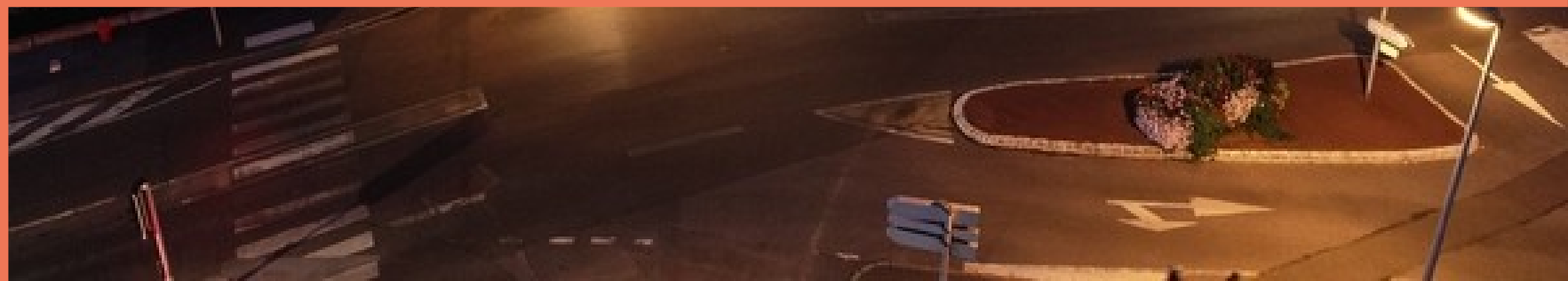




Revêtements et Lumière :
INTÉRÊT DE LA PRISE EN COMPTE DES CARACTÉRISTIQUES
DE RÉFLEXION DES REVÊTEMENTS



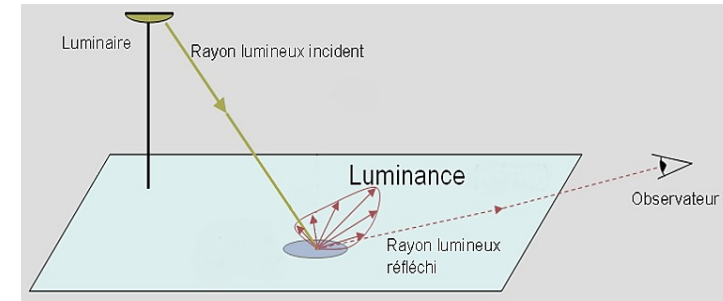
Contexte et enjeux

- **Exigences de performance** en éclairage routier
 - basées sur **l'éclairement** en ville,
 - sur la **luminance** pour les conducteurs.

Nos yeux perçoivent la luminance

- **Si on ne considère pas la luminance :**
on ne considère pas les capacités de réflexion de lumière des revêtements et ce que perçoivent les usagers
- **Choix du groupe Revêtements et Lumière :**
Travailler en luminance ce qui implique de considérer les revêtements en place

R&L



Le groupe revêtements et lumière

Ses membres



Eclairagistes Structures de recherche



Maîtres d'ouvrage Maîtres d'œuvre



Filières techniques de production et d'application des revêtements routiers et



Objectifs

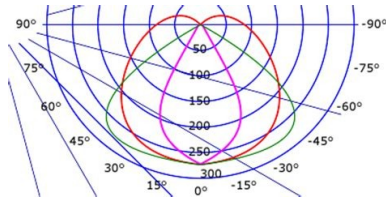
- Créer du lien, partager les vocabulaires, apprendre les uns des autres (techniques et pratiques)
- Faciliter les choix des concepteurs d'éclairage,
- Développer outils et méthodes pour les manageurs, éclairagistes, constructeurs de route, collectivités, ... pour optimiser l'éclairage en urbain et inter-urbain.
- Aller du concept aux applications pratiques

Contexte et enjeux

- Le dimensionnement des installations d'éclairage en luminance dépend des
 - Paramètres spécifiques au site (type de route, géométrie, usage...)

✓ **Connu**

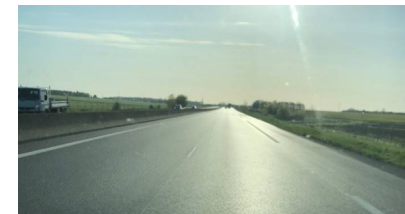
- Caractéristiques photométriques de la source lumineuse



✓ **Connu, de nombreuses innovations technologiques (LED, possibilités d'ajustement...)**

- Caractéristiques photométriques de la route

↓ **Généralement inconnue**



Qu'est ce que la photométrie routière ?

