

Journée technique du Pôle Eclairage du Cerema :
Lumière sur l'éclairage urbain de demain



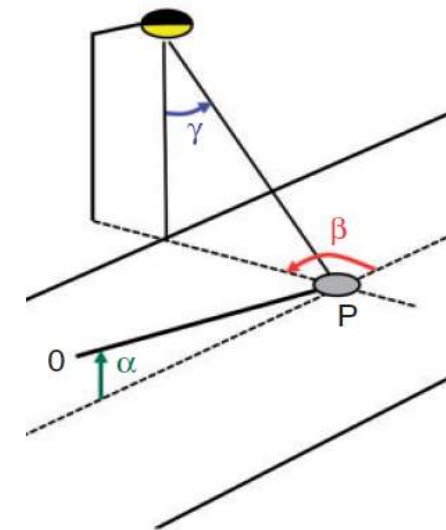
Le Projet « Revêtement & Lumière »

Philippe Gandon-Léger
AFE

Introduction

Le dimensionnement des installations d'éclairage dépend :

- Paramètres spécifiques au site
(type de route, géométrie, usage...) *Connu*
- Caractéristiques photométriques de la source lumineuse *Connu*
De nombreuses innovations technologiques (LED, possibilités d'ajustement...)
- Caractéristiques photométriques de la route *Généralement inconnue*

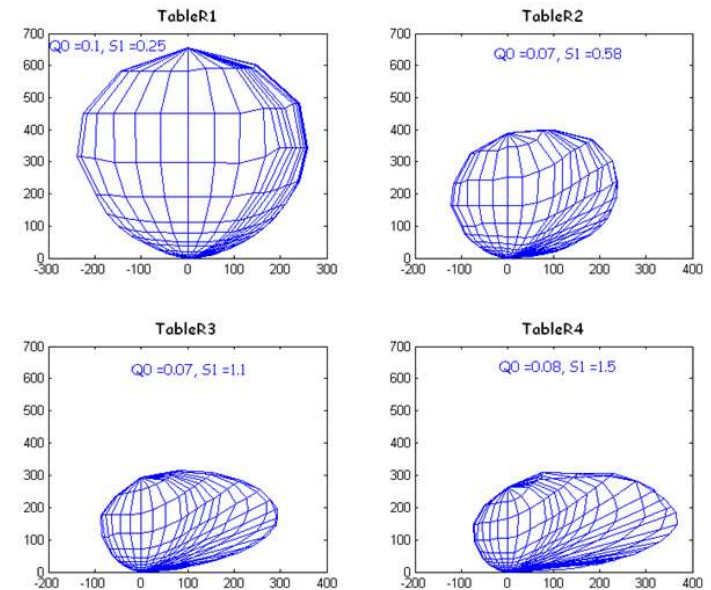


Introduction

Les pratiques de dimensionnement d'éclairage

- Utilisation de l'une des **tables-r** types de la CIE, même si elles ne sont pas représentatives des chaussées actuelles
- Leur utilisation ne permet pas d'**optimiser** les dimensionnements, voire éventuellement, générer **des erreurs** importantes

(nombreuses études de simulation disponibles)



Optimisation Eclairage / Revêtements

I. Le projet LUMIROUTE® :



Une société du groupe
Spie batignolles

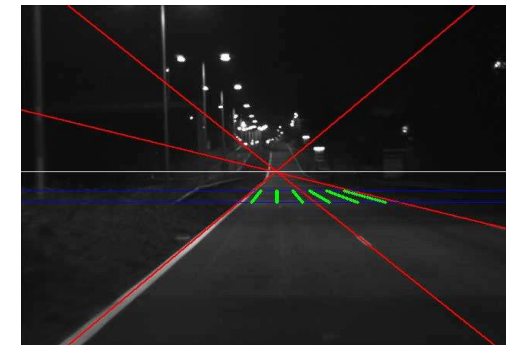


- Objectif : Réaliser un éclairage optimal tout en diminuant la **consommation d'énergie** et les **nuisances lumineuses**
- Association d'un constructeur de route, d'un installateur d'éclairage et d'un organisme neutre,
- Intégration de la photométrie d'un revêtement clair dans une solution d'éclairage à LED adaptative,
- Expérimentation sur 3 ans

