

# CARACTERISATION DE REVETEMENTS ROUTIERS ET URBAINS POUR UNE OPTIMISATION DE L'ÉCLAIRAGE

Groupe de Travail Revêtements & Lumière



1

## Introduction, enjeux de l'éclairage public aujourd'hui

- Sophie Banette (AITF/Montpellier Métropole)

2

## Photométrie des revêtements, pratiques actuelles des calculs d'éclairage

- Valérie Muzet (Cerema, ENDSUM Strasbourg)

3

## Une bibliothèque de revêtements urbains caractérisée

- Jérôme Dherbecourt (Routes de France) et Cédric Le Gouil (France Ciment)

4

## Les apports d'un dimensionnement d'éclairage qui prend en compte le revêtement

- Valérie Muzet (Cerema, ENDSUM Strasbourg)

5

## Les livrables du groupe

- Sophie Banette (AITF/Montpellier Métropole)

6

## Perspectives, éclairage de demain

- Laure Lebouc et Florian Greffier (Cerema, EL Angers)

# Introduction

## Enjeux de l'éclairage public aujourd'hui

# 01

- A l'origine, un rapport d'étonnement
- La naissance d'un groupe de travail
- L'objectif et les enjeux
- Les 2 phases de nos travaux
- Le GT aujourd'hui

# A l'origine : un rapport d'étonnement

- Conception fondée sur la perception d'un conducteur roulant à des vitesses autorisées sur les routes interurbaines

utilisation de revêtements standards définis par la Commission internationale de l'éclairage (CIE) en 1984

- une palette de revêtements routiers et urbains de plus en plus variée

- une offre élargie en matière de matériels d'éclairage

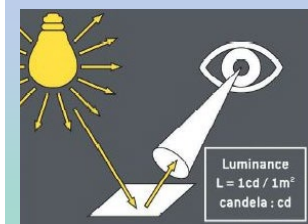
- la norme NF EN 13201



# Naissance d'un groupe de travail transversal

2008 - Création d'un collectif porteur d'une analyse partagée autour de plusieurs constats

## PERCEPTION



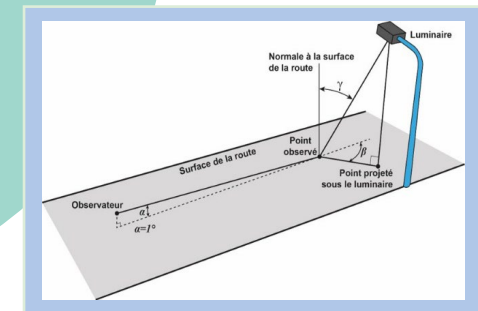
Importance de la lumière réfléchiée par le revêtement et non du flux lumineux projeté

Perception par contraste de luminance qui dépend des propriétés des revêtements

Revêtements standards non représentatifs des revêtements réellement appliqués



Angle CIE conventionnel :  $1^\circ$  pour les mesures photométriques ne couvre que partiellement les usages urbains



# Objectif

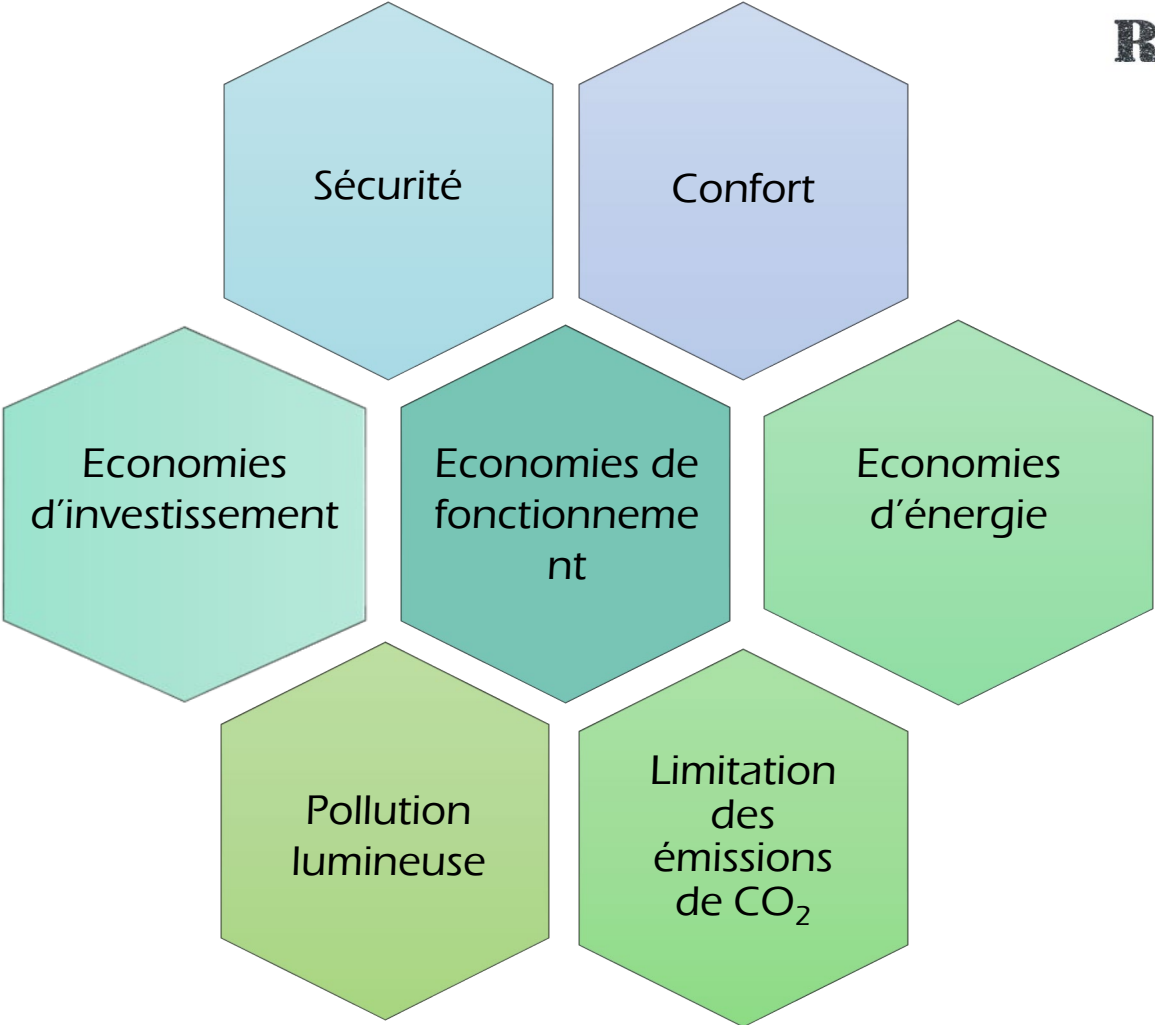
Faire évoluer la « tradition du faire comme d'habitude » vers le « éclairer juste »,  
en appliquant la nouvelle norme de dimensionnement d'une installation d'éclairage NF EN 13201



Permettre à tous d'utiliser les caractéristiques réelles des revêtements pour optimiser les calculs d'éclairage

Faciliter les choix

# Enjeux



# Première phase (2008 – 2013)

Créer du lien,  
apprendre les uns  
des autres, partager  
les vocabulaires  
ainsi que de  
l'essentiel des  
techniques et  
pratiques

Organiser et suivre  
des démonstrateurs  
sur site réel pour  
montrer la  
pertinence de la  
démarche

Transmettre les  
connaissances  
acquises :  
- journée technique  
nationale  
(28/11/2013) -  
diffusion plaquette  
d'information

# Deuxième phase (2014 – 2025)

Valider et compléter une méthode de mesures photométriques adaptée au contexte urbain (angle d'observation de 1° conventionnel + un autre angle)

Echafauder une méthode de calcul d'optimisation prenant en compte les nouvelles données photométriques

Créer une bibliothèque des caractéristiques photométriques des revêtements routiers et urbains