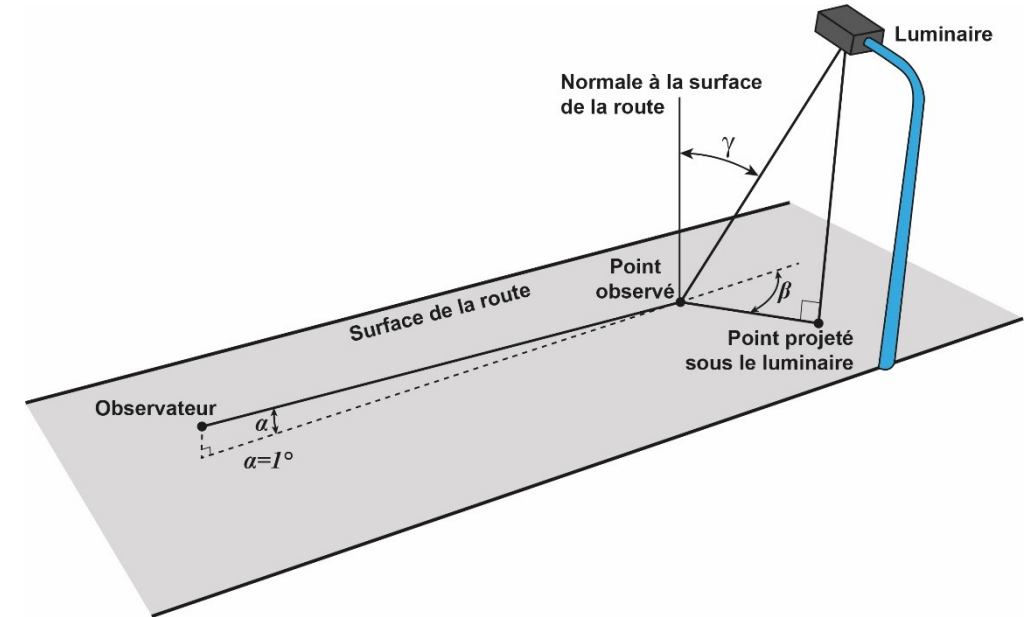
selon CIE 066, 144 et norme EN 13201

- Coefficient de luminance $q(\alpha, \beta, \gamma)$

Luminance perçue par l'observateur

$$q = \frac{L}{E}$$

Eclairement émis



- Spécifications de la CIE

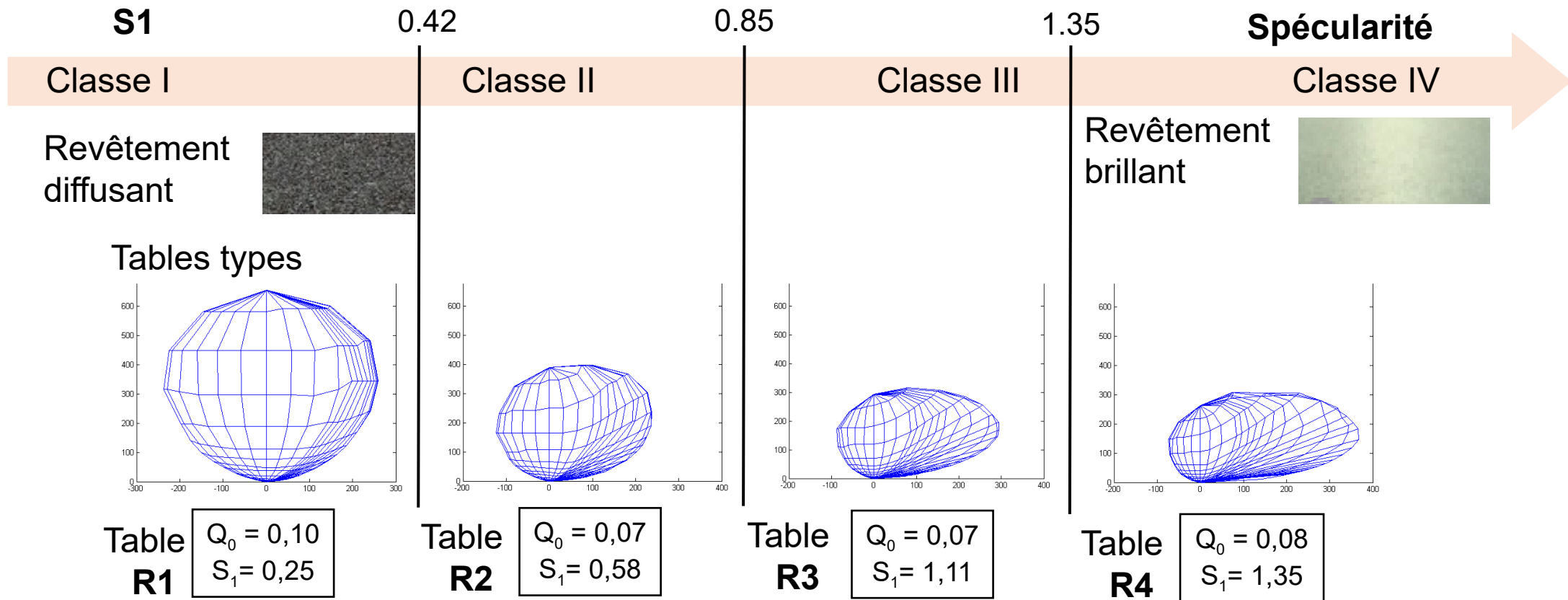
- Distance d'observation de 86m $\Rightarrow \alpha = 1^\circ$
- Coefficient de luminance réduit $r(\beta, \gamma) = q(\beta, \gamma) \cos^3 \gamma$
- Table $r(\beta, \gamma)$ pour 20 valeurs de β , et 29 valeurs de $\tan(\gamma)$
- Définition d'un coefficient de luminance moyenne Q_0

