

SPÉCIFICATION TECHNIQUE 005 ÉQUIPEMENTS D'ÉCLAIRAGE PUBLIC

C4/11-2 : Prescriptions relatives aux luminaires Exigences photométriques

Version juin 2016

TABLES DES MATIÈRES

1. GENERALITES	3
1.1 DOMAINE D'APPLICATION	3
1.2 VOCABULAIRE	4
1.3 NORMES DE REFERENCE	5
2. PREALABLES	5
2.1 LUMINAIRE(S) PROPOSE(S) POUR L'INSTALLATION D'ECLAIRAGE PUBLIC	5
2.2 IMPOSITIONS POUR L'ETUDE PHOTOMETRIQUE	6
3. METHODE DE DETERMINATION DES PARAMETRES A CONSIDERER.....	8
3.1 POWER DENSITY INDICATOR (D_p)	8
3.1.1 <i>Calcul du Power Density Indicator</i>	8
3.1.2 <i>Surfaces à considérer</i>	8
3.1.3 <i>L'éclairement horizontal moyen maintenu à prendre en compte</i>	9
3.1.4 <i>Puissance système à considérer</i>	9
3.2 ANNUAL ENERGY CONSUMPTION INDICATOR (D_E)	10
3.2.1 <i>Calcul du annual Energy Consumption Indicator</i>	10
3.2.2 <i>Surface A à considérer</i>	10
3.2.3 <i>Puissance système P_j à considérer</i>	10
3.2.4 <i>Durée de la période de fonctionnement t_j</i>	11
4. DETERMINATION DE LA PERFORMANCE ENERGETIQUE	12
4.1 INTERPRETATION DE D_p ET D_E	12
4.2 COMPARAISON DE PLUSIEURS INSTALLATIONS D'ECLAIRAGE POUR UN MEME ESPACE	12
4.3 VALEURS DE REFERENCE	13
4.3.1 <i>Valeurs de référence pour les voiries de classe M</i>	14
4.3.2 <i>Valeurs de référence pour les voiries de classe C</i>	15
4.4 EXEMPLES DE DETERMINATION DE LA PERFORMANCE ENERGETIQUE (VOIRIE SIMPLE)	16
4.5 AMELIORATION DES VALEURS DE D_p ET D_E	17
5. REMARQUES	18
ANNEXE A (INFORMATIF): EXEMPLE POUR UNE VOIRIE A DEUX CLASSES D'ECLAIRAGE	19

1. Généralités

1.1 Domaine d'application

La présente spécification technique décrit les performances énergétiques auxquelles doit répondre une installation d'éclairage public. Plus spécifiquement, elle établit les bases pour juger de la pertinence et de l'efficacité énergétique de l'utilisation d'un appareil d'éclairage public dans une configuration de voirie ou d'espace donnée.

Cette spécification technique s'applique uniquement aux espaces éclairés caractérisés par une seule classe d'éclairage M ou C (suivant la norme EN 13201). Les espaces éclairés caractérisés par plusieurs classes d'éclairage sont traités à titre informatif en Annexe A.

Cette spécification technique **ne s'applique pas** aux installations d'éclairage public à base de :

- Projecteurs encastrés installés dans le sol,
- Bornes lumineuses (Bollards) ou ensembles candélabre/luminaire d'une hauteur inférieure à 3 m,
- Projecteurs.

La méthode proposée dans ce document intègre le recours éventuel aux technologies de dimming. La méthode proposée dans ce document peut servir d'une part à comparer le niveau de performance énergétique d'une installation par rapport à des valeurs de référence attendues pour des installations performantes et, d'autre part, à comparer l'efficacité de projets d'installations proposés sur le même espace à éclairer.

Elle suppose la réalisation d'une étude photométrique conforme aux exigences de la norme NBN L18-004 sur base de laquelle la performance énergétique de l'installation d'éclairage est évaluée.

1.2 Vocabulaire

<p>Installation d'éclairage public</p>	<p>Ensemble constitué par les luminaires, sources, composants électriques et supports éclairant un espace public précis. Les modalités d'implantation (hauteur, interdistance, inclinaison...) sont des caractéristiques propres à l'installation d'éclairage public.</p>
<p>Dimming</p>	<p>Abaissement temporaire du flux lumineux des sources / d'un appareil d'éclairage public à LED dans le but d'économiser de l'énergie et/ou de limiter les nuisances lumineuses</p>
<p>Power Density Indicator PDI (d'une installation d'éclairage dans un état donné de fonctionnement)</p> <p><i>D_P</i></p>	<p>Valeur de la puissance de l'installation divisée par la valeur du produit de la surface éclairée et de l'éclairement moyen maintenu sur cette surface obtenu dans l'étude photométrique conformément à la EN 13201-3</p> <p>(unité: $W \cdot lx^{-1} \cdot m^{-2}$)</p>
<p>Annual Energy Consumption Indicator AECl (d'une installation d'éclairage sur une année spécifique)</p> <p><i>D_E</i></p>	<p>Energie électrique totale consommée par une installation d'éclairage (de jour comme de nuit) sur une année spécifique par rapport à la surface totale éclairée par l'installation.</p> <p>(unité: $Wh \cdot m^{-2}$)</p>
<p>System Power</p> <p><i>P</i></p>	<p>Puissance totale d'une installation d'éclairage public nécessaire pour remplir les exigences de la classe d'éclairage comme spécifiée par la NBN L18-004 sur toutes les sous-surfaces ainsi que son fonctionnement et contrôle correct</p> <p>(unité: W)</p>
<p>Constant Light Output</p> <p>CLO</p>	<p>Régulation d'une installation d'éclairage public ayant pour but de fournir un flux lumineux des sources constant.</p> <p>NOTE 1 Cette fonctionnalité a pour but de compenser les pertes de flux causées par le vieillissement des sources lumineuses.</p>