# Le GT aujourd'hui



Maîtres d'ouvrage  
Maîtres d'œuvre



Eclairagistes  
Structures de recherche



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



Autres structures  
intéressées



## Photométrie des revêtements

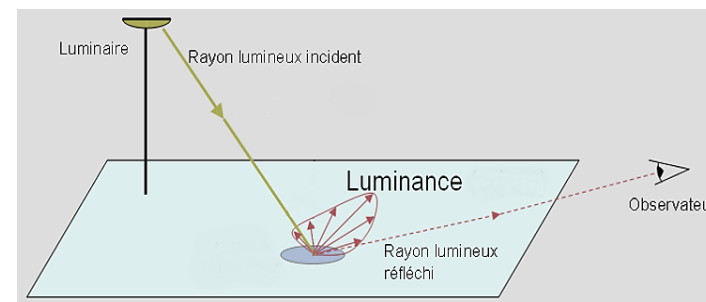
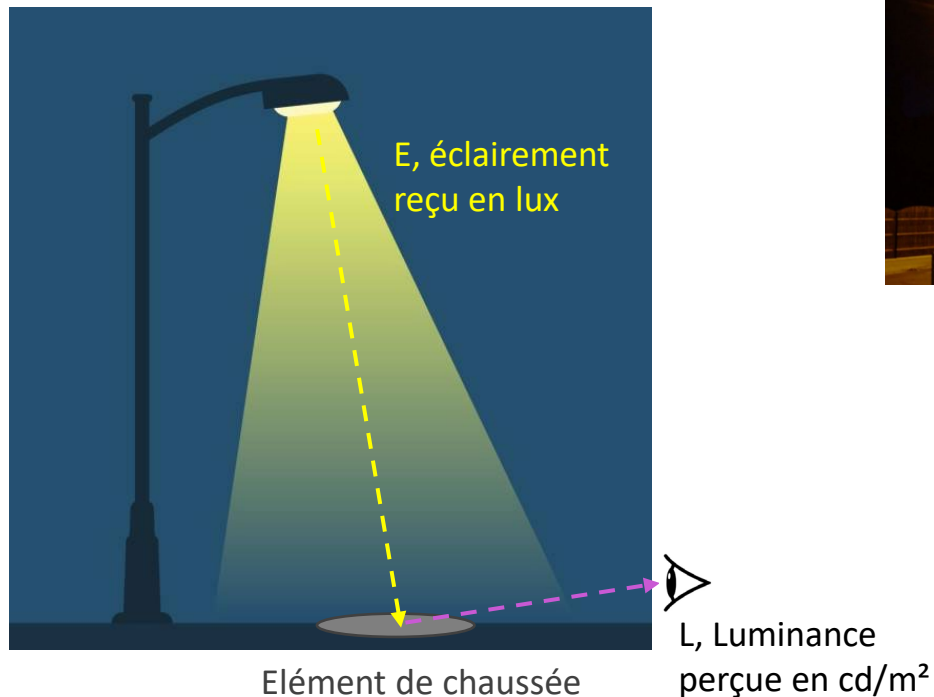
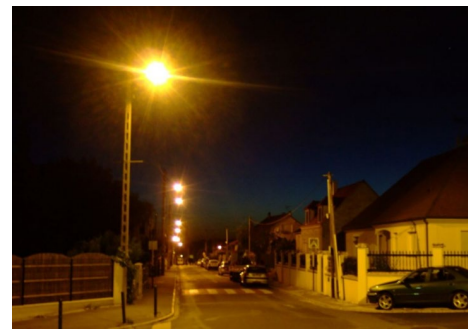
## Dimensionnement d'un éclairage

# 02

- Qu'est ce que la photométrie des revêtements, Comment la mesure-t-on ?
- Comment est réalisé le dimensionnement des installations d'éclairage ?
- Les pratiques actuelles

# Qu'est ce que la photométrie des revêtements ?

## Exemple d'éclairage public



La photométrie d'un revêtement est la mesure de ses capacités de réflexion de la lumière



# Qu'est ce que la photométrie des revêtements ?

## Que mesure-t-on?

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

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

Luminance perçue par l'observateur  
Unité  $\text{cd.m}^{-2}.\text{lx}^{-1}$   
Éclairement émis

## Comment ?

- Spécifications de la CIE
  - Un angle d'observation  $\alpha=1^\circ$   
**un conducteur qui regarde à 90m**
  - Définition du coefficient de luminance réduit
$$r(\beta, \gamma) = q(\beta, \gamma) \cos^3 \gamma$$
  - Combinaison d'angles d'éclairage
    - 20 angles d'azimut  $\beta$
    - 29 angles d'incidence  $\gamma$

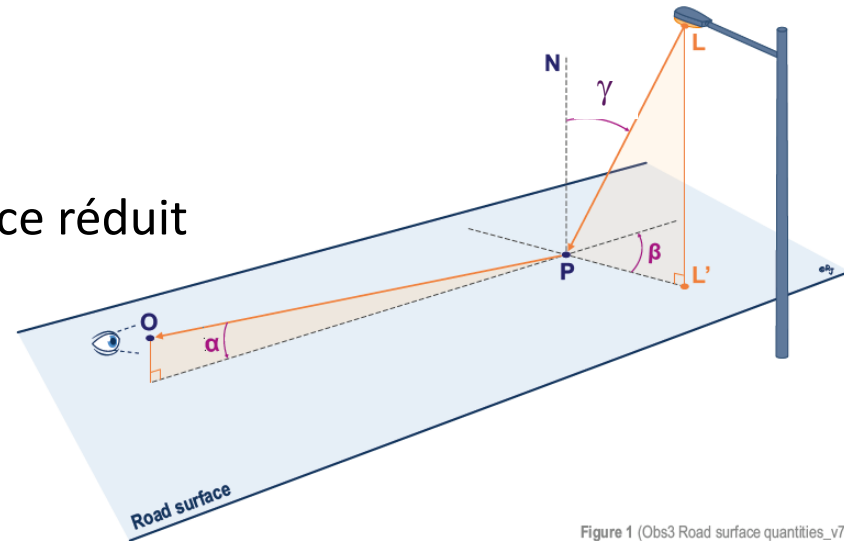


Figure 1 (Obs3 Road surface quantities\_v7)

# Qu'est ce que la photométrie des revêtements ?

## Que mesure-t-on?

Table R

$\beta$	0	2	5	10	15	20	25	30	35	40	45	60	75	90	105	120	135	150	165	180	
0.00	140	142	140	142	140	140	140	142	140	140	140	140	138	140	140	140	140	140	140	140	140
0.25	234	232	232	231	231	224	210	204	195	186	180	152	133	118	106	99.2	94.0	90.6	85.5	87.2	
0.50	362	362	356	342	323	298	272	247	227	198	182	138	106	88.7	77.0	65.4	61.0	58.1	55.2	55.2	
0.75	536	532	514	477	416	364	312	262	219	181	155	101	73.2	59.3	51.2	45.3	41.9	39.5	38.4	37.2	
1.00	708	716	704	615	503	384	295	233	181	147	126	69.0	50.9	41.8	37.2	31.8	30.0	28.2	26.3	26.3	
1.25	838	858	812	659	508	359	236	174	135	101	75.9	46.8	34.7	29.8	26.2	22.7	21.3	20.6	19.8	19.8	
1.50	994	920	883	680	431	261	174	124	91.1	64.8	52.0	31.9	24.6	21.2	19.6	17.3	16.2	15.7	15.1	14.5	
1.75	986	999	858	586	389	199	134	89.9	65.3	44.7	37.6	22.8	17.9	15.7	14.3	13.0	12.1	12.1	11.6	11.2	
2.00	930	910	810	496	267	148	86.8	62.9	42.5	31.2	25.1	16.7	13.4	12.0	11.3	10.2	9.4	9.4	9.4	9.1	
2.50	756	736	626	337	145	72.2	46.4	30.8	23.3	18.3	15.3	10.3	8.5	7.8	7.3	6.8	6.3	6.3	6.3	6.3	
3.00	574	516	457	186	76.7	42.5	27.2	17.4	14.0	11.3	9.4	6.9	5.8	5.4	4.9	4.7	4.5	4.5	4.5	4.5	
3.50	439	396	321	114	45.2	26.2	15.6	11.7	9.0	7.5	6.6	4.9	4.3	3.8	3.6	3.4	3.3	3.3	3.4	3.4	
4.00	335	307	229	90.3	29.8	18.5	11.0	8.2	6.6	5.4	4.8	3.7	3.2	2.9	2.8	2.7	2.6	2.6	2.6	2.6	
4.50	260	248	205	56.8	20.9	13.1	7.8	5.9	5.0	4.3	3.7	2.8	2.5	2.3	2.2	2.1	2.1	2.0	2.1	2.1	
5.00	204	186	143	35.0	14.2	8.2	5.7	4.4	3.7	3.2	2.9	2.2	2.0	1.8	1.7	1.7	1.6	1.6	1.7	1.7	
5.50	161	147	106	27.6	10.2	6.2	4.4	3.4	2.9	2.6											
6.00	132																				
6.50	109																				
7.00	93.9																				
7.50	79.7																				
8.00	69.4																				
8.50	61.7																				
9.00	55.3																				
9.50	49.3																				
10.00	44.9																				
10.50	41.7																				
11.00	38.0																				
11.50	36.0																				
12.00	32.4																				