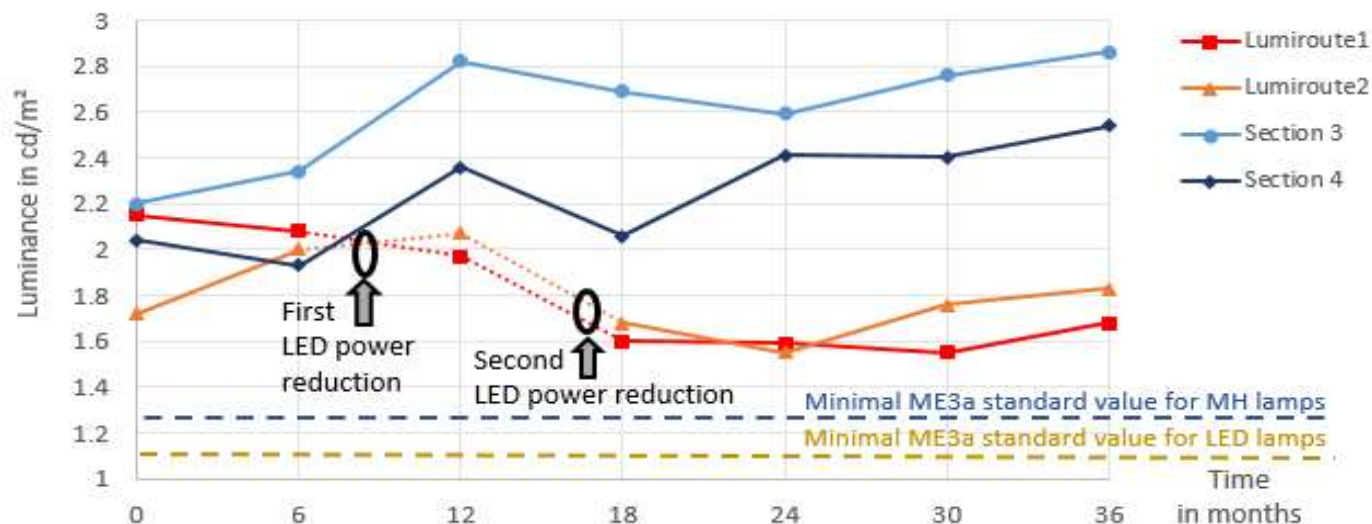


Le projet Lumiroute®

- Mesure de la photométrie des revêtements
(2 BBTM clairs + R3 sur gonioréfectomètre)
- Optimisation du projet d'éclairage,
- Source à LED ajustables,
- Mesure photométrie des revêtements in situ
(Réflectomètre COLUROUTE 2)
- Evaluation des performances
(luminancemètre mobile (ILMD) CYCLOPE)
=> Lmoy et uniformités selon NF-EN13 201
- Adaptation des niveaux lumineux
- Analyse économique
- Evaluation des nuisances lumineuses



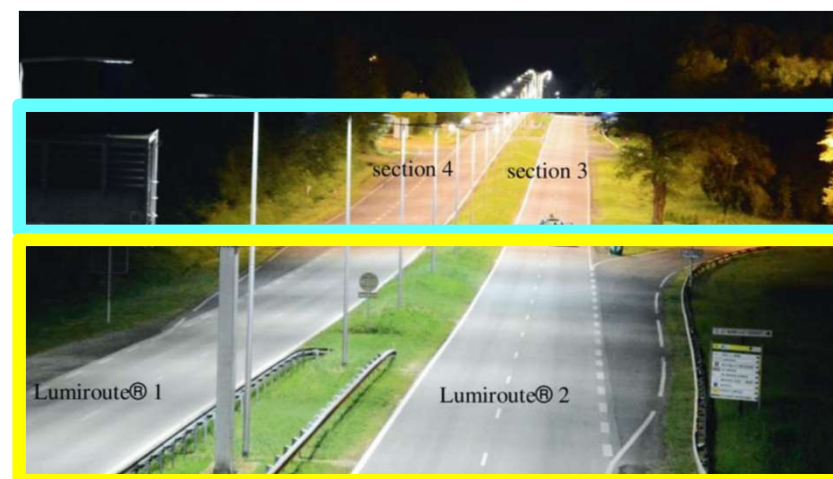
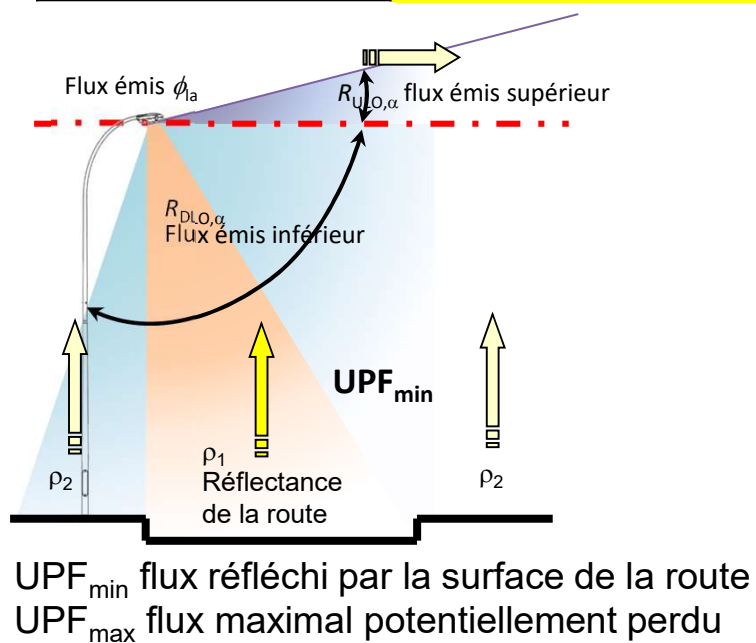
Les Résultats : efficacité énergétique



Sections	Théo.	Puissance		
		Mesures à T0	Mesures à T6	Mesures à T18
Lumiroute® 1	77 W	78.7 W	62.6 W (-20.5% / T0)	50.9 W (-35.6% / T0)
Lumiroute® 2	103 W	103.2 W	52.5 W (-49% / T0)	67.3 W (-34.8% / T0)
BBTM R3	140 W	153 W	(aucune modification durant l'expérience)	

Les Résultats : nuisances lumineuses

	S1: Lumiroute® 1		S2: Lumiroute® 2		S3: R3 traité		S4: R3 brut	
Temps en mois	T0	T36	T0	T36	T0	T36	T0	T36
Flux de lampe, lumen	5 800	3 500	7 500	4 600	13 200	13 200	13 200	13 200
UPFmax en lumen	1 066	661	993	686	1 384	1 523	1 337	1 477
UPFmin en lumen	530	351	273	234	293	468	234	410