Virtual Power Output VPO	La réduction constante de la puissance électrique d'une source lumineuse à une valeur configurable par l'utilisateur afin d'éviter un sur-éclairage
Edge Illuminance Ratio EIR	Éclairement horizontal moyen sur une bande attenante extérieure au bord de la voirie divisée par l'éclairement horizontal moyen sur une bande attenante intérieure au bord de la voirie. Les deux bandes ont la largeur d'une bande de circulation de la voirie.

1.3 Normes de référence

La dernière version des normes suivantes est d'application, éventuellement complétée des addenda:

- NBN EN 13201-2 Road lighting - Part 2: Performance requirements
- NBN EN 13201-3 Road lighting - Part 3: Calculation of performance
- NBN EN 13201-5 Road lighting - Part 5: Energy performance indicators
- NBN L 18-004 Road lighting - Selection of lighting classes

2. Préalables

2.1 Luminaire(s) proposé(s) pour l'installation d'éclairage public

Le ou les luminaire(s) d'éclairage public constituant l'installation doivent de préférence être conformes aux exigences électriques et techniques fixées notamment dans les prescriptions suivantes de Synergrid :

- C4/11-1 - Spécification technique 005 équipements d'éclairage public. Prescriptions relatives aux luminaires: exigences constructives et de maintenance
- C4/11-3 - Prescriptions relatives aux luminaires équipés de la technologie LED

2.2 Impositions pour l'étude photométrique

L'étude photométrique relative à l'installation d'éclairage public étudiée doit répondre aux conditions suivantes :

- Les niveaux recherchés doivent être conformes à ceux prescrits dans les normes NBN L18-004 et NBN EN 13201-2¹, y compris pour les espaces attenants. Par ailleurs, les valeurs d'éclairement moyen maintenu et de luminance moyenne maintenue n'excéderont pas de plus de 25% les valeurs prescrites ;
- Les modalités de calcul sont conformes à la norme NBN EN 13201-3 ;
- Les matrices photométriques utilisées sont établies conformément aux normes de la série EN 13032 pour les luminaires à lampe à décharge et à la norme CIE DIS 025/E:2014 pour les luminaires LED. Les matrices photométriques seront de préférence mesurées par un laboratoire accrédité ISO 17025 ;
- Pour les luminaires d'éclairage public équipés de lampes à décharge, le facteur de maintenance à utiliser est celui indiqué dans la norme NBN L18-004 ;
- En l'absence de document normatif, le facteur de maintenance des luminaires LED doit être établi en intégrant :
 - La durée de vie du luminaire LED
 - Les modalités d'entretien prévues (intervalle de nettoyage...)
 - La dépréciation du flux lumineux des LED sur la durée de vie considérée
 - La dépréciation des performances optiques du luminaire LED (encrassement, vieillissement des lentilles, vasques...) sur la durée de vie considérée, tenant compte des modalités d'entretien prévues.
- Le revêtement considéré est celui préconisé dans la norme NBN L18-004 à savoir le R3008 ;
- Pour les lampes à décharge, le flux lumineux à prendre en compte est celui indiqué dans la spécification C4/9 Prescriptions relatifs aux lampes. A défaut, le flux lumineux fourni par le fabricant de lampes.
- La puissance prise en considération pour chaque luminaire est :
 - Pour un luminaire équipé de lampe à décharge : la puissance forfaitaire reprise dans le document C4/9-A « Puissances forfaitaires des lampes d'éclairage public ».
 - Pour un luminaire LED : la puissance forfaitaire déterminée lors de l'agrément suivant la prescription C4/11-3. Si le luminaire n'est pas agréé, la puissance à prendre en compte est celle de l'appareil mesuré conformément à la prescription C4/15

¹ Pour certains espaces, le niveau recherché est défini dans la norme NBN EN 12464-2 éclairage des lieux de travail extérieurs

« Règles de prélèvement d'énergie électrique sans comptage de systèmes LED
éclairage public raccordés sur le réseau du GRD ».

3. Méthode de détermination des paramètres à considérer

L'évaluation énergétique d'une installation d'éclairage public dans un espace donné doit tenir compte du Power density indicator (D_p) et du annual energy consumption indicator (D_E).

Le power density indicator caractérise la performance des équipements installés par rapport à l'espace à éclairer indépendamment de toute gestion de l'éclairage (notamment hors dimming, extinction,..). Le annual energy consumption indicator intègre, lui, la gestion de l'éclairage sur la période d'une année.