$$Q_0 = \frac{\int q(\beta, \tan \gamma) d\Omega}{\Omega}$$

et d'un coefficient de specularité (brillance) S_1 $S_1 = \frac{q(\beta=0, \tan \gamma = 2)}{q(\beta=0, \tan \gamma = 0)}$

Qu'est ce que la photométrie routière ?

- Les **classes** de la CIE sont définies selon la spécularité S_1 (brillance)
Ce qui permet d'affecter les **tables types R1 à R4**



Contexte et enjeux

- Actuellement il y a beaucoup de modernisation des installations d'éclairage avec le passage aux LED en éclairage extérieur
- Les tables de référence de la CIE sont encore utilisées pour le dimensionnement d'éclairage

Est il possible de faire un éclairage de qualité sans considérer la photométrie des revêtements ?



L'approche du groupe “Revêtement et Lumière”:

- **Elaboration d'une bibliothèque de revêtements classiques et innovants**
- **Mesure de leur caractéristiques photométriques**
- **Simulation de l'impact du choix du revêtement dans une installation d'éclairage**

Méthodologie

Sélection d'un panel de revêtements français interurbain et urbains

38 revêtements (classiques et innovants) utilisés sur route et trottoirs avec des granulats plus ou moins clairs, différents liants et traitements de surface

- Des revêtements bitumineux avec des liants classiques ou de synthèse (11)
- Des asphaltes de trottoir avec des liants classiques ou de synthèse (6)
- Des bétons de ciment coulé (10)
- Des bétons préfabriqués (7)
- Des pierres naturelles (4)



Méthodologie

Sélection d'un panel de revêtements français interurbain et urbains

38 revêtements (classiques et innovants) utilisés sur route et trottoirs avec des granulats plus ou moins clairs, différents liants et traitements de surface

- Des revêtements bitumineux avec des liants classiques ou de synthèse (11)
- Des asphaltes de trottoir avec des liants classiques ou de synthèse (6)
- Des bétons de ciment coulé (10)
- Des bétons préfabriqués (7)
- Des pierres naturelles (4)

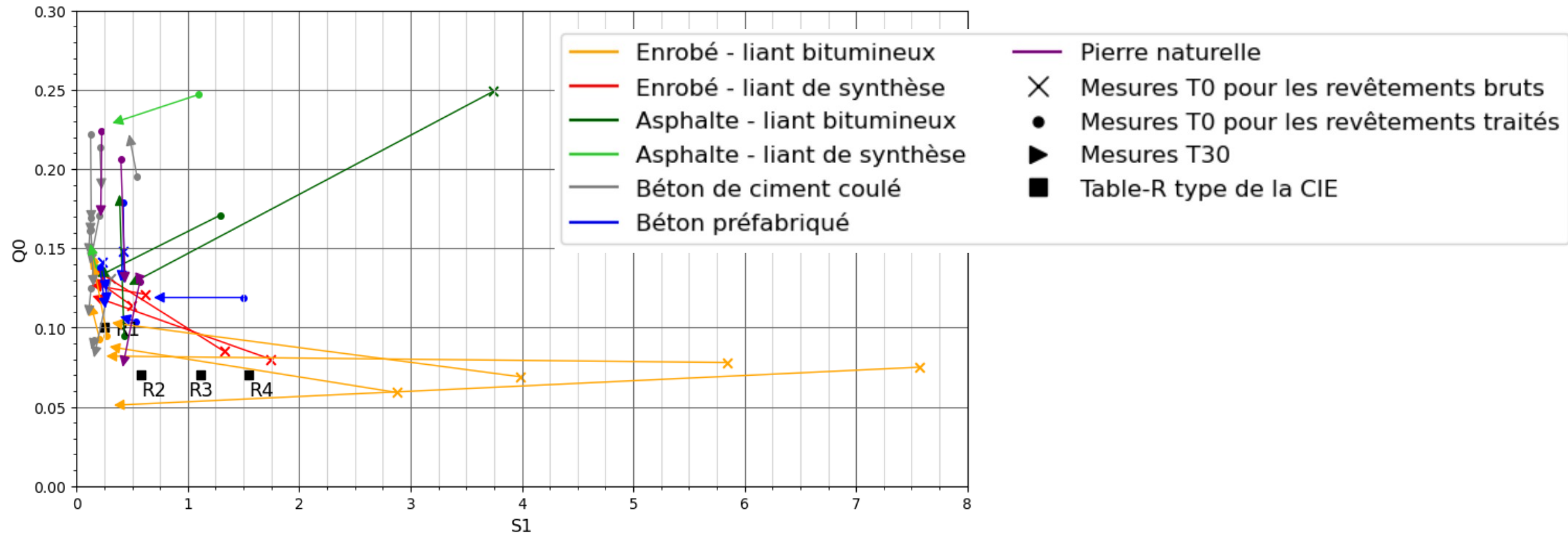
Caractérisation à l'état neuf (T0) et après un vieillissement naturel en extérieur de 30 mois (T30)

