3. Groupement de luminaires, réglage continu du flux lumineux à un niveau inférieur et commutation ON/OFF.

Cette méthode est similaire à la seconde méthode sauf que le flux lumineux des luminaires peut être ajusté à des niveaux continus jusqu'à un seuil, par exemple 50 %, 30 %, etc. Avec la distribution appropriée des luminaires dans les circuits, une combinaison de plusieurs niveaux d'éclairage discrets est atteinte, comme dans la première et la seconde méthode, mais la transition d'un niveau à l'autre se fait en ajustant continuellement le flux lumineux avant que certains luminaires ne soient éteints. Cette méthode de combinaison est proposée dans les cas où le fonctionnement des luminaires à faible flux lumineux est contre-indiqué pour des raisons de qualité d'énergie et de durée de vie des sources lumineuses.

4. Directionnalité des luminaires et méthode de contrôle continu du flux lumineux sur toute la plage de fonctionnement

Cette méthode est la nouvelle génération de systèmes de communication et de gestion bidirectionnels à travers lesquels a lieu l'adressage de chaque luminaire ou groupe de luminaires, de sorte qu'ils effectuent des commandes spécifiques pour la commutation ON/OFF ou le réglage du flux lumineux à tous les niveaux possibles (0-100 %). Dans ce cas, il est possible de créer des scénarios d'éclairage avec une précision de

changement de luminance. Chaque niveau d'éclairage est composé d'un niveau de flux lumineux spécifique des luminaires. La méthode conduit généralement à moins de câblage que les autres méthodes.

11.5 Contrôle dynamique via des dispositifs de mesure externes et internes

L'éclairage d'un tunnel routier doit être ajusté de manière à suivre les modifications de la luminance extérieure de l'entrée du tunnel. À cette fin, un dispositif de mesure de la luminance doit être installé à la distance d'arrêt en toute sécurité qui doit mesurer en permanence la valeur de luminance L20 ou Lseq. Pour des raisons pratiques, le dispositif de mesure de la luminance doit être placé à une hauteur supérieure à celle du siège du conducteur standard et hors route (à droite ou à gauche). Afin d'éviter des lectures incorrectes, il est recommandé d'optimiser le champ de vision du dispositif de mesure de la luminance au moyen d'une cible appropriée, de sorte que le champ de mesure de la luminance ait des proportions d'environnement, de ciel et de route équivalentes au champ de vision de l'observateur standard (conducteur standard). Si l'optimisation n'est pas possible, l'instrument de mesure doit viser le centre de l'entrée du tunnel.

Le niveau de l'éclairage du tunnel doit être ajusté en fonction de l'indication de l'instrument extérieur et de l'attribution de la classe d'éclairage résultant de l'étude de l'éclairage.

11.6 Éclairage d'un tunnel à double sens de circulation

Dans les tunnels dans lesquels la circulation a lieu de façon permanente à double sens, l'éclairage est conçu pour les deux directions de circulation, c'est-à-dire pour chaque bouche d'entrée de chaque côté du tunnel. Les exigences d'éclairage pour les zones de seuil, de transition et intérieures sont basées sur la luminance extérieure L20 de l'entrée du tunnel. L'éclairage intérieur et l'éclairage de nuit sont communs à l'ensemble du tunnel. En tout état de cause, les exigences minimales applicables à chaque observateur standard doivent être respectées. Lorsque le tunnel est relativement court et que les zones d'éclairage renforcé se chevauchent à l'intérieur du tunnel, l'éclairage renforcé de chaque direction s'arrête au point de départ du chevauchement.

11.7 Optimisation de la conception de l'éclairage des tunnels

Le concepteur des travaux doit optimiser la conception de l'éclairage du tunnel en fonction de l'optimisation de la conception de l'éclairage routier. En tout état de cause, l'objectif du concepteur des travaux est de trouver la solution technique qui nécessite le moins de capacité installée possible par niveau d'éclairage et la consommation d'énergie annuelle la plus faible possible. Cela peut être combiné à divers critères économiques.