3.1 Power Density Indicator (D_p)

3.1.1 Calcul du Power Density Indicator

Le Power density indicator d'une surface - éventuellement divisée en sous-surfaces - doit être calculé suivant la formule:

$$D_p = \frac{P}{\sum_{i=1}^n (\overline{E}_i \cdot A_i)}$$

Dans laquelle

D_p est le power density indicator exprimé en $W \cdot lx^{-1} \cdot m^{-2}$

P est la puissance système de l'installation d'éclairage utilisée pour éclairer la surface considérée, exprimée en W

\overline{E}_i est l'éclairement horizontal moyen maintenu de la sous-surface « i », exprimé en lx

A_i est la taille de la sous-surface « i » éclairée, exprimée en m^2

n est le nombre de sous-surfaces éclairées

Le Power density indicator est calculé pour une installation fonctionnant à puissance nominale sans tenir compte d'un dimming éventuel.

3.1.2 Surfaces à considérer

La surface à considérer dans le calcul du power density indicator correspond à l'ensemble de la surface utile éclairée par l'installation d'éclairage public. La surface se subdivise en sous-surfaces en cas de classification différente (trottoir vs route vs piste cyclable) ou d'espace non contigu. Les sous-surfaces sont limitées à une longueur représentative telle que définie ci-dessous.

Les surfaces adjacentes considérées lors du calcul de l'EIR ne doivent pas être prises en compte.

La longueur représentative à prendre en compte est:

- Lorsqu'un seul système d'éclairage est prévu :
 - Pour les installations en unilatéral, en axial et en bilatéral opposé : l'interdistance entre deux luminaires consécutifs
 - Pour les installations en bilatéral quinconce : l'interdistance entre deux luminaires consécutifs (du même côté) divisée par 2 ;
- Lorsque plusieurs systèmes d'éclairage coexistent pour éclairer un même espace, la longueur prise en compte doit être commune à toutes les sous-surfaces.

3.1.3 L'éclairage horizontal moyen maintenu à prendre en compte

Pour chaque sous-surface (même de classe M), la valeur à prendre en compte est l'éclairage horizontal moyen maintenu obtenu dans l'étude photométrique (pas la valeur prescrite par la norme NBN L18-004).

Pour les espaces de classe C et P (pour lesquelles les exigences sont exprimées en éclairage) l'éclairage horizontal moyen maintenu est calculé conformément à la norme EN13201-3.

Pour les espaces de classe M (pour lesquelles les exigences sont exprimées en luminance) le document EN 13201-5 prévoit que l'éclairage horizontal moyen maintenu soit calculé en utilisant la grille de calcul des luminances. Néanmoins, l'utilisation de la grille de calcul des éclairages telle que définie dans la norme EN 13201-3 est autorisée.

3.1.4 Puissance système à considérer

La puissance système pour la sous-surface considérée intègre :

- La puissance du (des) luminaire(s) l'éclairant telle que définie dans le §2.2 ;
- La puissance équivalente supplémentaire par luminaire pour les éventuels autres composants électriques (capteur, unité de contrôle du luminaire, unité de contrôle centralisée...) utilisés pour contrôler l'installation d'éclairage. Celle-ci doit être multipliée par le nombre de luminaires considérés pour l'éclairage de la sous-surface considérée.

3.2 Annual Energy Consumption Indicator (D_E)

3.2.1 Calcul du annual Energy Consumption Indicator

L'annual Energy Consumption Indicator d'une installation éclairant une surface soumise à un même scénario de gestion doit être calculé suivant la formule :

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

où

D_E est l'annual energy consumption indicator pour une installation d'éclairage, en Wh·m⁻²;

P_j est la puissance système associée à la période de fonctionnement j, en W

t_j est la durée de la période de fonctionnement j correspondant à la puissance P_j pour une année, en h

A est la taille de la surface éclairée par l'installation d'éclairage et soumise à un même scénario de gestion, en m²

m est le nombre de période de puissances système différentes P_j . Les éventuelles consommations de veille lors de période d'extinction de l'éclairage doivent être prises en compte.

3.2.2 Surface A à considérer

La surface à considérer dans l'annual Energy Consumption Indicator correspond à la surface éclairée par l'installation d'éclairage et soumise à un même scénario de gestion. Par même scénario de gestion, on entend :

- Même scénario de dimming en terme de puissance.
- Même fonctionnalité CLO et/ou VPO
- Même puissance de veille

Si l'installation comporte plusieurs scénarii de gestion, D_E doit être calculé pour chaque surface correspondant à un scénario différent. Le D_E total à considérer est la somme des D_E de chaque surface.

3.2.3 Puissance système P_j à considérer

La puissance système considérée intègre la puissance du (des) luminaire(s) l'éclairant:

- Pour un luminaire équipé de lampe à décharge, la puissance forfaitaire reprise dans le document C4/9-A « Puissances forfaitaires des lampes d'éclairage public » incluant le régime de dimming réalisé durant la période de fonctionnement j. Pour un luminaire

LED, la puissance de l'appareil mesuré conformément à la prescription C4/15 « Règles de prélèvement d'énergie électrique sans comptage de systèmes LED d'éclairage public raccordés sur le réseau du GRD » incluant le dimming. En cas d'implémentation du constant light output CLO, la puissance P_j à considérer est la puissance moyenne attendue sur la période de fonctionnement du CLO.

- La puissance équivalente supplémentaire par luminaire pour les éventuels autres composants électriques (capteur, unité de contrôle du luminaire, unité de contrôle centralisée...) utilisés pour contrôler l'installation d'éclairage.

3.2.4 Durée de la période de fonctionnement t_j

À titre indicatif, si l'installation d'éclairage public reste en permanence sous tension (même lorsque l'éclairage est éteint), la somme des t_j équivaut à 8760h.