- Mesures de colorimétrie
- Mesures de table-r avec le gonioreflectomètre du Cerema



Résultats des mesures de photométrie à T0 et T30

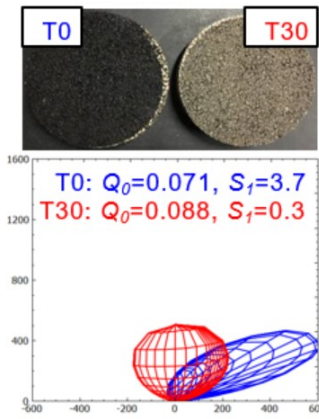
Effet de l'âge et du type de revêtement



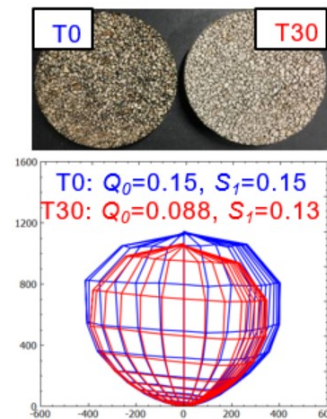
- **Très forte variabilité des caractéristiques des revêtements à T0 et T30**
=> Les tables types de la CIE ne représentent pas la diversité des revêtements urbains

Résultats : focus sur quelques revêtements

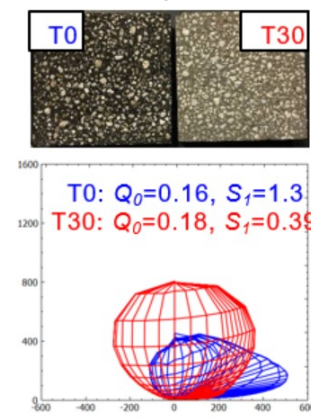
Enrobé brut



Enrobé sablé

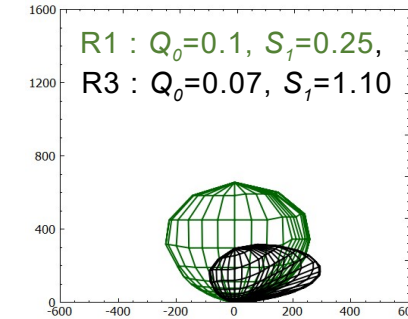


Trottoir grenailé

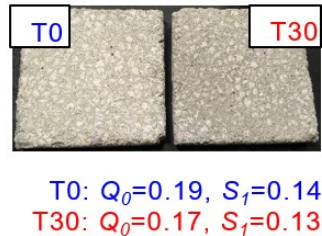


Tables-r types de la CIE

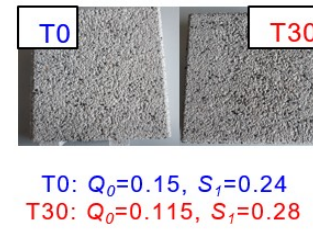
Axe X: $10^4 r \sin \gamma \cos \beta$
Axe Y: $10^4 r \cos \gamma$



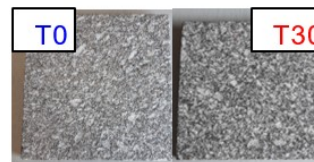
Béton coulé bouchardé



Pavé lavé gris



Pierre Naturelle
"Gris bleu des Vosges"