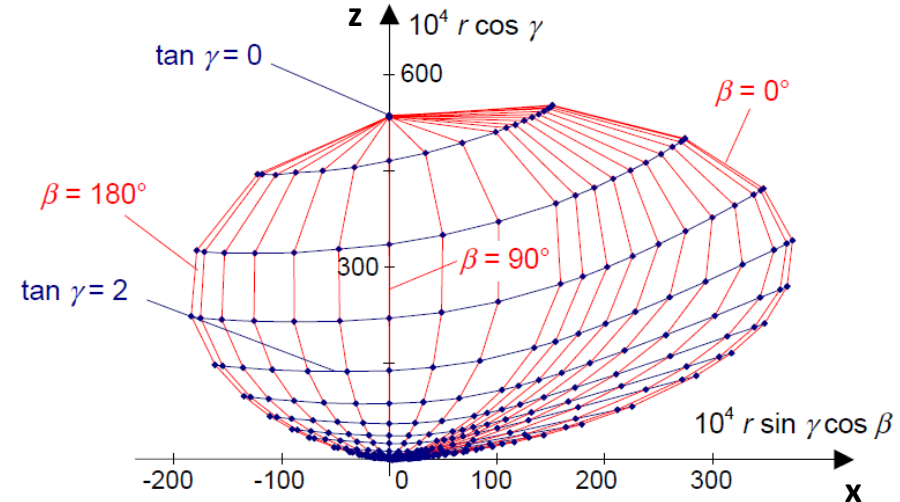
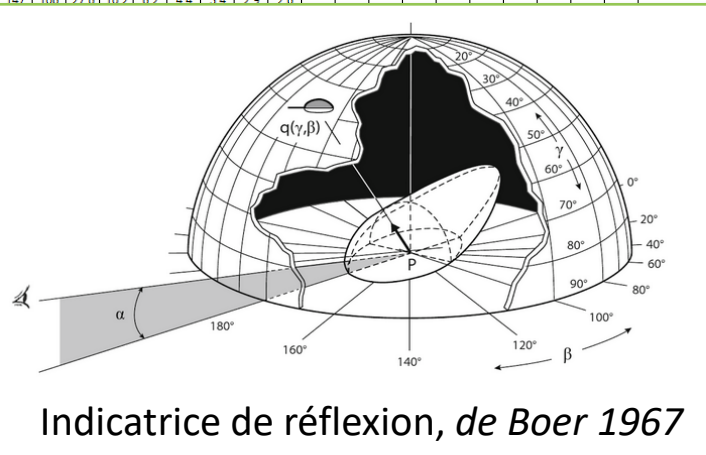
Indicatrice de réflexion = projection en 2d

$$x = 10^4 r \sin \gamma \cos \beta$$

$$y = 10^4 r \sin \gamma \sin \beta$$

$$z = 10^4 r \cos \gamma$$

axe de la route  
axe transversal  
axe vertical



# Qu'est ce que la photométrie des revêtements ?

## Que mesure-t-on?

Table R



tanγ \ β	β																			
	0	2	5	10	15	20	25	30	35	40	45	60	75	90	105	120	135	150	165	180
0.00	140	142	140	142	140	140	140	142	140	140	140	140	138	140	140	140	140	140	140	140
0.25	234	232	232	231	231	224	210	204	195	186	180	152	133	118	106	99.2	94.0	90.6	85.5	87.2
0.50	362	362	356	342	323	298	272	247	227	198	182	138	106	88.7	77.0	65.4	61.0	58.1	55.2	55.2
0.75	536	532	514	477	416	364	312	262	219	181	155	101	73.2	59.3	51.2	45.3	41.9	39.5	38.4	37.2
1.00	708	716	704	615	503	384	295	233	181	147	126	69.0	50.9	41.8	37.2	31.8	30.0	28.2	26.3	26.3
1.25	838	858	812	659	508	359	236	174	135	101	75.9	46.8	34.7	29.8	26.2	22.7	21.3	20.6	19.8	19.8
1.50	994	920	883	680	431	261	174	124	91.1	64.8	52.0	31.9	24.6	21.2	19.6	17.3	16.2	15.7	15.1	14.5
1.75	986	999	858	586	389	199	134	89.9	65.3	44.7	37.6	22.8	17.9	15.7	14.3	13.0	12.1	12.1	11.6	11.2
2.00	930	910	810	496	267	148	86.8	62.9	42.5	31.2	25.1	16.7	13.4	12.0	11.3	10.2	9.4	9.4	9.4	9.1
2.50	756	736	626	337	145	72.2	46.4	30.8	23.3	18.3	15.3	10.3	8.5	7.8	7.3	6.8	6.3	6.3	6.3	6.3
3.00	574	516	457	186	76.7	42.5	27.2	17.4	14.0	11.3	9.4	6.9	5.8	5.4	4.9	4.7	4.5	4.5	4.5	4.5
3.50	439	396	321	114	45.2	26.2	15.6	11.7	9.0	7.5	6.6	4.9	4.3	3.8	3.6	3.4	3.3	3.3	3.4	3.4
4.00	335	307	229	90.3	29.8	18.5	11.0	8.2	6.6	5.4	4.8	3.7	3.2	2.9	2.8	2.7	2.6	2.6	2.6	2.6
4.50	260	248	205	56.8	20.9	13.1	7.8	5.9	5.0	4.3	3.7	2.8	2.5	2.3	2.2	2.1	2.1	2.0	2.1	2.1
5.00	204	186	143	35.0	14.2	8.2	5.7	4.4	3.7	3.2	2.9	2.2	2.0	1.8	1.7	1.7	1.6	1.6	1.7	1.7
5.50	161	147	106	27.6	10.2	6.2	4.4	3.4	2.9	2.6										
6.00	132	120	102	28.1	8.4	5.1	3.5	2.9	2.5											
6.50	109	104	75.5	16.2	6.6	3.7	2.7	2.2												
7.00	93.9	89.4	47.0	12.2	5.6	3.0	2.3	1.9												
7.50	79.7	77.2	44.4	10.8	4.6	2.6	1.9													
8.00	69.6	68.3	42.3	8.6	3.9	2.1	1.6													
8.50	61.1	60.2	32.0	8.7	3.3	2.2	1.5													
9.00	55.3	55.0	27.5	6.1	2.9	1.8														
9.50	49.3	49.9	28.8	5.2	2.5	1.3														
10.00	44.9	45.7	27.4	4.4	2.2	1.2														
10.50	41.1	41.9	20.3	5.7	2.0	1.2														
11.00	38.0	38.8	22.8	3.9	1.7	0.9														
11.50	36.0	36.5	18.7	3.4	1.6															
12.00	32.4	34.2	17	4.5	1.4															

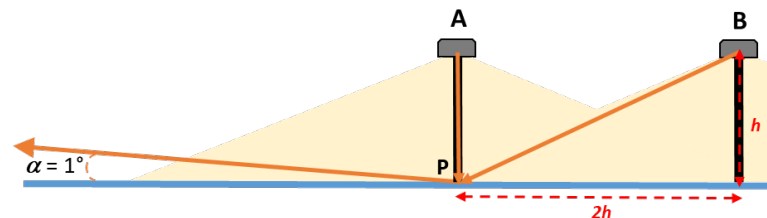
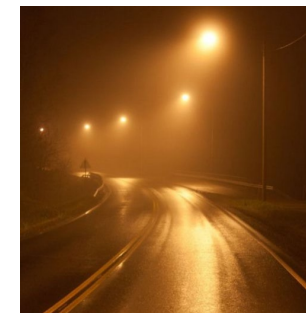
Deux indicateurs ont été définis à partir de la table-r

- Coefficient de luminance moyen  $Q_0$   
*appelé coefficient de clarté*

$$Q_0 = \frac{1}{\Omega_0} \int q \, d\Omega$$

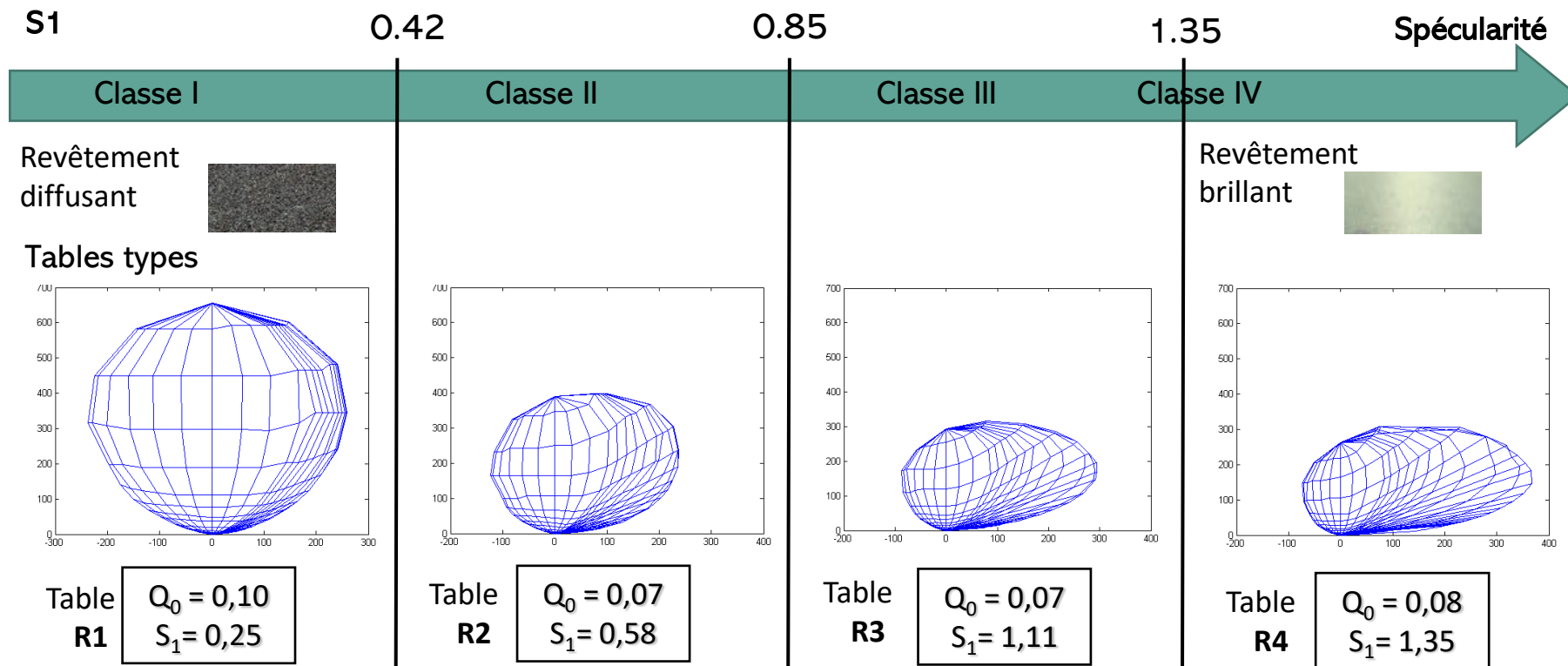
- Coefficient de spécularité  $S_1$   
*ou brillance*