Pour une installation d'éclairage public classique hors tension en journée, la somme des t_j avoisine 4200h.

4. Détermination de la performance énergétique

4.1 Interprétation de D_P et D_E

Le coefficient D_P indique, pour une installation d'éclairage, la puissance nécessaire pour atteindre un résultat conforme aux normes sur une unité de surface. Il donne en fait une image de la performance énergétique initiale de l'installation, indépendamment de tout scénario de gestion éventuel. Il traduit donc la performance des équipements sélectionnés (lampes, luminaires...) et l'adéquation de leur mode d'implantation à l'espace à éclairer considéré. Plus D_P est faible, plus la performance énergétique initiale de l'installation est élevée.

Le coefficient D_E correspond, pour une installation d'éclairage, à la consommation annuelle par m^2 éclairé. Il donne une image de la performance énergétique en fonctionnement de l'installation, incluant l'implémentation d'éventuels scénarii de gestion de l'éclairage. Plus le D_E est faible, plus la performance énergétique en fonctionnement est élevée.

Pour caractériser correctement une installation d'un point de vue énergétique, ces deux paramètres doivent être considérés simultanément.

4.2 Comparaison de plusieurs installations d'éclairage pour un même espace

Le calcul de D_P et D_E impliquant une conformité des solutions proposées aux normes en vigueur, cette question ne doit plus être abordée lors d'une comparaison.

Il est dès lors évident que l'installation présentant le D_P et le D_E les plus faibles est à considérer comme étant la plus efficace d'un point de vue énergétique.

Lorsqu'on est confronté à une situation où, parmi les solutions proposées, ce n'est pas la même qui présente le D_P et le D_E le plus faible, une réflexion doit être lancée. Concrètement, cela veut dire que des scénarii de gestion différents ont été intégrés aux solutions proposées. Sur le seul plan énergétique, a priori, on devrait favoriser l'installation qui présente le D_E le plus faible puisqu'elle correspondra à la facture énergétique la plus faible. Ce raisonnement n'est cependant valable que si l'on est certain du maintien du scénario de gestion proposé sur la durée de vie complète de l'installation. En cas de doute ou d'évolution probable, il vaut mieux privilégier une solution avec un D_E plus élevé mais un D_P plus faible.

4.3 Valeurs de référence

Il est également possible d'évaluer l'efficacité énergétique d'une installation dans l'absolu, en la comparant à des valeurs de référence.

Les valeurs de référence présentées ci-dessous sont les valeurs maximales autorisées pour une nouvelle installation d'éclairage. Il s'agit de valeurs provisoires sujettes à adaptation en fonction de l'évolution technologique.

Seules des valeurs de référence pour D_p sont reprises. Pour D_E , le nombre important de scénarii de gestion possibles en fonction des espaces à éclairer ne nous permet pas d'établir des valeurs similaires. Ceci devrait effectivement être fait selon la fonction de l'espace (une rue commerciale étant différente d'une rue d'habitation par exemple).

Pour les largeurs de voirie qui ne sont pas reprises dans les tableaux ci-dessous, les valeurs de D_p doivent être interpolées ou extrapolées de manière linéaire

4.3.1 Valeurs de référence pour les voiries de classe M

En fonction de la largeur de la voirie, la valeur de D_P ne peut pas dépasser les valeurs reprises dans le tableau et la figure ci-dessous.

Largeur de voirie (m)	Classe d'éclairage			
	M2	M3	M4	M5
4	0,035	0,050	0,05	0,05
5	0,035	0,045	0,045	0,045
6	0,035	0,040	0,040	0,040
7	0,03	0,035	0,035	0,035
8	0,025	0,030		
9	0,020	0,030		
10	0,020	0,030		
11	0,020	0,030		

Tableau 1 Valeur D_P (en $W lx^{-1} m^{-2}$) maximum pour les voiries de classe M