Moins de nuisances lumineuses pour les sections Lumiroute®
Facteur 2 pour UPFmax

Optimisation Eclairage / Revêtements

II. Le projet Revêtements & Lumière :

Composé de personnes d'horizons très différents

- des associations d'éclairagistes :
- des gestionnaires et des autorités publiques
- des constructeurs de route,
- des associations professionnelles et organismes de recherche

La garantie de la capacité d'aller du concept aux applications pratiques

- * *AFE* : Association Française de l'Eclairage
- * *AITF* : Association des Ingénieurs Territoriaux de France
- * *Cerema* : Centre d'études et d'expertise sur les risques, l'environnement, la mobilité et l'aménagement.
- * *CERIB* : Centre d'Etude et de Recherche de l'Industrie du Béton
- * *CIMBETON* : Centre d'Information sur le ciment et ses applications
- * *EROBITUME*
- * *Office des Asphaltes*
- * *Routes de France*
- * *SPECBEA* : Spécialiste de la chaussée en béton et des aménagements



Projet Revêtements & Lumière

Les objectifs :

- Organisation et suivi de **démonstrateurs** sur site réel
 - ⇒ Montrer la pertinence des enjeux et concepts d'un éclairage optimisé
 - ⇒ Communiquer sur les résultats et les bonnes pratiques
- Elaboration d'une **bibliothèque** de revêtements actuels et innovants afin de :
 - ⇒ Faciliter les choix des concepteurs d'éclairage,
 - ⇒ Développement d'outils et méthodes pour tous en urbain et inter-urbain.
- **Caractérisation** complète de nombreuses surfaces
 - ⇒ à 1° (mesure conventionnelle de la CIE) => vision à 87m
 - ⇒ à un angle d'observation adapté à l'environnement urbain (15 à 30 m).

Projet Revêtements & Lumière

Méthodologie

- Sélection d'un échantillonnage de surfaces urbaines et interurbaines françaises (classiques et innovantes)
 - ⇒ 37 surfaces différentes utilisées sur les routes et trottoirs
 - ⇒ avec des granulats plus ou moins clairs
 - ⇒ avec des liants bitumineux et synthétiques,
- Présentation des mesures à 1°
 - ⇒ Mesures initiales réalisées sur gonioreflectomètre
 - ⇒ Comparées avec d'autres bases de données