$$S_1 = \frac{q(\beta=0, \tan\gamma=2)}{q(\beta=0, \tan\gamma=0)}$$



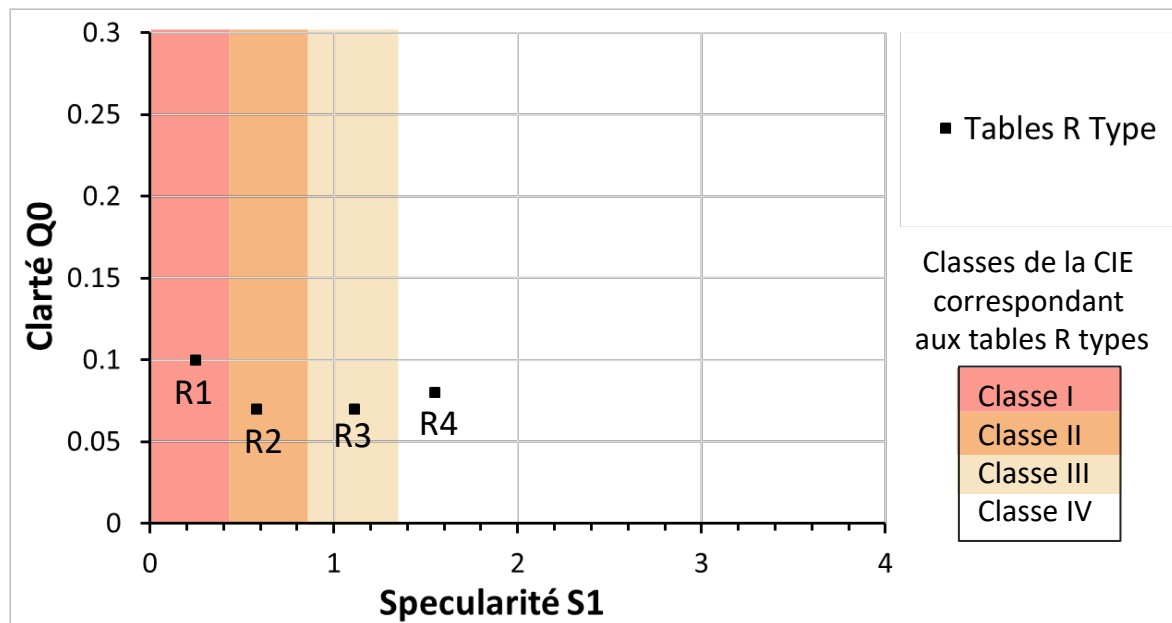
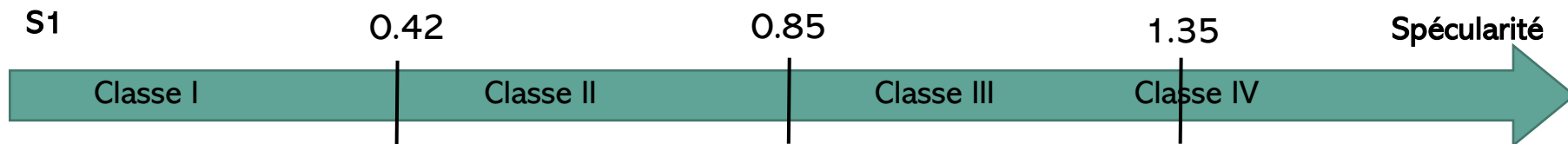
# Qu'est ce que la photométrie des revêtements ?

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



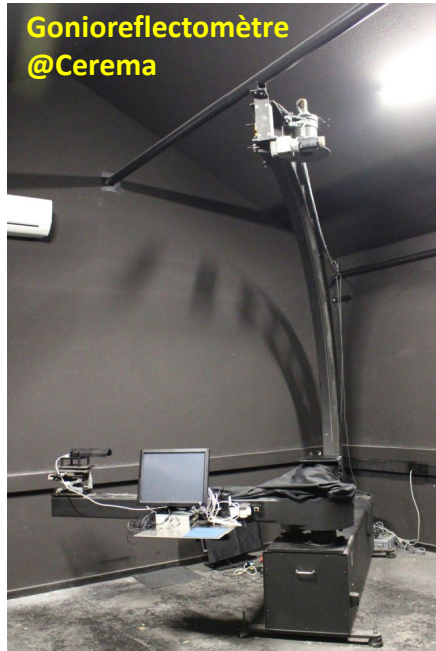
# Qu'est ce que la photométrie des revêtements ?

- Les **classes** de la CIE sont définies selon la spécularité S1 (brillance)  
Ce qui permet d'affecter les **tables types R1 à R4**

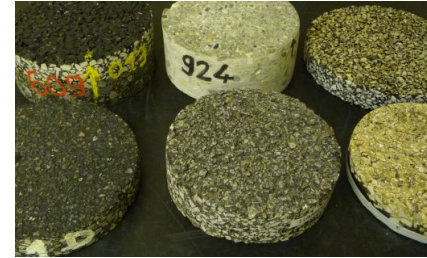


# Comment caractériser un revêtement ?

- Avec des prélèvements puis une mesure en laboratoire avec un gonioreflectomètre



=> Mesures réalisées de préférence,  
lorsque le revêtement est stabilisé



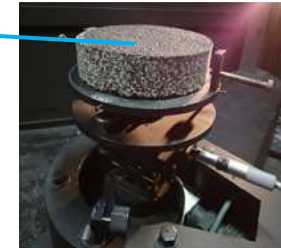
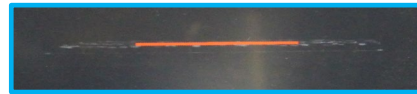
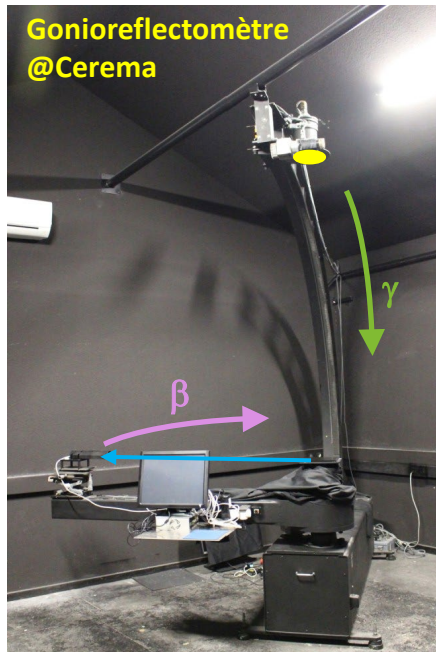
- Sur site avec COLUROUTE  
27 sources lumineuses et mesure à 1°





# Comment caractériser un revêtement ?

- Comment fonctionne un gonioreflectomètre ?



1. Positionnement précis de l'échantillon
  2. Eclairage selon différents angles  $\gamma$  et  $\beta$
  3. Mesure de la quantité de lumière réfléchie selon un angle d'observation  $\alpha$  à 1° conventionnellement
- => Mesures de table-r, Q0 et S1**

## Photométrie des revêtements

## Dimensionnement d'un éclairage

# 02

- Qu'est ce que la photométrie des revêtements, Comment la mesure-t-on ?
- **Comment est réalisé le dimensionnement des installations d'éclairage ?**
- Les pratiques actuelles



# Comment dimensionner une installation d'éclairage ?



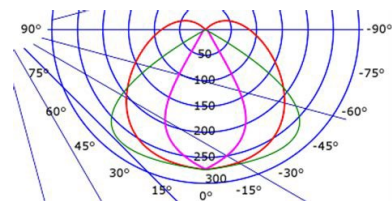
- Le dimensionnement des installations d'éclairage dépend des

- Paramètres spécifiques au site  
(type de route, géométrie, usage...)