Dans le cas de l'éclairage de tunnel, le concepteur de travaux peut utiliser les indices qualitatifs de la section 3.4 pour comparer d'autres solutions techniques et opter pour les plus avantageuses. Dans ces indices (si nécessaire), la surface d'éclairage sera prise comme la surface de la chaussée, des trottoirs (le cas échéant) et des murs jusqu'à 2 mètres de haut.

En outre, il est recommandé que le concepteur des travaux calcule le facteur q_c défini dans l'équation (17):

$$q_c = \frac{L}{E_v} \quad (17)$$

où:

q_c : facteur de contraste

L : luminance de la surface de la route au point de calcul

E_v : intensité de l'éclairage vertical au point de calcul

La valeur minimale du facteur q_c par type de luminaire utilisé est:

- Luminaires à faisceaux hautement asymétriques: q_c supérieur ou égal à 0,60
- Luminaires à faisceaux symétriques ou quasi symétriques: q_c approximativement égal à 0,15
- Luminaires d'une autre distribution: (aucune exigence)

12. Contrôle de la conformité de l'éclairage des tunnels

12.1 Introduction

Les études sur l'éclairage routier précisent qu'un chapitre spécifique devrait être inclus, à savoir les «lignes directrices pour le contrôle de la conformité pendant la mise en œuvre (OESY)», afin de décrire les procédures à suivre pour le contrôle de la conformité pendant la phase de mise en œuvre de l'étude.

Le contrôle de conformité concerne les contrôles qualitatifs et quantitatifs à effectuer dans les tunnels routiers tant après l'installation ou la modernisation du système qu'à intervalles réguliers.

Le contrôle vise à confirmer, par échantillonnage, les résultats obtenus, que ce soit sur l'équipement lui-même (luminaires, système de commande, etc.) ou sur l'installation dans son ensemble (performance d'éclairage sur site).

Le contrôle de conformité ne remplace en aucun cas les contrôles résultant des certificats de conformité prévus dans les spécifications techniques et ne certifie pas non plus le processus de production de l'équipement.

Les contrôles à prévoir dans le OESY, notamment en ce qui concerne les luminaires et leurs performances après intégration dans l'installation d'éclairage du tunnel, comprennent des mesures de laboratoire de l'équipement et des commandes sur site de l'installation d'éclairage.

12.2 Mesures de laboratoire

Des contrôles aléatoires de l'équipement doivent être réalisés pour chaque nouvelle installation de luminaires dans un tunnel routier ou la mise à niveau d'un luminaire existant. Le nombre d'échantillons à contrôler dépend du nombre de différents types de luminaires utilisés. En tout état de cause, les contrôles aléatoires doivent représenter de manière adéquate l'ensemble de l'installation contrôlée.

Les contrôles aléatoires sont effectués pendant l'installation du groupe de luminaires à installer sur place et ne doivent pas être des échantillons d'usine à vérifier.

Les mesures doivent être effectuées par un organisme accrédité pour les mesures respectives, qui disposera de l'infrastructure et de l'équipement étalonné appropriés. Les mesures doivent être effectuées conformément à l'une des normes EN 13032, CIE S025 ou IES LM79.

Les caractéristiques à contrôler, au minimum, sur chaque échantillon sont présentées dans le tableau 30. Les caractéristiques contrôlées sont comparées à celles fournies par le constructeur et les écarts ne doivent pas dépasser le pourcentage correspondant indiqué dans le même tableau.

Tableau 30 — Caractéristiques mesurées lors des essais en laboratoire des luminaires.

Caractéristique contrôlée	Écart maximal par rapport à la déclaration du fabricant
Tension de fonctionnement	-
Courant total du luminaire	-
Puissance totale du luminaire	+ 10 %
Facteur de puissance du luminaire à pleine charge	- 0,05
Distorsion harmonique du courant du luminaire jusqu'au 30 ^e harmonique	+ 2 %
Flux lumineux total du luminaire	- 10 %
Répartition de l'intensité lumineuse du luminaire	-
Température de couleur corrélée (CCT) mesurée à des niveaux de C0-C330 à 60° et à des angles de $c = 0$ à $c = 180^\circ$ à 30°).	± 200 K
Variation de puissance par rapport au flux lumineux pour les luminaires avec flux lumineux réglable entre 100 % et 0 % du flux lumineux avec réglage de 10 %	-
Lumière scintillante du luminaire (PstLM, SVM) dans des conditions de fonctionnement nominales et à chaque niveau de contrôle du flux lumineux.	+ 5 %

12.3 Mesures sur site

12.3.1 Catégories de mesures sur site

Les catégories de mesures sur site doivent être prévues dans le OESY de la même manière qu'à la section 6.3.1.