Projet Revêtements & Lumière

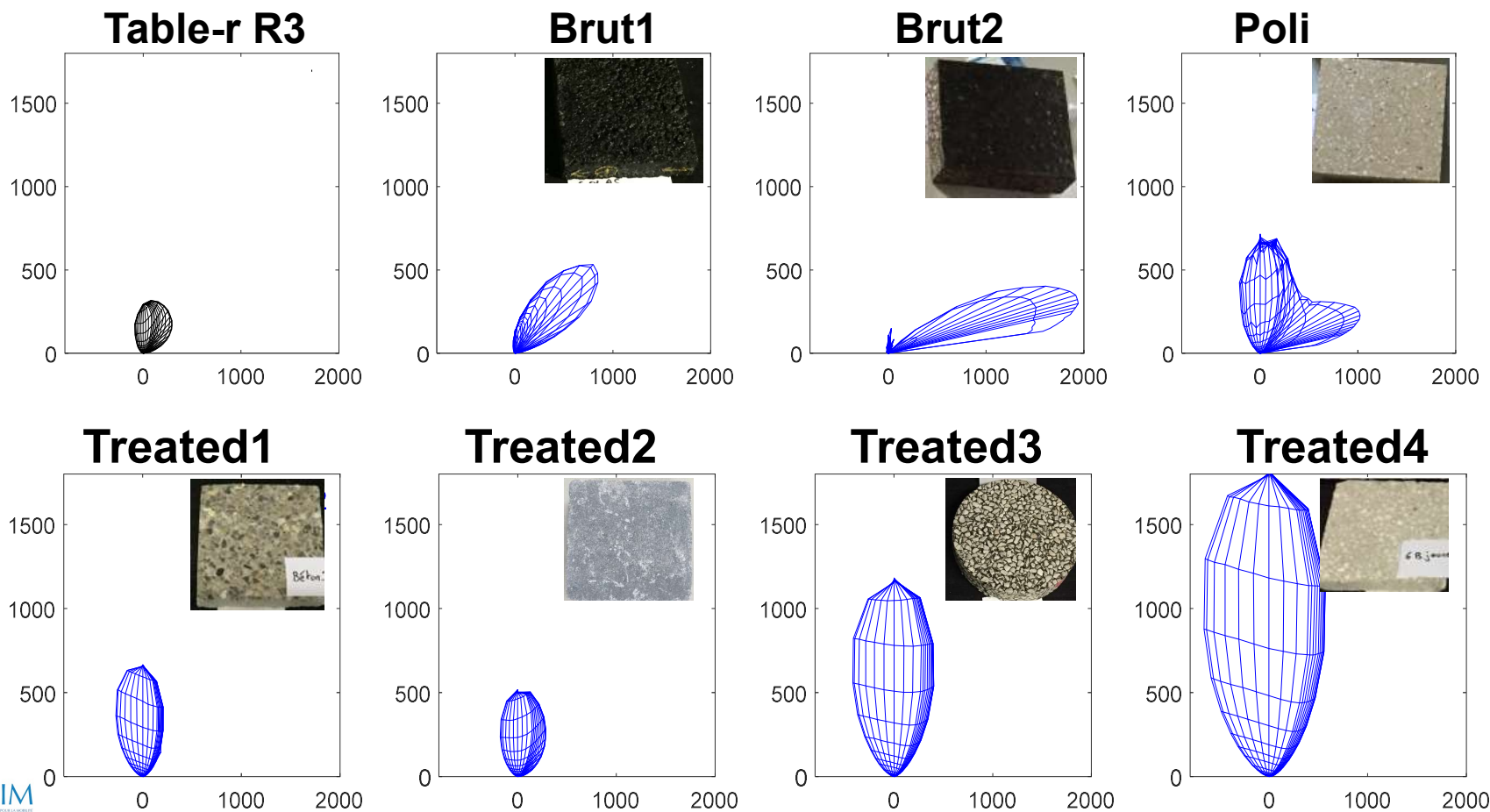
Méthodologie

- Revêtements bitumineux avec des liants bitumineux et synthétiques, continus ou pas et des asphalts
 - Des revêtements bétons et des bétons préfabriqués.
- Il y a 13 revêtements bruts et 24 surfaces initialement traitées : polies, brossées, sablées, microbillés, ...

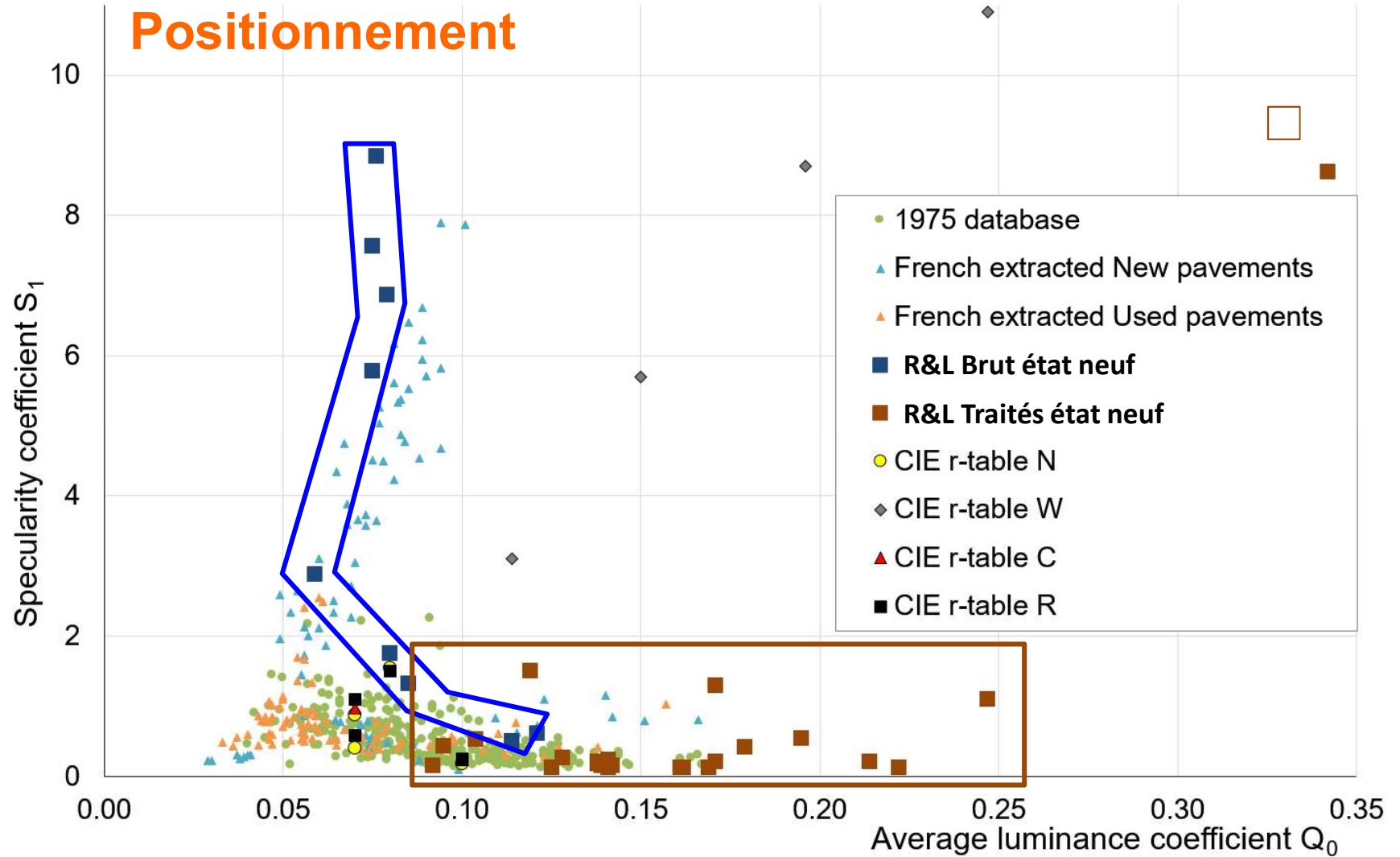


Projet Revêtements & Lumière

Quelques résultats



Projet Revêtements & Lumière



Projet Revêtements & Lumière

Méthodologie

- Etude de l'influence de la photométrie réelle des revêtements sur le dimensionnement de l'éclairage :
 - ⇒ Cas des Rénovations => facteurs imposés
 - ⇒ Rénovation revêtement (h, espt, photométrie, puissance)
 - ⇒ Rénovation des luminaires (h, espt)
 - ⇒ Travaux neufs => tous les facteurs peuvent être optimisés (Revêtement, h, espt, photométrie, puissance)
- Définition des critères d'évaluation des performances
 - ⇒ Critères CIE, CEN, AFE,