✓ **Connu**



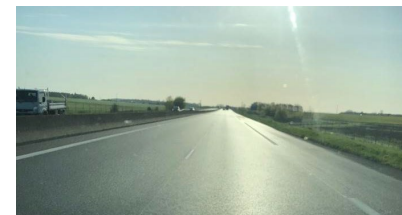
- Caractéristiques photométriques de la source lumineuse



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

- Caractéristiques photométriques de la route

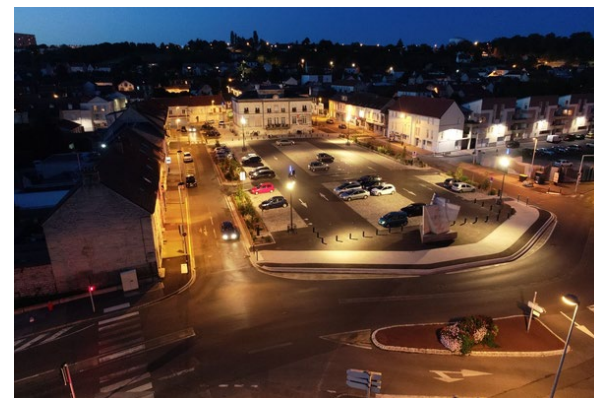
↓ **Généralement inconnues  
car non mesurées**



# Comment dimensionner une installation d'éclairage ?



- **Exigences de performance** en éclairage routier
  - basées sur l'**éclairage** 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**

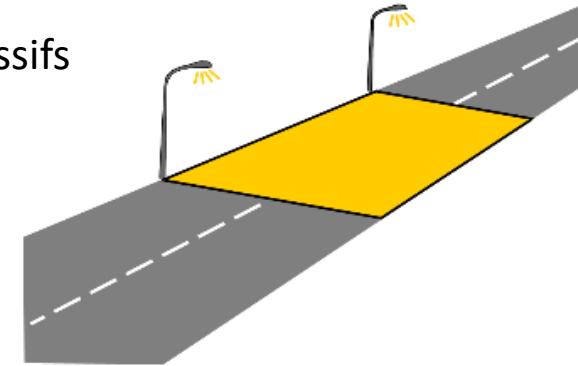


# Comment dimensionner une installation d'éclairage ?

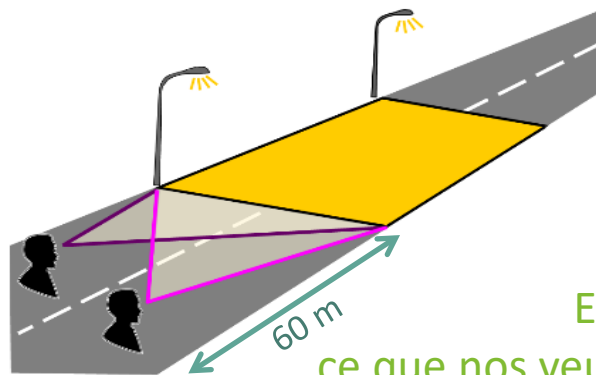


## • Méthode conventionnelle

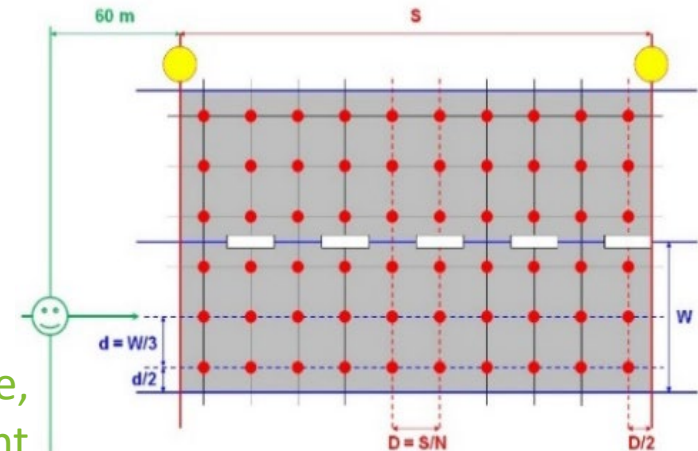
1. Définition d'une zone de calcul entre deux luminaires successifs sur la largeur de la chaussée
2. Définition d'un maillage de calcul et de mesure avec
  - Transversalement 3 points par voie de circulation
  - Longitudinalement au minimum 10 points
  - Positionnement à 60m avant le 1<sup>er</sup> luminaire



Possibilité de caractérisation de l'éclairement émis  
=> calcul de moyennes, uniformités...



En luminance,  
ce que nos yeux perçoivent



# Comment dimensionner une installation d'éclairage ?



## • Méthode conventionnelle

### 3. Calcul/mesure d'indicateurs de qualité d'une installation d'éclairage

Les critères standards de qualité en luminance

– **Luminance moyenne  $L_{moy}$**

– **Uniformité globale de la luminance  $U_0$ ,**

rapport entre la luminance minimale et la luminance moyenne

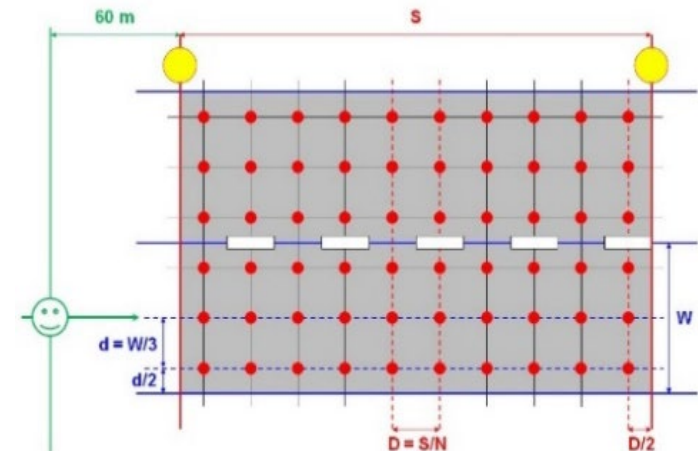
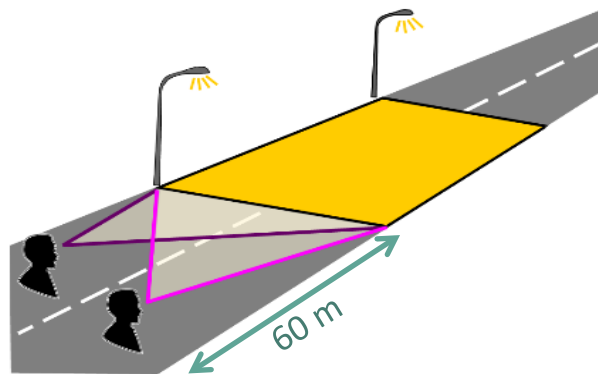
$$U_0 = L_{\min} / L_{moy}$$

– **Uniformité longitudinale de la luminance  $U_l$ ,**

rapport entre la luminance minimale et la luminance maximale

$$U_l = L_{\min} / L_{\max}$$

le long de l'axe de chaque voie de circulation



# Comment dimensionner une installation d'éclairage ?



- **Les pratiques actuelles**

**Utilisation de logiciels d'éclairages (DIALux, RELUX,...)**

**Pour considérer le revêtement, utilisation des tables  $r$  de la CIE**

et en France, en général

- la table R3 pour les revêtements bitumineux
- la table R1 pour des revêtements dits « clair » et diffusants

Il est possible d'indiquer un autre  $Q_0$  afin de mettre à l'échelle la table type, mais cela suppose de disposer d'une mesure !

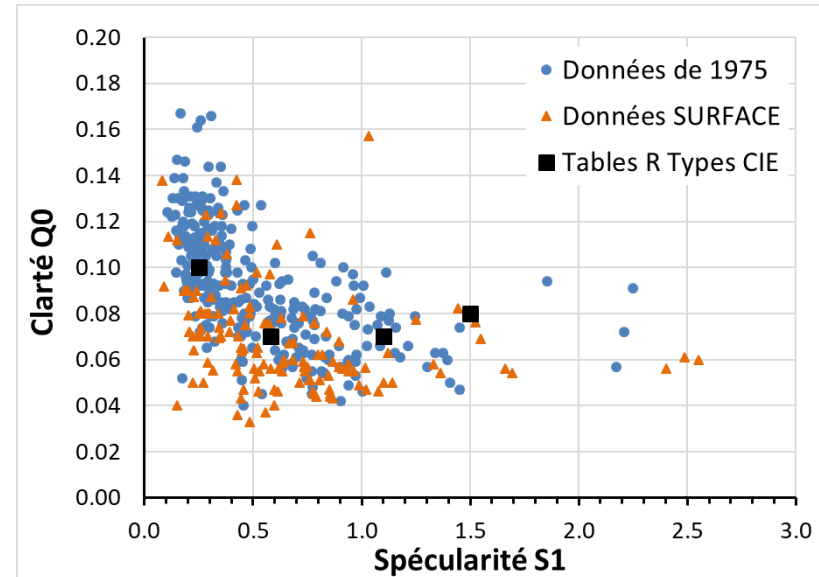
# Mais est ce que cette table est représentative des revêtements urbains actuels ?

- **Que dit la littérature ?**

- Les tables types de la CIE ne sont plus représentatives des revêtements actuels



Base de donnée collectée dans le projet Européen EMPIR SURFACE (2019)



- **Le démarche du groupe Revêtements et Lumière**

- Caractériser la photométrie d'un panel de revêtements urbains
- Étudier l'impact de leur utilisation sur le dimensionnement d'installations d'éclairage

1

## Introduction, enjeux de l'éclairage public aujourd'hui

- Sophie Banette (AITF/Montpellier Métropole)

2

## Photométrie des revêtements, pratiques actuelles des calculs d'éclairage

- Valérie Muzet (Cerema, ENDSUM Strasbourg)

3

## Une bibliothèque de revêtements urbains caractérisée

- Jérôme Dherbecourt (Routes de France) et Cédric Le Gouil (France Ciment)

4

## Les apports d'un dimensionnement d'éclairage qui prend en compte le revêtement

- Valérie Muzet (Cerema, ENDSUM Strasbourg)

5

## Les livrables du groupe

- Sophie Banette (AITF/Montpellier Métropole)

6

## Perspectives, éclairage de demain

- Laure Lebouc et Florian Greffier (Cerema, EL Angers)

# Une bibliothèque de revêtements urbains caractérisée

# 03

- Enrobés bitumineux
- Asphaltes
- Bétons de ciment coulés
- Bétons de ciment préfabriqués
- Pierres naturelles



# Choix des matériaux

## Une démarche originale

Disposer d'une bibliothèque de revêtements avec un large choix de matériaux destinés essentiellement à l'urbain

Disposer des caractéristiques photométriques pour pouvoir optimiser les calculs de dimensionnement de l'éclairage.