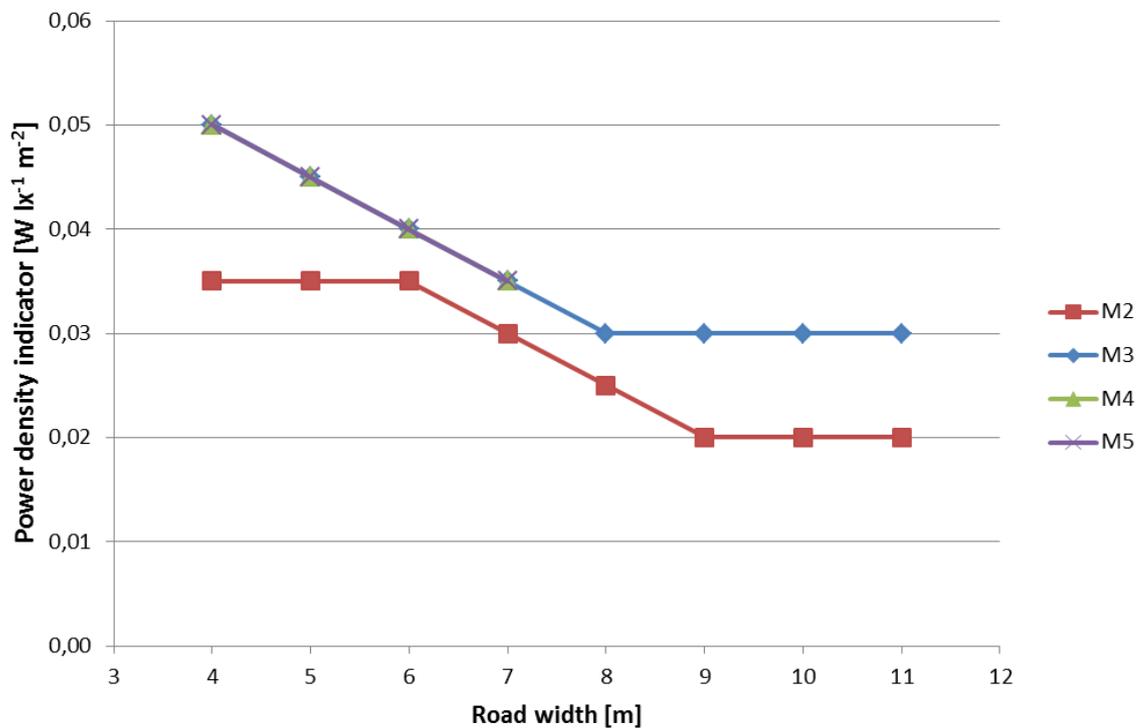


Figure 1 : Valeur D_P maximum pour les voiries de classe M

4.3.2 Valeurs de référence pour les voiries de classe C

En fonction de la largeur de la voirie, la valeur de D_P ne peut pas dépasser les valeurs reprises dans le tableau et la figure ci-dessous.

Largeur de voirie (m)	Classe d'éclairage		
	C2	C3	C4
4	0,060	0,065	0,070
5	0,050	0,055	0,060
6	0,040	0,045	0,050
7	0,030	0,035	0,040
8	0,030	0,035	0,040
9	0,030	0,035	0,040
10	0,030	0,035	0,040

Tableau 2 Valeur D_P (en $W lx^{-1} m^{-2}$) maximum pour les voiries de classe C

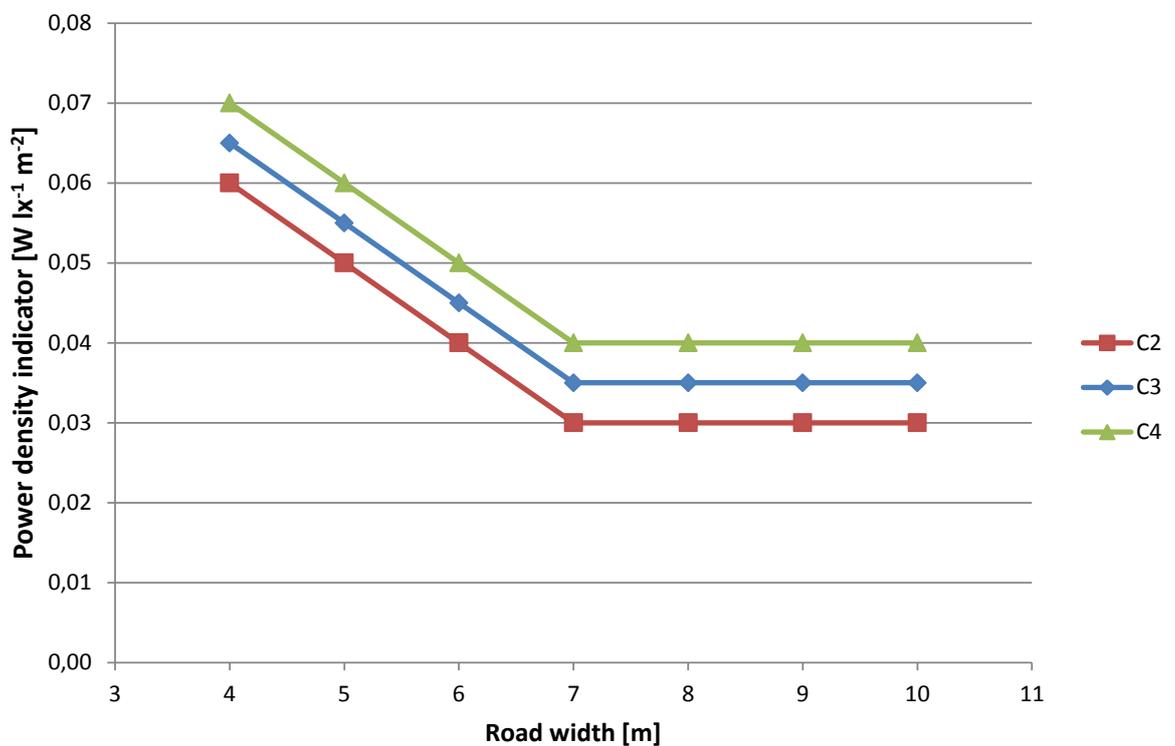
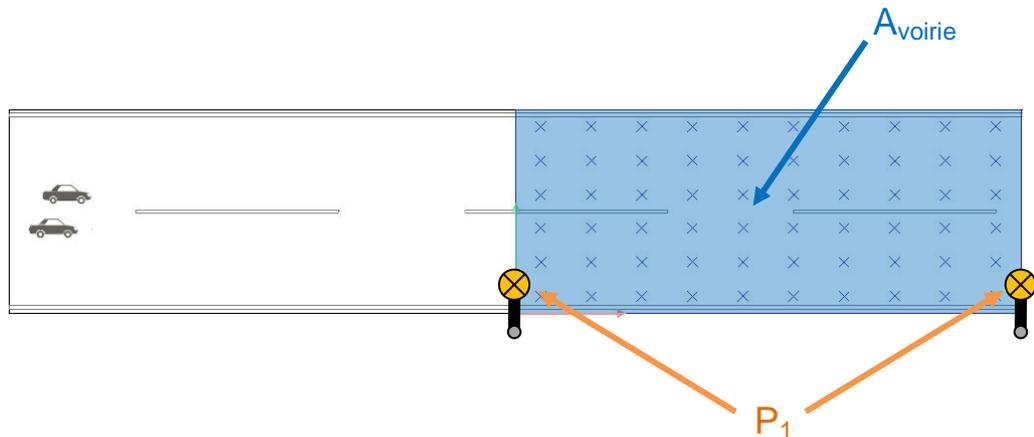