Analyse

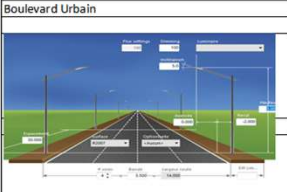
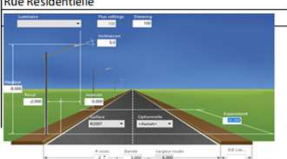
Paramètres évalués

- Puissance système (W) : à titre indicatif
- Flux source et flux sortant (lm)
- Critères photométriques : \bar{E} (lux), \bar{L} (cd/m²), U_0 (%), U_1 (%), TI (%)
- Indicateurs d'analyse :
 - \bar{E}/\bar{L} , lm/m² (ratio du flux sortant et de la surface éclairée),
 - D_p (densité de puissance en éclairage selon EN 13201-5:2015 ; W/Lux/m²),
 - $D_p L$ (densité de puissance en luminance ; W/(cd/m²)/m²),
 - P/km, en kW / km
 - q_{inst} (facteur d'éclairage de l'installation selon EN 13201-5:2015)

Analyse

Paramètres évalués

- 7 revêtements, 9 configurations d'éclairage et 3 typologies de chantiers (réno revêtement, réno installation éclairage, installation neuve)
- Volume de données : près de 170 tableaux de calculs
- Aspects liés à la complexité des interprétations : près de 10 critères différents (E, L, U0, UI, Ti, E/L, lm/m², Dp, P/km, qinst, ...)

Application	Classe EN NF 33 201	Revêt.	Q0	S1	S2	Psyst luminaire	Flux source	Flux sortant	E (Lux)	L (cd/m ²)	Uo (%)	UI (%)	Ti	P norm.	Flux source norm	Flux sort norm	E norm	L norm	E/L	lm / m ²	Dp = P/(E.A) (W/Lux/m ²)	DpL = P/(L*A) (W/cd/m ² /m ²)	P (kW) / km	Psyst relatif	flux source relatif	Flux sortant relatif	E relatif	L relatif	Delta Uo	Delta UI	Delta Ti	P (kW) / km rel	DpL %
Boulevard Urbain 	M2	R3	0,07	1,11	2,38	58,7	7,5	6,6	21,7	1,50	58,9	80,1	9,7	58,7	7,5	6,6	21,7	1,50	14,5	15,7	0,01287	0,18619	3,9	100%	100%	100%	100%	100%	0%	0%	0%	100%	100%
		R3	0,07	1,11	2,38	62,6	8,0	6,6	21,3	1,51	70,3	89,3	9,6	62,1	7,9	6,6	21,2	1,50	14,1	15,7	0,01399	0,19729	4,1	106%	106%	100%	98%	100%	11%	9%	0%	106%	106%
		4Bb10dSaC	0,14	0,13	1,20	30,5	3,9	3,4	10,7	1,56	61,4	71,5	5,6	29,3	3,8	3,3	10,3	1,50	6,9	7,8	0,01357	0,09310	2,0	50%	50%	49%	47%	100%	3%	-9%	-4%	50%	50%
		4Bb10dSaC	0,14	0,13	1,20	30,4	3,9	3,4	11,0	1,59	52,4	73,8	4,3	28,7	3,7	3,2	10,4	1,50	6,9	7,6	0,01317	0,09110	1,9	49%	49%	48%	100%	-7%	-6%	-5%	49%	49%	
		3Bc14DeF	0,09	0,16	1,40	46,9	6,0	5,2	16,5	1,58	65,9	78,8	8,5	44,5	5,7	5,0	15,7	1,50	10,4	11,8	0,01354	0,14141	3,0	76%	76%	75%	72%	100%	7%	-1%	-1%	76%	76%
		3Bc14DeF	0,09	0,16	1,40	46,9	6,0	5,3	16,4	1,58	71,7	76,4	8,1	44,5	5,7	5,0	15,6	1,50	10,4	11,9	0,01362	0,14141	3,0	76%	76%	76%	72%	100%	13%	-4%	-2%	76%	76%
		3Bc14DeF	0,09	0,16	1,40	46,9	6,0	5,2	17,1	1,59	51,6	72,0	6,7	44,3	5,7	4,9	16,1	1,50	10,8	11,8	0,01307	0,14052	3,0	75%	75%	75%	74%	100%	-7%	-8%	-3%	75%	75%
		R1	0,10	0,25	1,53	43,0	5,5	4,8	15,1	1,50	68,3	85,9	8,1	43,0	5,5	4,8	15,1	1,50	10,1	11,4	0,01356	0,13654	2,9	73%	73%	73%	70%	100%	9%	6%	-2%	73%	73%
		R1	0,10	0,25	1,53	43,0	5,5	4,8	15,0	1,52	74,4	84,2	7,6	42,4	5,4	4,8	14,8	1,50	9,9	11,3	0,01365	0,13474	2,8	72%	72%	72%	68%	100%	16%	4%	-2%	72%	72%
		R1	0,10	0,25	1,53	43,0	5,5	4,8	15,7	1,50	53,7	81,5	6,5	43,0	5,5	4,8	15,7	1,50	10,5	11,4	0,01305	0,13654	2,9	73%	73%	73%	72%	100%	-5%	1%	-3%	73%	73%
		route Brut1	0,065	0,81	1,94	60,6	7,75	6,8	22,4	1,51	59,5	74,9	10,0	60,2	7,7	6,8	22,3	1,50	14,8	16,1	0,01288	0,19112	4,0	103%	103%	103%	100%	1%	-5%	0%	103%	103%	
		route Brut1	0,065	0,81	1,94	68,4	8,75	7,3	23,3	1,50	63,7	79,0	10,0	68,4	8,8	7,3	23,3	1,50	15,5	17,4	0,01398	0,21722	4,6	117%	117%	110%	107%	100%	5%	-1%	0%	117%	117%
Rue Résidentielle 	M4	R3	0,07	1,11	2,38	24,2	3,1	2,7	11,3	0,78	53,7	83,2	9,0	23,3	3,0	2,5	10,9	0,75	14,5	17,0	0,01430	0,20720	0,9	100%	100%	100%	100%	100%	0%	0%	0%	100%	100%
		R3	0,07	1,11	2,38	25,0	3,2	2,8	9,9	0,77	42,3	81,9	10,8	24,4	3,1	2,7	9,6	0,75	12,9	18,2	0,01685	0,21666	1,0	105%	105%	107%	89%	100%	-11%	-1%	2%	105%	105%
		4Bb10dSaC	0,14	0,13	1,20	13,5	1,7	1,4	5,2	0,75	47,2	62,2	5,2	13,5	1,7	1,4	5,2	0,75	6,9	9,5	0,01729	0,11991	0,5	58%	58%	56%	48%	100%	-7%	-21%	-4%	58%	58%
		4Bb10dSaC	0,14	0,13	1,20	15,2	2,0	1,6	5,2	0,75	65,4	62,2	5,3	15,2	2,0	1,6	5,2	0,75	6,9	10,3	0,01955	0,13555	0,6	65%	65%	61%	48%	100%	12%	-2%	-4%	65%	65%
		3Bc14DeF	0,09	0,16	1,40	18,8	2,4	2,1	8,3	0,76	58,5	62,7	6,3	18,5	2,4	2,0	8,2	0,75	10,9	13,6	0,01507	0,16463	0,7	79%	79%	80%	75%	100%	5%	-21%	-3%	79%	79%
		3Bc14DeF	0,09	0,16	1,40	21,1	2,7	2,2	8,1	0,76	59,0	64,8	9,0	20,8	2,7	2,2	8,0	0,75	10,7	14,8	0,01738	0,18521	0,8	89%	89%	87%	74%	100%	5%	-18%	0%	89%	89%
		R1	0,10	0,25	1,53	18,0	2,3	2,0	8,0	0,77	57,0	69,5	6,0	17,5	2,2	1,9	7,8	0,75	10,4	12,9	0,01499	0,15572	0,7	75%	75%	76%	72%	100%	3%	-14%	-3%	75%	75%
		R1	0,10	0,25	1,53	18,8	2,4	2,1	7,8	0,75	66,0	62,8	6,1	18,8	2,4	2,1	7,8	0,75	10,4	14,0	0,01604	0,16683	0,8	81%	81%	82%	72%	100%	12%	-20%	-3%	81%	81%
		route Brut1	0,065	0,81	1,94	24,9	3,2	2,7	11,1	0,75	47,6	77,8	8,5	24,9	3,2	2,7	11,1	0,75	14,8	18,3	0,01494	0,22118	1,0	107%	107%	108%	102%	100%	-6%	-5%	-1%	107%	107%
		route Brut1	0,065	0,81	1,94	27,3	3,5	3,0	11,4	0,77	55,2	80,6	8,7	26,5	3,4	3,0	11,1	0,75	14,8	19,8	0,01594	0,23595	1,1	114%	114%	116%	102%	100%	2%	-3%	0%	114%	114%