Travail collaboratif pour définir le choix des revêtements

Confection des échantillons (par paire) : 1 en conservatoire / 1 pour les mesures

Mesures photométriques et de couleur ( $L^*a^*b^*$ ) à  $t_0$  ⇒ **Etat neuf**

Vieillessement en extérieur de ces échantillons au CEREMA de Clermont Ferrand

Mesures photométriques et de couleur ( $L^*a^*b^*$ ) à  $t_{30\text{mois}}$  ⇒ **Etat stabilisé**

Présentation des résultats photométriques (graphique couple  $Q_0/S_1$ )



# Choix des échantillons Enrobés et Asphaltes

## Composants

Granulats foncés / clairs :



Bitume pur / liant de synthèse :

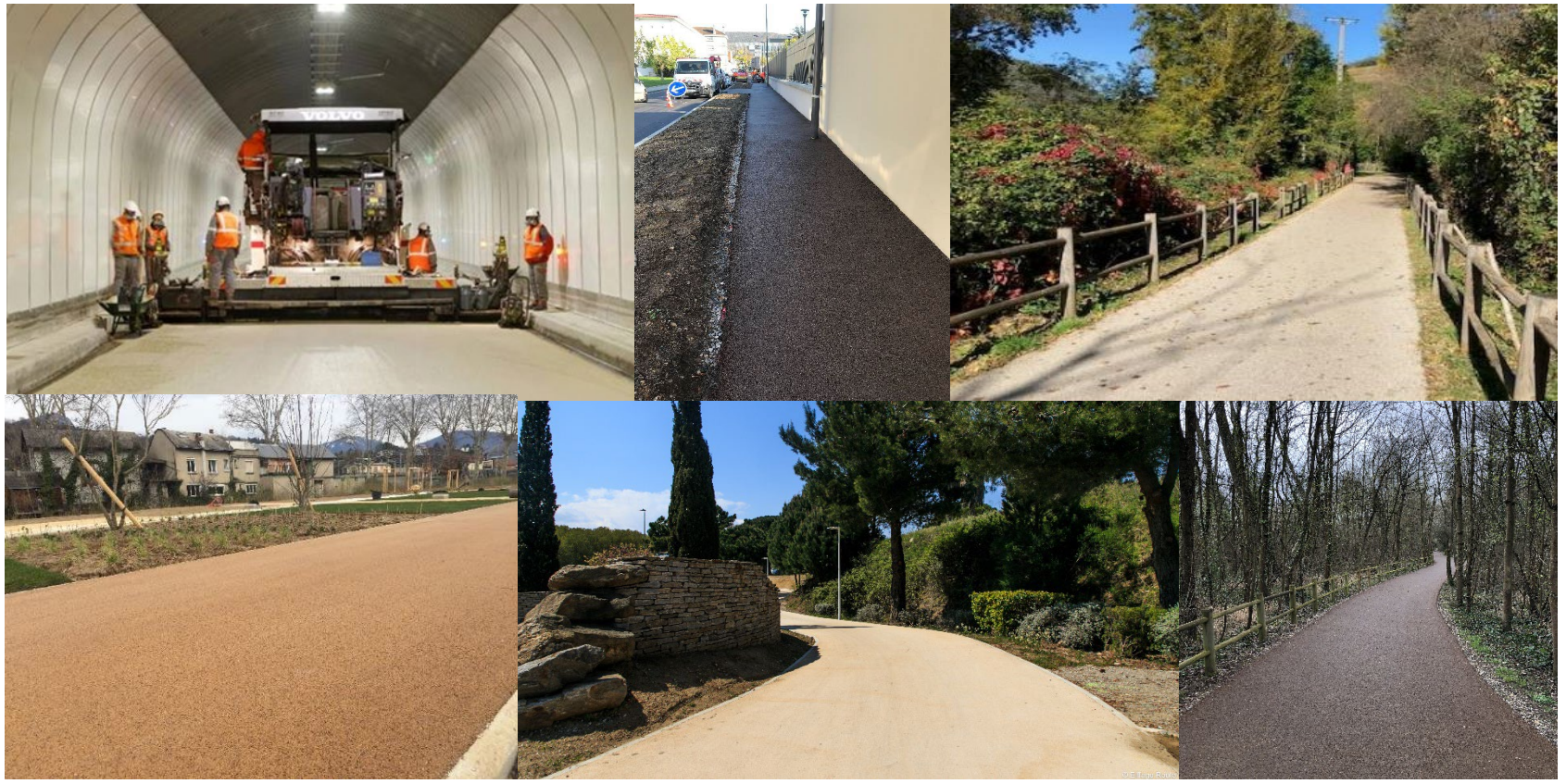


Pigment blanc :





# Échantillons Enrobés



Caractérisation de revêtements routiers et urbains pour une optimisation de l'éclairage

Jérôme Dherbécourt (Routes de France)  
Cédric Le Gouil (France Ciment)



# Échantillons Enrobés

	1	2	3	4	5	6
Neuf						
	Granulats Foncés Bitume pur (brut)	Granulats clairs Bitume pur (grenailé)	Granulats clairs Bitume pur (brut)	Granulats clairs Bitume pur Perméable (grenailé)	Granulats clairs 0/6 Bitume pur Perméable (brut)	Granulats clairs 0/6 Bitume pur Perméable (grenailé)
Stabilisé						



# Échantillons Enrobés

**7**

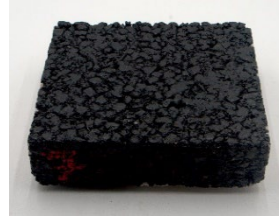
**9**

**10**

**11**

**12**

Neuf



Granulats clairs  
Bitume pur  
Perméable  
(brut)

Granulats clairs 0/6  
Liant de synthèse  
Perméable  
(brut)

Granulats clairs  
Liant de synthèse  
Perméable  
(brut)

Granulats clairs  
Liant de synthèse  
Pigment blanc  
(brut)

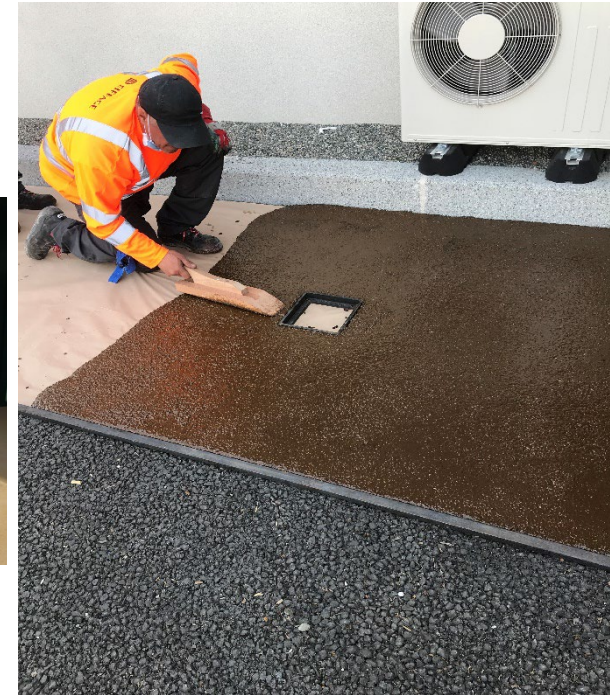
Granulats clairs  
Liant de synthèse  
Pigment blanc  
Perméable (brut)

Stabilisé





# Échantillons Asphaltes



Caractérisation de revêtements routiers et urbains pour une optimisation de l'éclairage

Jérôme Dherbécourt (Routes de France)  
Cédric Le Gouil (France Ciment)

# Échantillons Asphaltes

1

2

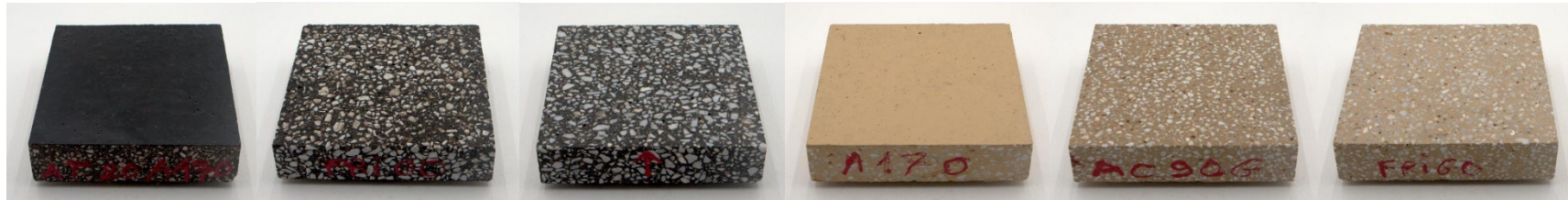
3

4

5

6

Neuf



Granulats clairs  
Bitume pur  
(brut)