Mesures initiales (T0) en bleu
Mesures à T30 mois en rouge

Ces exemples illustrent

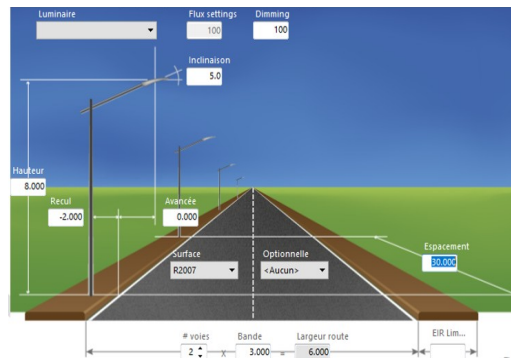
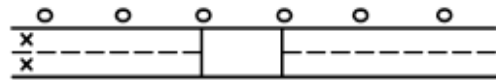
- l'énorme diversité de revêtements
- la non représentativité des tables types
- l'évolution au cours du temps

Méthodologie utilisée par le Groupe R&L

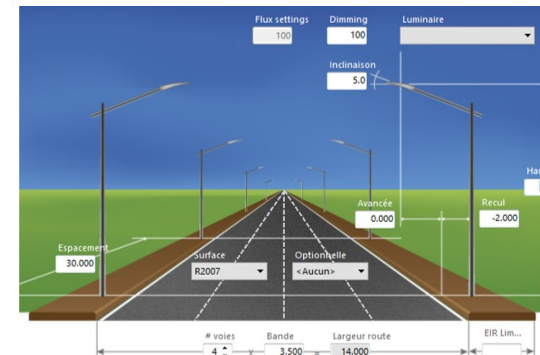
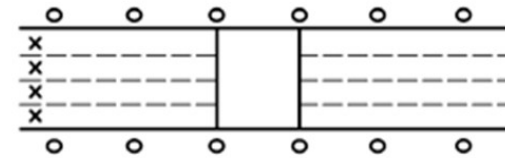
- Application pratique de modernisation d'installation d'éclairage :
passage à un éclairage à LED avec deux profils de route

FOCUS

Une rue résidentielle
avec 2 voies et un éclairage unilatéral



Un boulevard urbain
avec 4 voies et un éclairage bilatéral



Méthodologie utilisée par le Groupe R&L

- **Application pratique de modernisation d'installation d'éclairage :**

passage à un éclairage à LED avec plusieurs cas d'usages

Travaux de rénovations avec une géométrie imposée (espacement de 30m)

1. Dimensionnement habituel en éclairage
2. Dimensionnement en luminance avec un revêtement type de la CIE
3. Dimensionnement en luminance avec les revêtements stabilisés et une optimisation de la puissance installée

Travaux neufs sans géométrie imposée

4. Dimensionnement en luminance avec les revêtements stabilisés et une optimisation du nombre de luminaire

**Etude d'impact pour les différents revêtements
sur les critères de qualité de la norme d'éclairage (EN13201)**




Cas d'usage 1 : Dimensionnement habituel en éclairage





Dimensionnement en éclairage
choix de luminaires en conformité à la classe C4

Quid conformité en luminance pour la classe M4 ?

- Luminance moyenne : $L_{moy} \geq 0.75 \text{ cd/m}^2$,
- Uniformités : $U_o \geq 40\%$, $U_l \geq 60\%$

Qualité de l'installation d'éclairage

-  Norme respectée
-  Non-conformité modérée $\leq 10\%$
-  Non-conformité importante $> 10\%$

Revêtement T30	Photo	Q0	S1	Critères de Luminance			Conforme	Analyse
				Lmoy	Uo	Ul		
enrobé classique brut, granulats sombres		0.051	0.034	0.5	60.6	68.3		Luminance insuffisante (-38%), uniformités conformes
enrobé à liant de synthèse, granulats clairs		0.131	0.153	1.2	61.0	52.9		Sur éclairage(64%), uniformité longitudinale insuffisante (-12%)
béton classique désactivé, granulats sombres		0.086	0.134	0.8	60.4	51.4		Uniformité longitudinale insuffisante (-14%)
béton classique balayé, granulats clairs		0.14	1.121	1.4	60.2	49.4		Sur éclairage(86%), uniformité longitudinale mauvaise (-18%)

CAS 2 : Dimensionnement en luminance avec les revêtements types de la CIE

Méthodologie

- **Choix d'un luminaire optimal avec un revêtement type R3** puis vérification de la qualité de l'éclairage avec le revêtement mesuré à l'état neuf et à l'état stabilisé
- **Même démarche avec un revêtement R1**

Résultats

- Les performances de l'éclairage obtenues avec les propriétés photométriques des revêtements mesurées **ne sont pas conformes à la norme NF EN 13201** pour une majorité de chaussées.
- **Pour la rue résidentielle, la conformité n'est obtenue que dans un tiers des cas.** Des non-conformités majeures sont obtenues dans plus de 44 % des cas avec R1 et 55 % avec R3, principalement en raison de mauvaises uniformités de l'éclairage.
- **Souvent de mauvaises uniformités à l'état initial et stabilisé**
=> pose des problèmes de non perception d'obstacles, enjeux de sécurité

CAS 3 : Utilisation des caractéristiques du revêtement stabilisé pour une géométrie imposée à 30m de distance entre luminaires

- ⇒ changement des lampes sans modifier les mats, passage à des LED
- ⇒ recherche de l'économie d'énergie maximale

Est-il possible de trouver des luminaires permettant de réaliser un éclairage de qualité en luminance pour tous les revêtements urbains de notre base ?