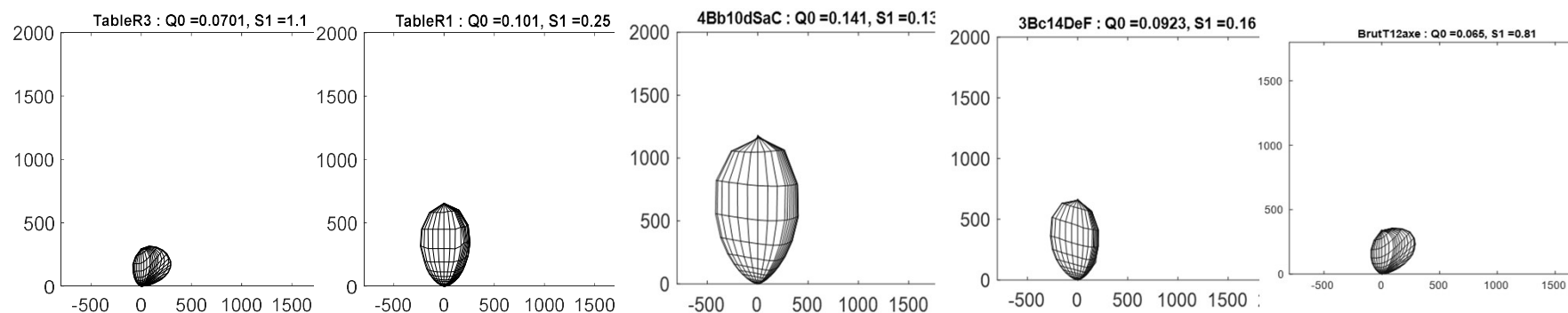
Analyse

Premiers résultats

— Sélection de revêtements :

⇒ Comparaison avec R1, R3, Réf Lumiroute brut

Revêtement	Q0	S1	S2	Classe CIE
R3	0.07	1.11	2.38	
R1	0.10	0.25	1.53	
4Bb10dSaC	0.14	0.13	1.20	R1
3Bc14DeF	0.09	0.16	1.40	R1
Lumiroute_BrutT12Axe	0.065	0.81	1.93	R3