Les mesures doivent être effectuées par du personnel dûment formé et conformément au rapport technique CEN/CR 14380. Des exigences de contrôle supplémentaires peuvent être prévues par le concepteur de travaux.

Les rapports sur les mesures doivent être fournis en détail avec l'indication des mesures individuelles, le calcul des indicateurs de qualité, le cas échéant, les caractéristiques géométriques et électriques de l'installation, les conditions météorologiques, etc.

12.3.2 Définition des zones de mesure sur site

Les mesures sur site dans les tunnels routiers doivent être effectuées sur des grilles représentatives dans toutes les zones d'éclairage individuelles. Chaque grille est définie comme la zone entre deux luminaires consécutifs du circuit d'éclairage de nuit selon le rapport technique CEN/CR 14380. Le nombre minimal de grilles de mesure est indiqué dans le tableau 31.

Tableau 31 — Nombre minimum de grilles de mesure par zone d'éclairage du tunnel.

Zone d'éclairage	Nombre minimal de grilles
Zone d'entrée (segment de luminance fixe)	2
Zone d'entrée (section de réduction linéaire de la luminance)	2
Zone de transition	6
Zone intérieure	2
Zone de sortie	2

Le nombre minimal de grilles s'applique tant que chaque zone est disponible et que sa longueur permet de définir le nombre minimal de grilles. Si tel n'est pas le cas, les grilles représentatives peuvent être définies dans le tunnel.

Les grilles de mesure doivent être choisies de manière à garantir une évaluation correcte de la courbe de variation de la luminance le long du tunnel.

Le nombre minimal de grilles peut être réduit de moitié pour les mesures effectuées pour des raisons d'entretien.

12.3.3 Instruments de mesure sur site

Les instruments de mesure des caractéristiques photométriques, géométriques et électriques d'une installation d'éclairage d'un tunnel doivent être conçus pour l'utilisation prévue, avoir des certificats d'étalonnage valides et couvrir la plage de mesure de chaque caractéristique mesurée qui devrait être mesurée sur place. Les exigences indicatives applicables aux instruments de mesure sont indiquées dans le tableau 21 de la section 6.3.3

12.3.4 Mesure de la luminance

Le contrôle de conformité des installations d'éclairage de tunnel de classe M doit être effectué en mesurant la luminance de la surface de la route et des parois. Les mesures doivent être effectuées conformément au rapport technique CEN/CR 14380 sur les grilles sélectionnées le long du tunnel. Un dispositif de mesure de la luminance tel que décrit ci-dessus doit être utilisé pour les mesures. Les mesures doivent être répétées pour tous les niveaux prédéterminés d'éclairage du tunnel sur les mêmes grilles.

Les mesures doivent être effectuées à une distance de 60 m du début de chaque grille et à une hauteur de 1,5 m au-dessus du sol. Si la distance de 60 m n'est pas réalisable, les mesures doivent être effectuées à partir d'une hauteur inférieure et d'une distance plus courte, mais en tout état de cause, l'angle relatif de la position de mesure depuis le début de la grille est d'environ 1 degré. Afin de minimiser les perturbations de la circulation et d'améliorer la sécurité, un système peut être utilisé pour mesurer la luminance d'un véhicule en mouvement.

Les mesures doivent être effectuées sur une chaussée sèche et sans humidité qui est exempte d'objets étrangers, tels que les véhicules stationnés, les matériaux de construction et d'autres obstacles sur les grilles. Pendant les mesures, les sources d'éclairage supplémentaires dans le tunnel doivent être éteintes dans la mesure du possible. Si une nouvelle installation est contrôlée, l'état de l'asphalte et son âge doivent être indiqués.