Oui, l'éclairage est toujours conforme

- Norme respectée en niveau de luminance et uniformité

CAS 3 : Utilisation des caractéristiques du revêtement stabilisé pour une géométrie imposée à 30m de distance entre luminaires

	No éch	Teinte granulats	Finition surface	Liant	Etat T30
					Évol. puissance / km
Enrobés	1	F	-	B	69%
	2	Cl	Sab	B	-39%
	3	Cl	-	B	-27%
	4	Cl	Sab	B	-
	5	Cl	-	B	-13%
	6	Cl	Sab	B	-53%
	7	Cl	-	B	6%
	9	Cl	-	S	-46%
	10	Cl	-	S	-40%
	11	CIT	-	S	-51%
	12	CIT	-	S	-44%

Asphaltes	1	Cl	-	B	-30%
	2	Cl	Gr	B	-61%
	3	Cl	Po	B	-45%
	4	Cl	-	S	-58%
	5	Cl	Gr	S	-57%
	6	Cl	Po	S	-56%

Bétons coulés	1	Cl	Ba	C	-51%
	2	Cl	Li	C	-60%
	3	F	Des	C	-19%
	4	Cl	Des	C	-51%
	5	F	Bo	C	-43%
	6	Cl	Bo	C	-62%
	7	Cl	Po	C	-54%
	8	F	Sab	C	-36%
	9	Cl	Sab	C	-47%
Bétons préfa.	1	Cl	-	C	-46%
	2	Cl	La	C	-25%
	3	Cl	Gr	C	-34%
	4	F	Vi	C	-20%
	5	Cl	-	C	-33%
	6	Cl	Fl	C	-33%
Pierre nat.	1	Cl	Fl	-	-55%
	2	F	Fl	-	-1%
	3	F	Fl	-	-33%
	4	Cl	Fl	-	-36%

Simulation d'éclairage avec les revêtements stabilisés en optimisant les puissances à installer

=> la norme est toujours respectée
=> économies d'énergies importantes (50-60%)

Résultats sur le boulevard urbain (éclairage bilatéral) : même conclusions

CAS 4 : Utilisation des caractéristiques du revêtement stabilisé avec une optimisation de la géométrie lumineuses

Conception de l'éclairage d'une installation neuve sans contrainte de géométrie

=> minimiser le nombre de points lumineux à installer (gain en investissement)
en étant le plus efficace possible en termes de puissance installée (gain en fonctionnement).

Résultats

- **Possibilité d'augmenter l'espace entre les luminaires** en respectant les critères de la norme, => gain potentiel moyen de 27 % en termes de nombre de luminaires par rapport aux cas d'usages avec un espacement de 30m.
Espacement moyen des luminaires pour tous les revêtements considérés : 40 m.
- **En terme de puissance installée**, sur l'ensemble des revêtements considérés par rapport aux résultats obtenus avec un espacement fixe,
 - Economie moyenne est de 25% par rapport à un dimensionnement en R3
 - Augmentation de 13% en termes de puissance par rapport au cas 3 (optimisation énergétique).

Les livrables du groupe

Articles RGRA

- RGRA 2020 (n°972)

« Démarche originale du groupe de travail Revêtements & Lumière pour optimiser les projets d'éclairage public. »

- RGRA 2024 (n°1002)

« Impacts des revêtements sur l'éclairage public, Constitution d'une base de données »

Article LUX à venir



Les livrables du groupe



Fiches par revêtement

1
BÉTON BOUCHARDÉ

Type : Béton coulé bouchardé
 Liant ciment (CEMIII) T0 : état initial (en vert)
 Granulats 0/14 clairs, T30 : état stabilisé à 30 mois
 Traitement : bouchardé de vieillissement naturel (en bleu et gras)

Caractérisation du revêtement

Âge du revêtement	État neuf T0 mois	État stabilisé T30 mois
Aspect et Photos	État neuf : clair	État stabilisé : clair
Colorimétrie	$L^* = 77.6$ $a^* = 0.8, b^* = 7.6$	$L^* = 70.3$ $a^* = 0.8, b^* = 7.1$
Photométrie	Clarté Q0 = 0,22 cd.m ⁻² .lx ⁻¹ Spécularité S1 = 0,13 Très diffusant	Clarté Q0 = 0,17 cd.m ⁻² .lx ⁻¹ Spécularité S1 = 0,13 Très diffusant