Analyse

Pertinence des critères

	Installation		
	Rénovation		Installation neuve
	Revêtement	Luminaire	Revêt & Lum
<i>Psyst lumineaire</i>	N/A	Oui	Oui
<i>E (Lux)</i>	N/A	Oui	Oui
<i>L (cd/m²)</i>	Oui	Non	Non
<i>Uo (%)</i>	Oui	Oui	Oui
<i>UI (%)</i>	Oui	Oui	Oui
<i>TI</i>	Oui	Oui	Oui
<i>E/L</i>	Oui	Oui	Oui
<i>Im / m²</i>	Non	Oui	Oui
<i>Dp* = P/(E.A) (W/Lux/m²)</i>	Non	Oui	Oui
<i>DpL* = P/(L.A) (W/cd/m²/m²)</i>	Oui	Oui	Oui
<i>P(kW)/ km</i>	Non	Oui	Oui
<i>q_inst = L/(Q0.E)</i>	Oui	Oui	Oui

* norme : valeurs calculées et non valeurs cibles

Légende		
Economie d'énergie	Critères d'attention	
Potentiel de dimming	U0, UI, TI	NA
Comparaison entre configurations	NA - Valeur cible de Luminance	
Critère pertinent non retenu	NA	
Critère non pertinent	NA	

Analyse

Premiers résultats : Rénovation revêtement

Illustre l'impact d'une rénovation sans adaptation des distributions photométriques

Revêt.	Dist	Psyst relatif	flux source relatif	Flux sortant relatif	E relatif	L relatif	Delta Uo	Delta UI	Delta TI
R3	A	100%	100%	100%	100%	100%	0%	0%	0%
4Bb10dSaC	A	100%	100%	100%	100%	209%	-10%	-29%	-4%
3Bc14DeF	A	100%	100%	100%	100%	135%	-6%	-22%	-2%
R1	A	100%	100%	100%	100%	141%	-3%	-12%	-2%
Lumiroute_BrutT12Axe	A	100%	100%	100%	100%	97%	1%	-5%	0%
R3	B	100%	100%	100%	100%	100%	0%	0%	0%
4Bb10dSaC	B	100%	100%	100%	100%	204%	-12%	-42%	-4%
3Bc14DeF	B	100%	100%	100%	100%	132%	-8%	-35%	-2%
R1	B	100%	100%	100%	100%	140%	-4%	-27%	-2%
Lumiroute_BrutT12Axe	B	100%	100%	100%	100%	96%	2%	-15%	0%
							conforme	non conforme	
Revêt.	Dist	Psyst relatif	flux source relatif	Flux sortant relatif	E relatif	L relatif	Delta Uo	Delta UI	Delta TI
R3	A	100%	100%	100%	100%	100%	0%	0%	0%
4Bb10dSaC	A	100%	100%	100%	100%	205%	9%	-29%	-4%
3Bc14DeF	A	100%	100%	100%	100%	131%	12%	-23%	-2%
R1	A	100%	100%	100%	100%	137%	11%	-16%	-2%
Lumiroute_BrutT12Axe	A	100%	100%	100%	100%	97%	1%	-8%	0%
R3	B	100%	100%	100%	100%	100%	0%	0%	0%
4Bb10dSaC	B	100%	100%	100%	100%	187%	12%	-23%	-4%
3Bc14DeF	B	100%	100%	100%	100%	121%	17%	-17%	-2%
R1	B	100%	100%	100%	100%	129%	14%	-15%	-2%
Lumiroute_BrutT12Axe	B	100%	100%	100%	100%	91%	5%	0%	0%

Analyse

Premiers résultats : Rénovation lumineuse

Illustre le potentiel lié à l'adaptation des distributions photométriques à chaque revêtement

Revêt.	Psyst relatif	flux source relatif	Flux sortant relatif	E relatif	L relatif	Delta Uo	Delta UI	Delta TI	P (kW) / km rel	DpL %
R3	100%	100%	100%	100%	100%	0%	0%	0%	100%	100%
R3	105%	105%	107%	89%	100%	-11%	-1%	2%	105%	105%
4Bb10dSaC	58%	58%	56%	48%	100%	-7%	-21%	-4%	58%	58%
4Bb10dSaC	65%	65%	61%	48%	100%	12%	-21%	-4%	65%	65%
3Bc14DeF	79%	79%	80%	75%	100%	5%	-21%	-3%	79%	79%
3Bc14DeF	89%	89%	87%	74%	100%	5%	-18%	0%	89%	89%
R1	75%	75%	76%	72%	100%	3%	-14%	-3%	75%	75%
R1	81%	81%	82%	72%	100%	12%	-20%	-3%	81%	81%
Lumiroute_BrutT12Axe	107%	107%	108%	102%	100%	-6%	-5%	-1%	107%	107%
Lumiroute_BrutT12Axe	114%	114%	116%	102%	100%	2%	-3%	0%	114%	114%