Pour chaque position de mesure, la luminance moyenne, minimale et maximale de la surface de la route et du mur jusqu'à une hauteur de 2 m et l'uniformité de la luminosité doivent être obtenues. La courbe de distribution de luminance le long du tunnel est conçue sur la base des valeurs de luminance moyenne de la route et comparée à la courbe de luminosité nominale au niveau d'éclairage contrôlé.

12.3.5 Mesure de l'intensité lumineuse

Les mesures de l'intensité lumineuse doivent être effectuées pour vérifier les niveaux d'éclairage nécessaires de l'éclairage de sécurité ou pour évaluer les performances des luminaires sans tenir compte de l'effet de l'asphalte.

Les mesures doivent être effectuées à chaque point des grilles sélectionnées en contact avec le sol et en position horizontale. Dans le cas de la mesure de l'éclairage de sécurité, les luminaires du tunnel doivent être alimentés par le système d'alimentation électrique de sécurité. Dans ce cas, des mesures d'intensité lumineuse doivent être effectuées à la fois sur la surface de la route et sur les trottoirs, le cas échéant, de chaque côté de la route et la valeur moyenne et minimale d'intensité lumineuse doit être obtenue à partir de tous les points mesurés.

La valeur de l'intensité lumineuse de chaque point ne doit être enregistrée que lorsque la lecture de l'instrument est stabilisée. Dans tous les cas, la lumière errante, le cas échéant, doit être enlevée au moyen d'une mesure supplémentaire avec l'extinction des luminaires, si possible. Une attention particulière est accordée pour éviter la formation d'ombres sur le capteur de l'instrument par le corps de l'instrument, par l'opérateur de l'instrument ou par divers obstacles situés autour et à l'intérieur de la grille de mesure.

12.3.6 Mesure des caractéristiques géométriques et électriques

Dans le cadre des mesures sur site, les caractéristiques géométriques suivantes sont enregistrées:

- Largeur maximale et hauteur maximale du tunnel
- Largeur de la chaussée
- Largeur de chaque voie de circulation
- Largeur de la bande d'arrêt d'urgence, le cas échéant
- Largeur des trottoirs, le cas échéant
- Distance standard entre les luminaires d'éclairage de nuit
- Hauteur de montage du luminaire
- Distance verticale des luminaires par rapport à l'axe central du tunnel
- Angle du luminaire par rapport au niveau horizontal
- Roulement de la chaussée
- Type de luminaires.

Lorsque des mesures électriques sont possibles, la tension d'alimentation des luminaires pendant les mesures doit être enregistrée.

La variation de la température et de l'humidité relative doit être enregistrée tout au long des mesures.

13. Dispositions relatives à la conformité des installations existantes d'éclairage routier et d'éclairage des tunnels

Le présent règlement s'applique immédiatement aux nouvelles installations d'éclairage (éclairage routier et éclairage des tunnels) et les dispositions suivantes s'appliquent aux installations existantes.

13.1 Installations d'éclairage routier

Les installations d'éclairage routier existantes sont conformes aux dispositions du règlement dans les cas suivants:

- Mise à niveau de l'équipement (des luminaires ou du système de contrôle). Cela ne concerne pas l'entretien régulier de l'équipement par le changement des lampes, des dispositifs d'activation et d'alimentation ou tout autre entretien de l'équipement.
- Extension du réseau d'éclairage routier existant
- Existence d'un système de régulation du flux lumineux des luminaires à des niveaux répondant aux exigences des nouvelles classes d'éclairage.

Dans tous les cas d'une installation existante, l'entité concernée peut déterminer les nouvelles classes d'éclairage, classes nominales et classes d'éclairage adaptatif, dérivées des dispositions du règlement. Si nécessaire, l'entité peut concevoir ou faire fonctionner le système d'éclairage en fonction des nouvelles exigences en matière d'éclairage.