Granulats clairs  
Bitume pur  
(grenailé)

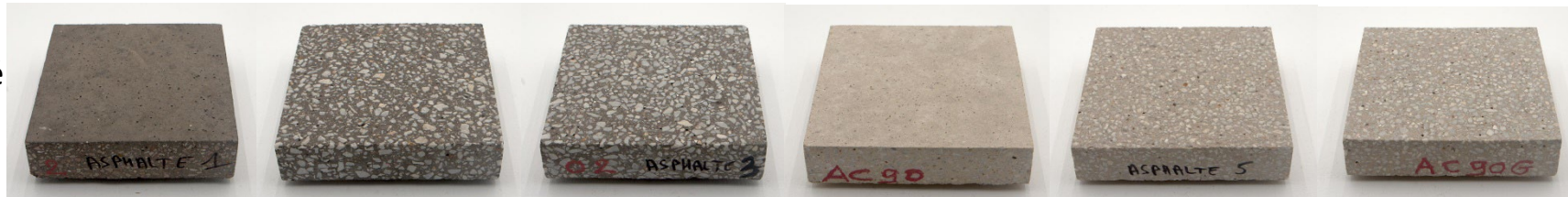
Granulats clairs  
Bitume pur  
(poncé)

Granulats clairs  
Liant de synthèse  
Pigment blanc  
(brut)

Granulats clairs  
Liant de synthèse  
Pigment blanc  
(grenailé)

Granulats clairs  
Liant de synthèse  
Pigment blanc  
(poncé)

Stabilisé



# Échantillons Bétons

**Luminance, Clarté, Spécularité, Brillance... et la couleur « visuelle »...**





# Échantillons Bétons

Luminance, Clarté, Spécularité, Brillance... et la couleur « visuelle »...

Aspect visuel béton =

- **Couleur des matériaux** : éléments fins sable, ciment, pigments



# Échantillons Bétons

**Luminance, Clarté, Spécularité, Brillance... et la couleur « visuelle »...**

**Aspect visuel béton =**

- **Couleur des matériaux** : éléments fins sable, ciment, pigments
- **Texture de surface** : brute ou traitements physiques / chimiques / mécaniques



# Échantillons Bétons coulés

# Échantillons Bétons coulés

Luminance, Clarté, Spécularité, Brillance... et la couleur « visuelle »...

Aspect visuel béton =

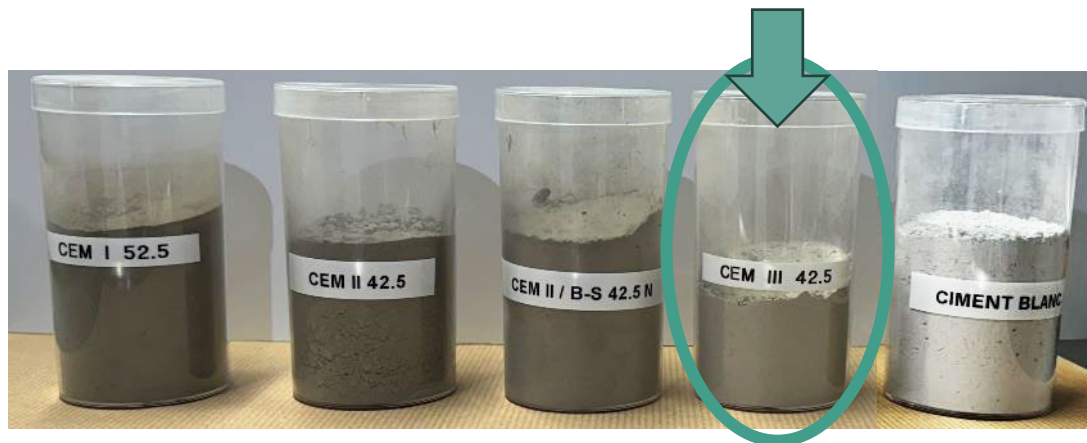
- **Couleur des matériaux**: éléments fins sable, ciment, pigments

➔ Pas de pigment



**Granulats  
clairs ou foncés**

**Ciment CEM III/A « couleur claire intermédiaire »,  
souvent utilisé en aménagement urbain**

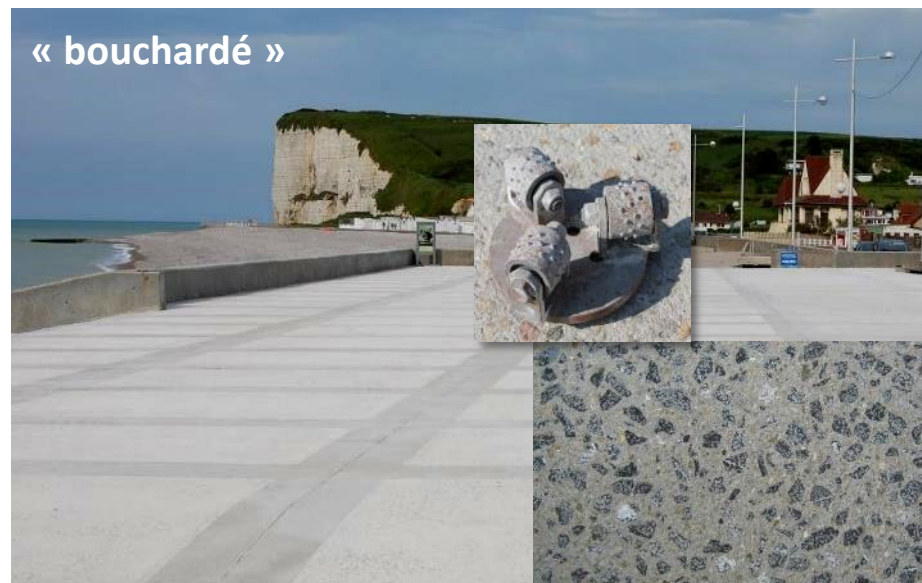


# Échantillons Bétons coulés

Luminance, Clarté, Spécularité, Brillance... et la couleur « visuelle »...

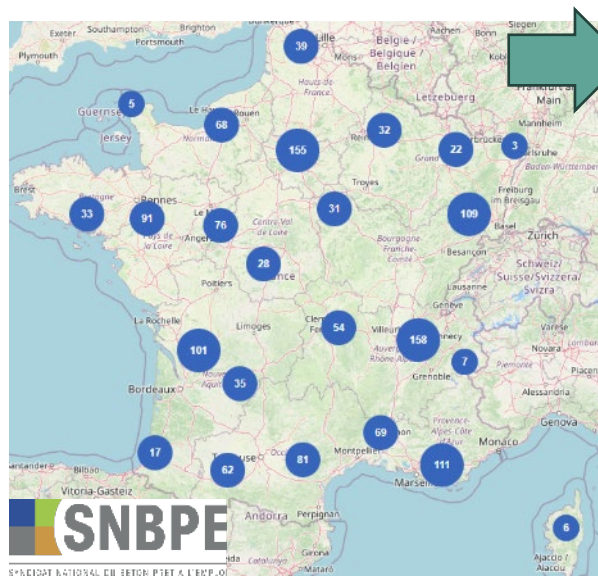
Aspect visuel béton =

- Couleur des matériaux : éléments fins sable, ciment, pigments
- **Texture de surface** : brute ou traitements physiques / chimiques / mécaniques





# Échantillons Bétons coulés



## 10 Bétons coulés représentatifs



Jérôme Dherbécourt (Routes de France)  
Cédric Le Gouil (France Ciment)

Caractérisation de revêtements routiers et urbains pour une optimisation de l'éclairage

# Échantillons Bétons coulés

1

2

3

4

5

6



Granulats clairs  
(balayé)

Granulats clairs  
(lissé)

Granulats foncés  
(désactivé)

Granulats clairs  
(désactivé)

Granulats foncés  
(bouchardé)

Granulats clairs  
(bouchardé)

7

8

9

10

Etat neuf



Granulats clairs  
(poncé)

Granulats foncés  
(sablé)

Granulats clairs  
(sablé)

Granulats clairs  
(perméable)

# Échantillons Bétons coulés



Granulats clairs  
(balayé)

Granulats clairs  
(lissé)

Granulats foncés  
(désactivé)

Granulats clairs  
(désactivé)

Granulats foncés  
(bouchardé)

Granulats clairs  
(bouchardé)

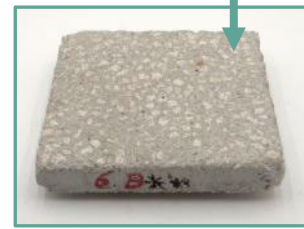


Granulats clairs  
(poncé)

Granulats foncés  
(sablé)

Granulats clairs  
(sablé)

Granulats clairs  
(perméable)



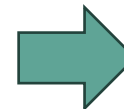
Granulats clairs  
(bouchardé)  
**T30 stabilisé**



Granulats clairs  
(poncé)  
**T30 stabilisé**



# Échantillons Bétons préfabriqués



**7 Pavés français  
représentatifs**





# Échantillons Bétons préfabriqués

1

2

3

4



Béton gris  
(brut)

Béton gris  
(lavé)

Béton gris  
(grenailé)

Béton gris  
(vieilli)