Analyse

Premiers résultats : Installation neuve

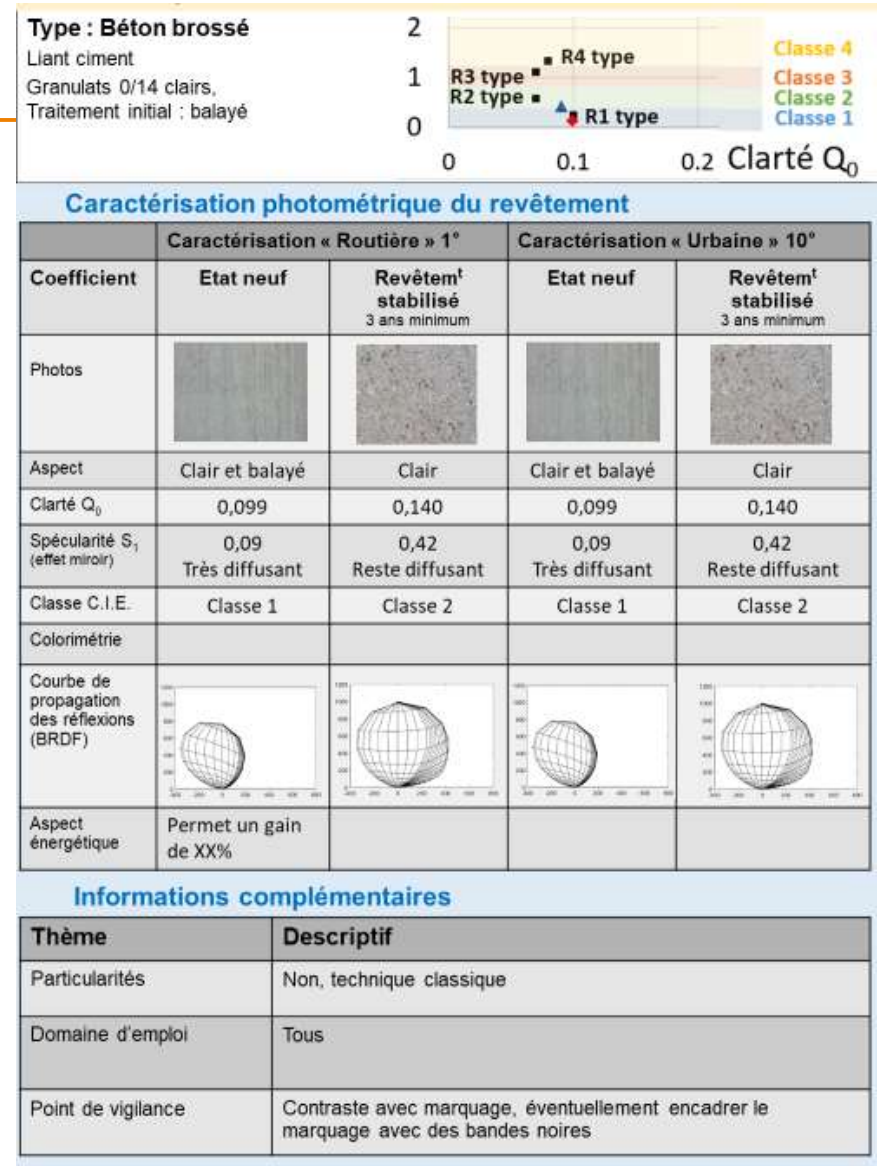
L'espacement et la distribution photométrique sont optimisés sur chaque revêtement.

C'est un autre indicateur du potentiel relatif de chaque type de revêtement

Revêt.	Espacem (m)	Psyst relatif	flux source relatif	Flux sortant relatif	E relatif	L relatif	Delta Uo	Delta UI	Delta TI	P (kW) / km rel	DpL %
R3	46	100%	100%	100%	100%	100%	0,0%	0,0%	0,0%	100%	100%
4Bb10dSaC	32	47%	47%	48%	51%	100%	17,6%	0,2%	-8,4%	66%	67%
3Bc14DeF	36	82%	82%	85%	80%	100%	19,9%	0,6%	-3,7%	104%	104%
R1	43	80%	80%	83%	73%	100%	29,5%	-0,4%	-2,1%	84%	85%
Lumiroute_BrutT12Axe	38	76%	76%	65%	108%	100%	4,4%	1,7%	-1,3%	91%	92%
Lumiroute_BrutT12Axe	37	69%	69%	72%	107%	100%	5,3%	-0,2%	-2,4%	85%	85%

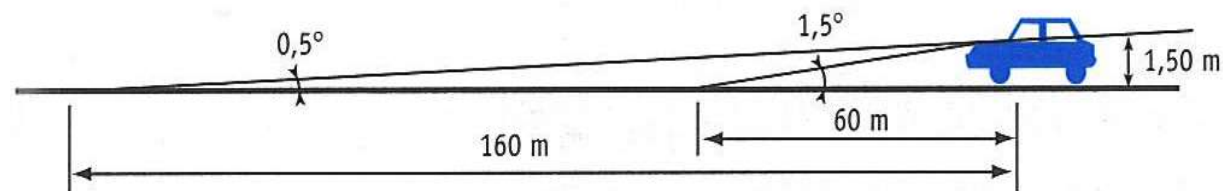
La suite

- Validation des critères d'évaluation des performances avec les autres revêtements mesurés
- Réalisation de fiches de Prescription
- Mesures après les 3 ans de vieillissement
- Faire évoluer le concept de luminance



La suite

- Mesures à un angle d'observation adapté à l'urbain



Règlementation	Eclairage EN 13201	Marquage EN 1439
Hauteur œil conducteur	1.5 m	1.2 m
Angle observation	$1^\circ \pm 0.05^\circ$	$2.29^\circ \pm 0.05^\circ$
Distance observée	87m (60 à 160 m)	30 m

Proposition surface	Eclairage Urbain conducteurs	Eclairage Urbain Autres usagers
Hauteur œil	Conducteur: 1.5 m	Vélo, piéton,...: 1.5 m
Angle observation	5°	10° ou 20°
Distance observée	17 m	8.5 m ou env 4 m

MERCI POUR VOTRE ATTENTION

Philippe Gandon-Léger

philippe.gandon-leger@comatelec.fr



Journée technique du Pôle Eclairage du Cerema :
Lumière sur l'éclairage urbain de demain