Figure 2 : Valeur D_P maximum pour les voiries de classe C

4.4 Exemples de détermination de la performance énergétique (voirie simple)

Les espaces éclairés caractérisés par une seule classe d'éclairage M ou C doivent être évalués comme dans l'exemple ci-dessous :



Description de la voirie et de l'installation d'éclairage :

- Largeur de voirie : 7 m (2 bandes de circulation de 3,5 m de large)
- Interdistance entre les candélabres : 36 m
- Surface A_{voirie} : 252 m²
- Hauteur des luminaires : 8 m
- Puissance du luminaire P_1 : 115 W (Lampe 100 W NaHP sur ballast électronique)
- Flux lumineux de la lampe : 10000 lm (Lampe 100 W NaHP)
- Facteur de maintenance : 0,92 (Lampe NaHP, IP66, vasque en verre)
- Durée de fonctionnement annuel t : 4282 h
- Classification de la voirie : M3 (1,00 cd/m²)
- Luminance moyenne maintenue obtenue sur A_{voirie} : 1,04 cd/m² (facteur de maintenance compris)
- Éclairement moyen maintenu E_{voirie} obtenue sur A_{voirie} : 14,4 lx (facteur de maintenance compris)

Sur base de l'équation du §3.1.1, le Power Density Indicator (D_P) est calculé comme suit :

$$D_P = \frac{P_1}{E_{voirie} A_{voirie}} = \frac{115 \text{ W}}{14,4 \text{ lx} \cdot 252 \text{ m}^2} = 0,032 \text{ W m}^{-2} \text{ lx}^{-1}$$

L'installation est conforme aux exigences du C4/11-2 (version 2015) car :

- La luminance moyenne maintenue calculée sur la voirie n'excède pas de plus de 25% les valeurs prescrites (classe M3 = 1,00 cd/m²).
- Le Power Density Indicator est inférieur à la valeur reprise dans le Tableau 1 pour une largeur de voirie de 7 m et la classe M3 (<0,035).

Sur base de l'équation du §3.2.1, l'Annual Energy Consumption Indicator (D_E) :

$$D_E = \frac{P_1 \cdot t}{A_{voirie}} = \frac{115 \text{ W} \cdot 4282 \text{ h}}{252 \text{ m}^2} = 1954 \text{ Whm}^{-2}$$

4.5 Amélioration des valeurs de D_P et D_E

Tant D_P que D_E dépendent de la puissance nécessaire pour obtenir les niveaux attendus, autrement dit de l'efficacité lumineuse de l'installation.

Celle-ci peut être calculée comme suit :

$$\eta_{inst} = C_L \cdot f_M \cdot f_U \cdot \eta_{ls} \cdot \eta_{LOR} \cdot \eta_P \quad (5)$$

Où:

- η_{inst} est l'efficacité lumineuse de l'installation en $\text{lm} \cdot \text{W}^{-1}$;
- C_L est le facteur de correction pour la luminance ou l'éclairement hémisphérique basé sur l'étude photométrique;
- f_M est le facteur de maintenance (MF) de l'installation d'éclairage;
- f_U est le facteur d'utilisation (UF) de l'installation d'éclairage;
- η_{ls} est l'efficacité lumineuse de la source lumineuse utilisée en $\text{lm} \cdot \text{W}^{-1}$;
- η_{LOR} est le rendement optique du luminaire utilisé;
- η_P est le rendement électrique du luminaire utilisé.

Pour augmenter l'efficacité lumineuse (η_{inst}), on peut donc :

1. Augmenter η_{ls} , η_{LOR} et η_P en choisissant des technologies plus efficaces
2. Augmenter f_U , qui est le rapport entre le flux lumineux utile atteignant la surface à éclairer et le flux sortant du luminaire, en choisissant une implantation ou une photométrie de luminaire qui maximise le flux lumineux utile pour un même flux sortant du luminaire (en jouant par exemple sur une hauteur du luminaire en fonction de la largeur de la voirie à éclairer ou sur une autre technologie de luminaire)

D_E dépend par ailleurs des scénarii de gestion mis en œuvre. Réduire le nombre d'heures de fonctionnement et/ou le niveau lumineux à ce qui est réellement nécessaire au moment considéré permet de diminuer la valeur de D_E .