ASPECTS ÉNERGÉTIQUES POUR LES REVÊTEMENTS STABILISÉS

Rénovations	Non conformité à la norme avec R3 ou R1 Gain d'environ 60% en considérant le revêtement stabilisé
Travaux neufs	Gain de 6% supplémentaire sur le nombre de mats

Compléments

THEME	DESCRIPTIF
Domaines d'emplois privilégiés	Voirie urbaine tout trafic, espace public
Particularités	Technique classique d'entreprises spécialisées Risque de non-conformité de l'éclairage à T0 faible
Point de vigilance	Aucun

Fiche revêtements et lumières | n°1 - Béton bouchardé 1

1
BÉTON BOUCHARDÉ

Type : Béton coulé bouchardé
 Liant ciment (CEMIII) T0 : état initial (en vert)
 Granulats 0/14 clairs, T30 : état stabilisé à 30 mois
 Traitement : bouchardé de vieillissement naturel (en bleu et gras)

Représentations graphiques des caractéristiques photométriques

Indicatrice de réflexion à T0 et T30

État neuf à T0
Q0 = 0,22, S1 = 0,13
Classe 1 de la CIE

État stabilisé à T30 :
Q0 = 0,17, S1 = 0,13
Classe 1 de la CIE

Caractéristiques photométrique à T0 et T30
Représentation des classes CIE et des revêtements types

Fiche revêtements et lumières | n°1 - Béton bouchardé 2

Les livrables du groupe

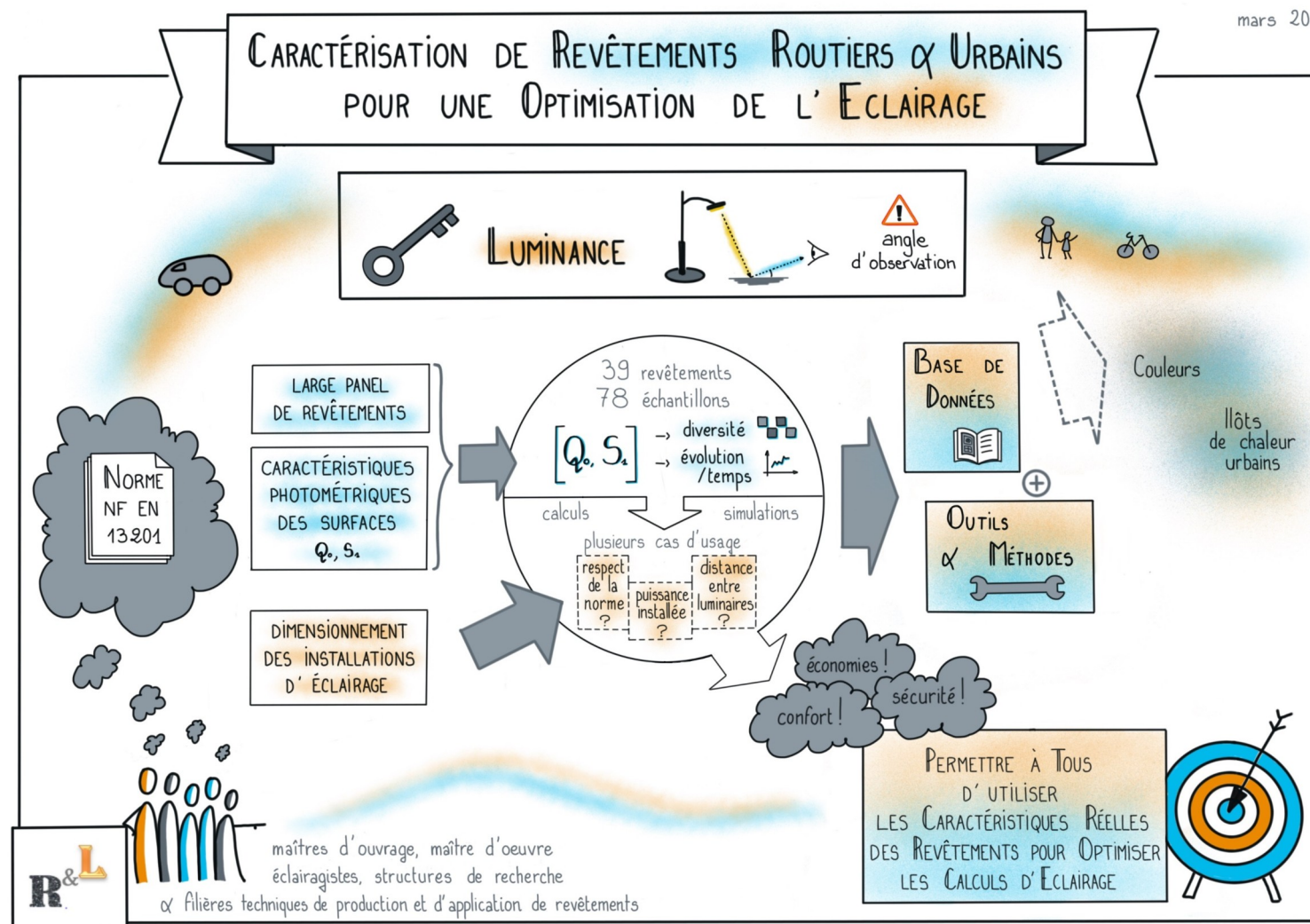
En 2025 : Le livrable complet IDRRIM / CEREMA / AFE / AITF