13.2 Installations de dispositifs d'éclairage pour les tunnels

Dans les tunnels existants, les exigences en matière d'éclairage doivent être alignées sur les dispositions du règlement en cas de mise à niveau des équipements, des luminaires et/ou du système de commande. Cela ne concerne pas l'entretien régulier de l'équipement par le changement des lampes, des dispositifs d'activation et d'alimentation ou tout autre entretien de l'équipement.

Dans toutes les installations existantes, l'entité concernée peut revoir les exigences en matière d'éclairage du tunnel, calculer la luminance L20 et l'indice k et déterminer les nouvelles courbes de variation de luminance le long du tunnel, conformément aux dispositions du règlement. Si nécessaire, il peut concevoir ou faire fonctionner le système d'éclairage en fonction des nouvelles exigences.

14. Révision du règlement

Le renouvellement, la correction ou l'amélioration du règlement ont lieu dans les cas suivants:

- Après cinq ans à compter du dernier renouvellement selon les normes ISO.
- Si les normes internationales intégrées, les spécifications, les directives et les pratiques communes ont changé dans la mesure où un renouvellement du règlement est nécessaire en moins de cinq ans.

Bibliographie

- [1] ELOT CEN/TR 13201-1:2015 “Road lighting - Part 1: Guidelines on selection of lighting classes”
- [2] ELOT EN 13201-2:2016 “Road lighting - Part 2: Performance requirements”
- [3] ELOT EN 13201-3:2016 “Road lighting - Part 3: Calculation of performance”
- [4] ELOT EN 13201-4:2016 “Road lighting - Part 4: Methods of measuring lighting performance”
- [5] ELOT EN 13201-5:2016 “Road lighting - Part 5: Energy performance indicators”
- [6] BS 5489-1:2013 “Code of practice for the design of road lighting. Lighting of roads and public amenity areas”
- [7] CIE 115:2010 “Lighting of roads for motor and pedestrian traffic”
- [8] JRC:2019 “Revision of the EU Green Public Procurement Criteria for Road Lighting and traffic signals”
- [9] PLG-02:2013 “Professional Lighting Guide - The Application of Conflict Areas on the Highway”
- [10] PLG-08:2016 “Professional Lighting Guide - Guidance on the Application of Adaptive Lighting within the Public Realm”
- [11] CIE 150:2017 “Guide on the limitation of the effects of obtrusive light”
- [12] Manuel des lignes directrices pour la conception des routes (OMOE) — Livre 2: Sections transversales (OMOE-Δ)
- [13] EN13032 “Light and lighting - Measurement and presentation of photometric data of lamps and luminaires”
- [14] IES LM 79:2019 “Approved Method: Optical and Electrical Measurements of Solid-State Lighting Products”
- [15] IEC 62717 “LED modules for general lighting - Performance requirements”
- [16] CIE 154:2003 “The maintenance of outdoor lighting systems”
- [17] ISO/CIE TS 22012:2019 “Light and lighting — Maintenance factor determination — Way of working”
- [18] Directive 2014/35/EU “Low Voltage Directive (LVD)”
- [19] Directive 2014/30/EU “Electromagnetic Compatibility Directive (EMC)”
- [20] Directive 2009/125/EC “Eco-design”
- [21] Regulation (EU) 2017/1369 “Energy labelling”
- [22] Directive 2014/34/EU “ATEX”
- [23] Directive 2011/65/EU “Rohs”
- [24] EN 60598-1:2015 “Luminaires – Part 1:General requirements and tests”
- [25] EN 60598 2-3 :2003“Luminaires – Part 2-3: Particular requirements – Luminaires for road and street lighting”
- [26] EN/ IEC 62722-2-1:2014 “Guidelines for principal component reliability testing for LED light sources and LED luminaires”
- [27] ISO 17025:2017 “General requirements for the competence of testing and calibration laboratories”
- [28] CIE 88:2004 “Guide for the lighting of road tunnels and underpasses”
- [29] CIE 189:2010 “Calculation of tunnel lighting quality criteria”
- [30] ELOT (CEN) CR 14380:2004 “Lighting applications - Tunnel lighting”
- [31] Road and Transportation Research Association “Regulations for the equipment and operation of road tunnels” RABT 2016