5. Remarques

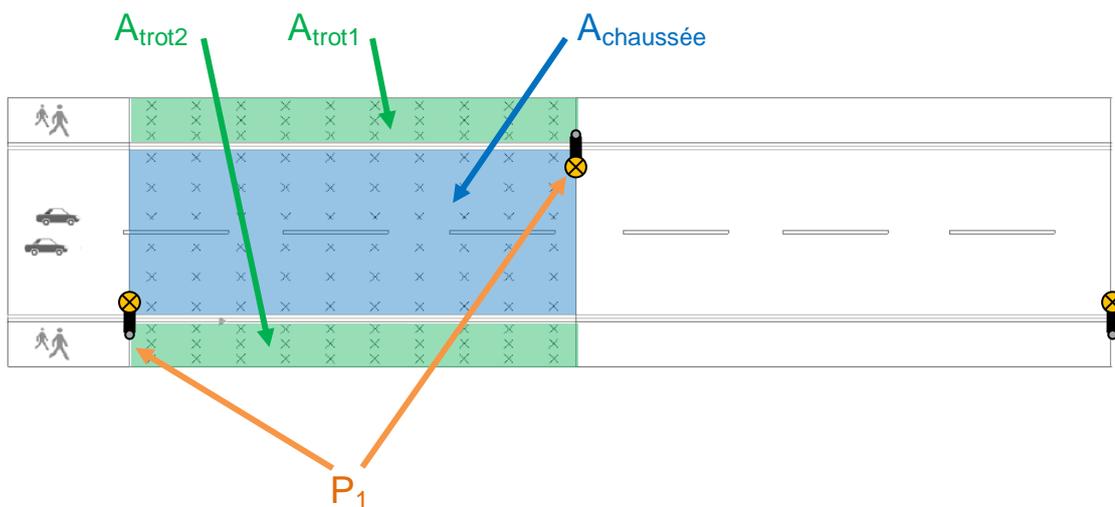
Si la performance énergétique d'une installation d'éclairage public est importante, ce n'est cependant pas le seul facteur à prendre en compte pour déterminer la « meilleure » solution pour l'espace à éclairer.

D'autres éléments peuvent / doivent être intégrés à la réflexion, et notamment :

- La qualité « esthétique » de l'installation, tant de jour que de nuit (teinte de lumière, limitation de l'éblouissement, volume éclairé, limitation des nuisances lumineuses...)
- Le coût d'investissement de l'installation d'éclairage
- Les coûts d'exploitation (Total Cost of Ownership), intégrant la durée de vie de l'installation proposée
- Le « Life Cycle Analysis » ou bilan « énergie grise », pour des considérations environnementales,
- La qualité technique de l'installation proposée
- Etc.

Annexe A (Informatif): Exemple pour une voirie à deux classes d'éclairage

L'exemple ci-dessous est donné à titre informatif et ne fait pas partie du domaine d'application de la spécification C4/11-2.



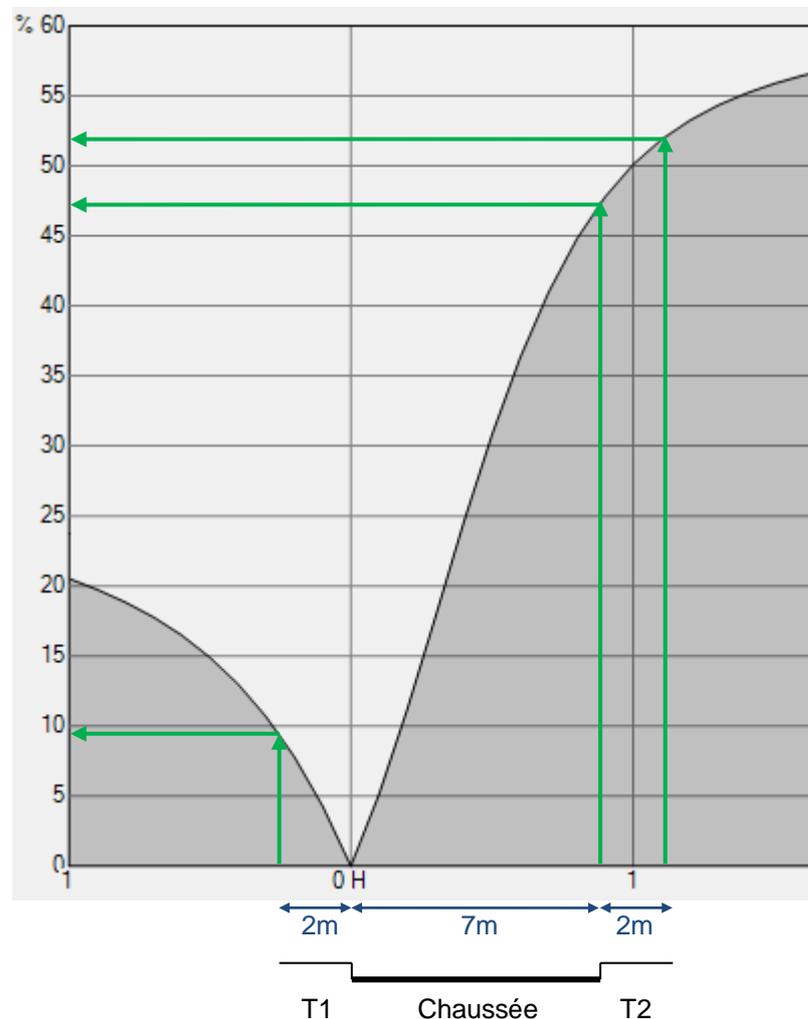
Description de la voirie et de l'installation d'éclairage :