- Bibliothèque de revêtements (les fiches)
- Tutoriel d'aide à l'utilisation des fiches et à l'intégration de la démarche dans les marchés
- Outils méthodologiques de dimensionnement d'éclairage

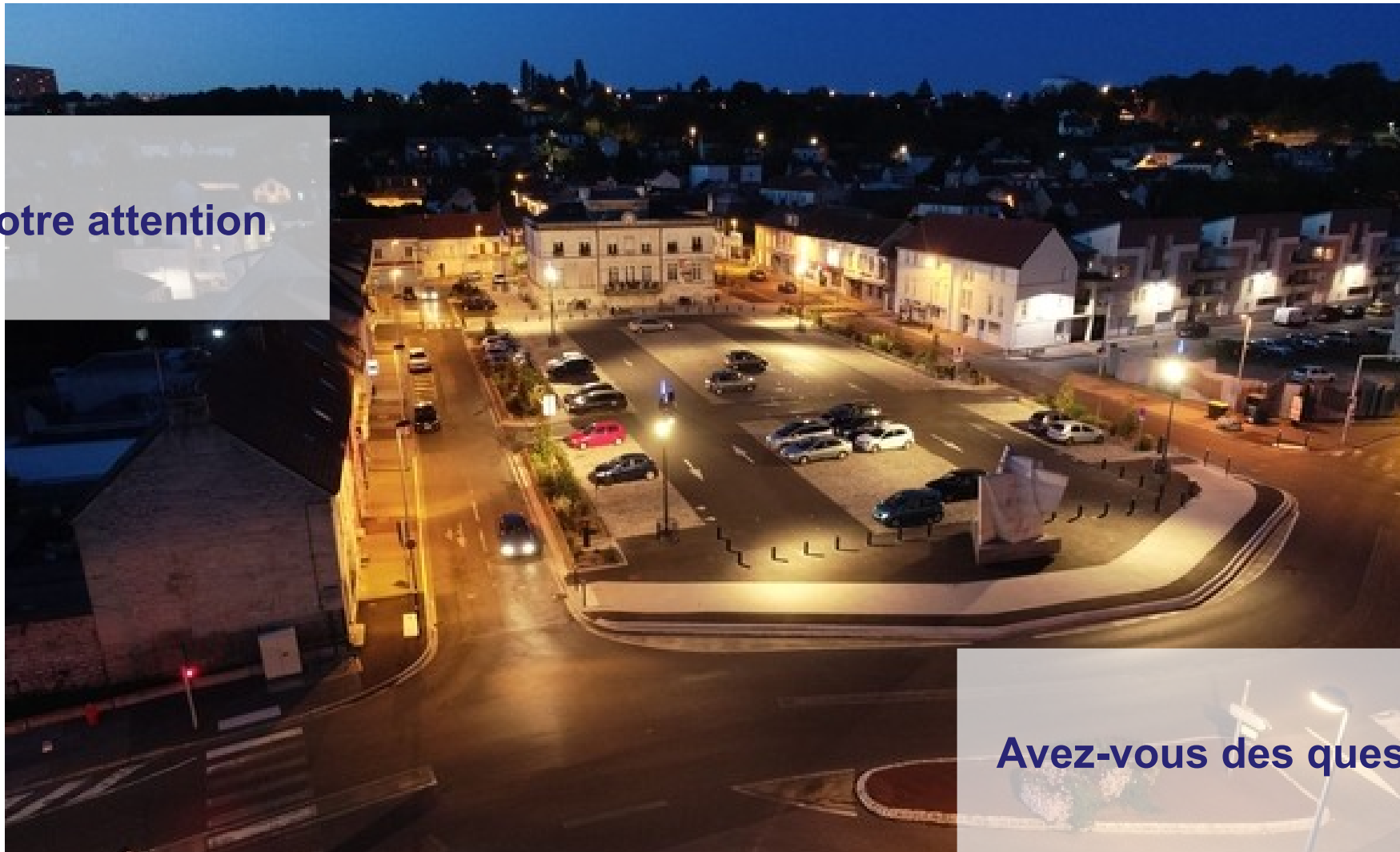
Les livrables du groupe **R&L**

Synthèse visuelle

mars 2024



Merci de votre attention



Avez-vous des question ?