- Largeur de chaussée : 7 m (2 bandes de circulation de 3,5 m de large)
- Largeur de trottoir : 2 m
- Interdistance entre les candélabres : 25 m
- Surface $A_{chaussée}$: 175 m²
- Surface A_{trot1} : 50 m²
- Surface A_{trot2} : 50 m²
- Hauteur des luminaires : 8 m
- Puissance du luminaire P_1 : 103 W (Lampe 90 W MHHP sur ballast électronique)
- Flux lumineux de la lampe : 10500 lm (Lampe 90 W MHHP)
- Facteur de maintenance : 0,87 (Lampe MHHP, IP66, vasque en verre)
- Durée de fonctionnement annuel t : 4282 h
- Classification de la chaussée : M3 (1,00 cd/m²)
- Luminance moyenne maintenue obtenue sur $A_{chaussée}$: 1,01 cd/m² (facteur de maintenance compris)
- Éclairement moyen maintenu $E_{chaussée}$ obtenue sur $A_{chaussée}$: 17,4 lx (facteur de maintenance compris)
- Classification des trottoirs : C4 (10,0 lx)
- Éclairement moyen maintenu E_{trot1} obtenue sur A_{trot1} : 12,2 lx (facteur de maintenance compris)
- Éclairement moyen maintenu E_{trot2} obtenue sur A_{trot2} : 12,2 lx (facteur de maintenance compris)

Dans le cas d'une voirie combinant plusieurs classes d'éclairage, trois méthodes peuvent être utilisées pour déterminer le Power Density Indicator (D_p).

1. Méthode absolue

La méthode absolue consiste à vérifier, pour chaque sous-surface (et donc chaque classe d'éclairage), la conformité aux exigences des Tableau 1 et/ou Tableau 2. Pour cela, il faut déterminer la partie du flux lumineux émis par le luminaire qui éclaire chaque sous-surface à l'aide de la courbe d'utilisation du luminaire.



Dans l'exemple :

- H (la hauteur du luminaire) = 8 m
- Facteur d'utilisation pour la chaussée = 47 %
- Facteur d'utilisation pour le trottoir 1 = 9 %
- Facteur d'utilisation pour le trottoir 2 = 5 %

En ramenant ces pourcentages à la puissance éclairant la voirie, cela signifie que :

- 77 % de la puissance est utilisée pour éclairer la chaussée
- 23 % (14,8 % + 8,2 %) de la puissance est utilisée pour éclairer les trottoirs

Sur base de l'équation du §3.1.1, le Power Density Indicator (D_P) est calculé pour les deux surfaces (trottoir et chaussée) comme suit :

$$D_{Pchaussée} = \frac{77\% * 103 W}{17,4 lx \cdot 175 m^2} = 0,026 Wm^{-2}lx^{-1}$$

$$D_{Ptrot} = \frac{23\% * 103 W}{12,2 lx \cdot 50 m^2 + 12,2 lx \cdot 50 m^2} = 0,018 Wm^{-2}lx^{-1}$$

Le Power Density Indicator pour la chaussée ($D_{Pchaussée}$) est inférieur à la valeur reprise dans le Tableau 1 pour une largeur de chaussée de 7 m et la classe M3 (<0,035).

Le Power Density Indicator pour les trottoirs (D_{Ptrot}) est inférieur à la valeur reprise dans le Tableau 2 pour une largeur de trottoir de 4 m et la classe C4 (<0,070).

2. Méthode absolue simplifiée (classe équivalente)

Sur base du Tableau 3 une classe équivalente est sélectionnée pour une des sous-surfaces afin de déterminer une classe unique pour tout l'espace éclairé. Cette classe unique devant être supérieure ou égale aux différentes classes initiales.

Dans l'exemple ci-dessus, la classe C4 des trottoirs correspond à une classe M4. La classe M4 étant inférieure à la classe M3 de la chaussée, la classe équivalente sélectionnée pour tout l'espace est donc M3.

M1	M2	M3	M4	M5	M6
C1	C2	C3	C4	C5	C6

Tableau 3 Classes d'éclairage de niveau lumineux comparable

Sur base de l'équation du §3.1.1, le Power Density Indicator (D_P) est calculé pour les deux surfaces (trottoir et chaussée) comme suit :

$$D_{Pvoirie} = \frac{103 W}{12,2 lx \cdot 50 m^2 + 12,2 lx \cdot 50 m^2 + 17,4 lx \cdot 175 m^2} = 0,024 Wm^{-2}lx^{-1}$$

Le Power Density Indicator pour tous l'espace est inférieure à la valeur reprise dans le Tableau 1 pour une largeur de voirie de 11 m et la classe M3 (<0,030).

3. Méthode comparative simplifiée

Cette méthode permet de comparer deux installations d'éclairage pour un même espace. La méthode comparative simplifiée consiste à calculer le Power Density Indicator (D_P) suivant l'équation du §3.1.1 pour chaque sous-surface et chaque installation d'éclairage. Les valeurs de Power Density Indicator sont ensuite comparées sous-surface par sous-surface. L'installation présentant le Power Density Indicator (D_P) le plus faible est l'installation la plus efficace d'un point de vue énergétique.

Le même raisonnement peut être appliqué avec l'Annual Energy Consumption Indicator (D_E).