Etat  
Neuf

5

6

7

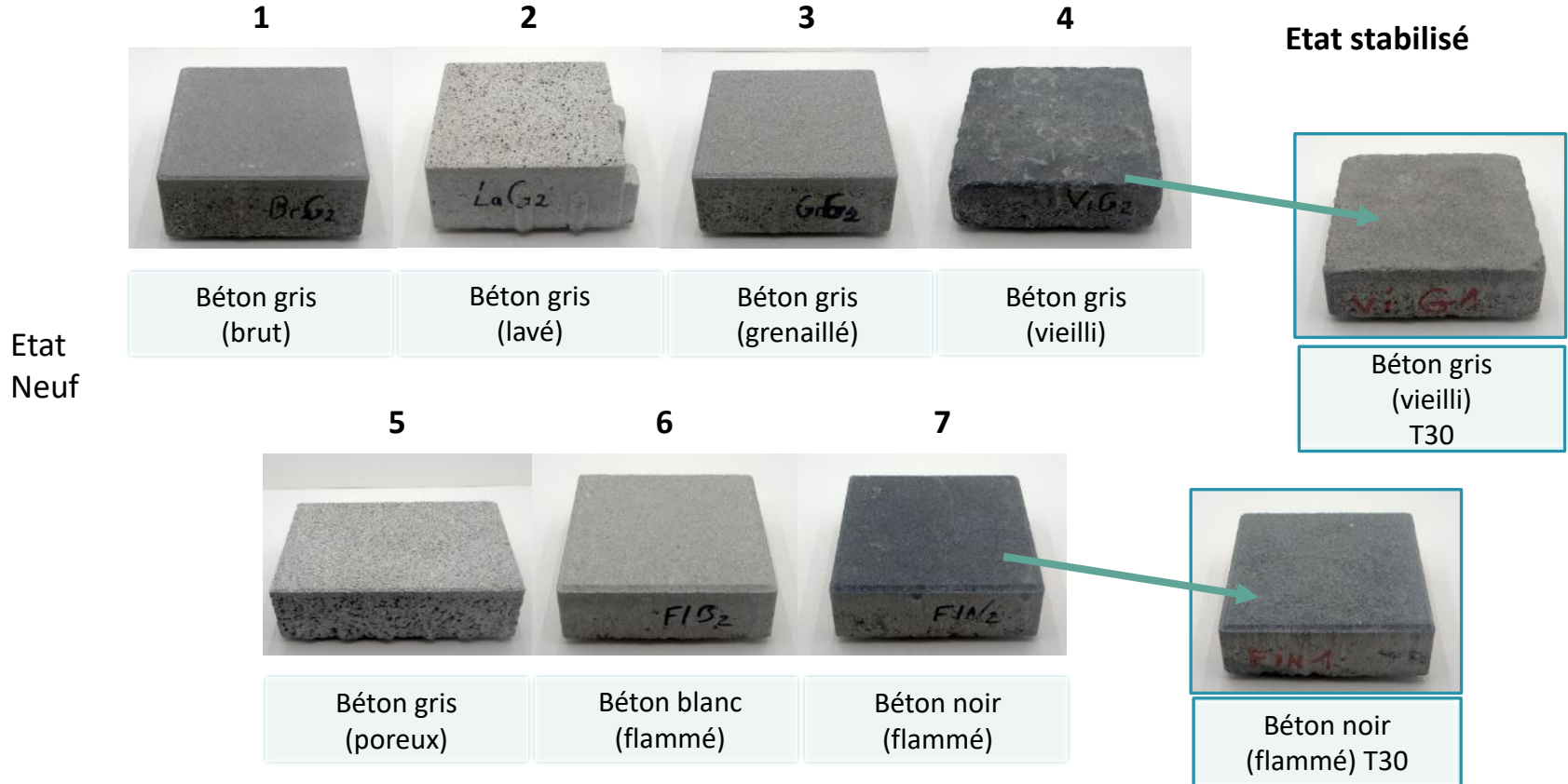


Béton gris  
(poreux)

Béton blanc  
(flammé)

Béton noir  
(flammé)

# Échantillons Bétons préfabriqués

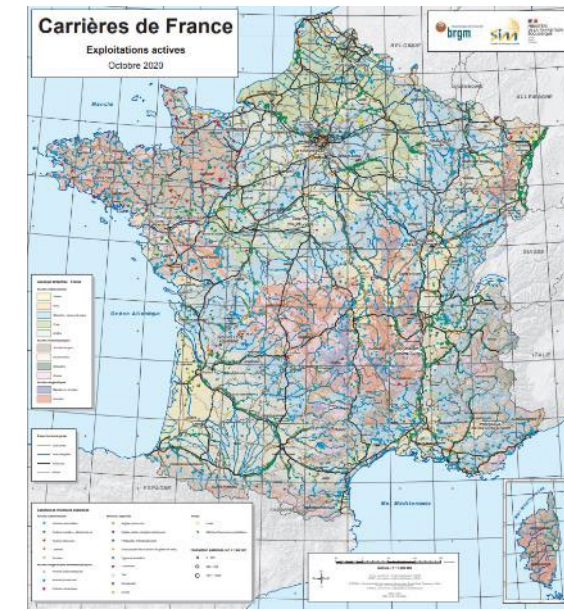




# Échantillons Pierres naturelles



**4 Pierres françaises  
représentatives**



Caractérisation de revêtements routiers et urbains pour une optimisation de l'éclairage

Jérôme Dherbécourt (Routes de France)  
Cédric Le Gouil (France Ciment)

# Échantillons Pierres naturelles

1

2

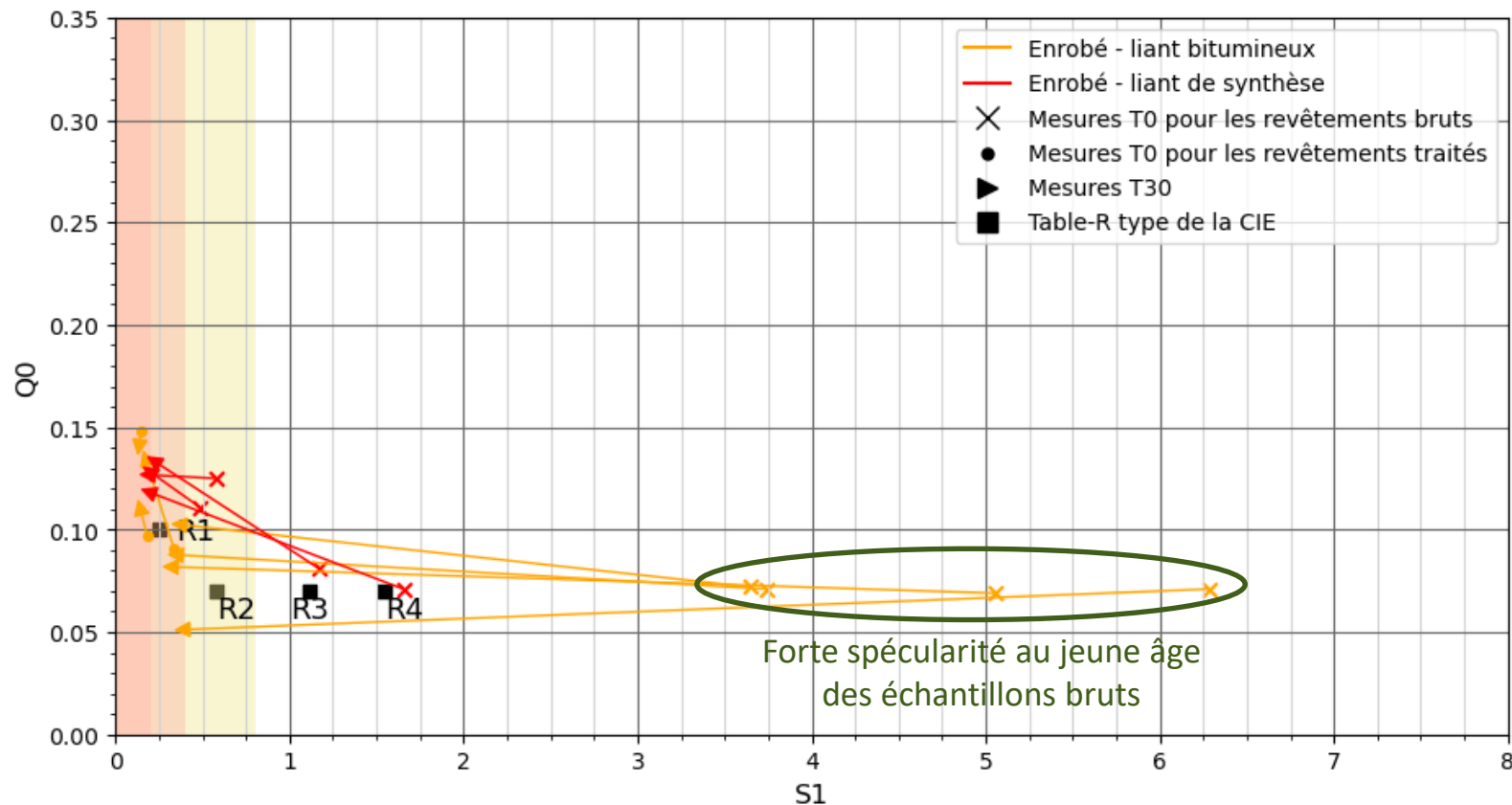
3

4

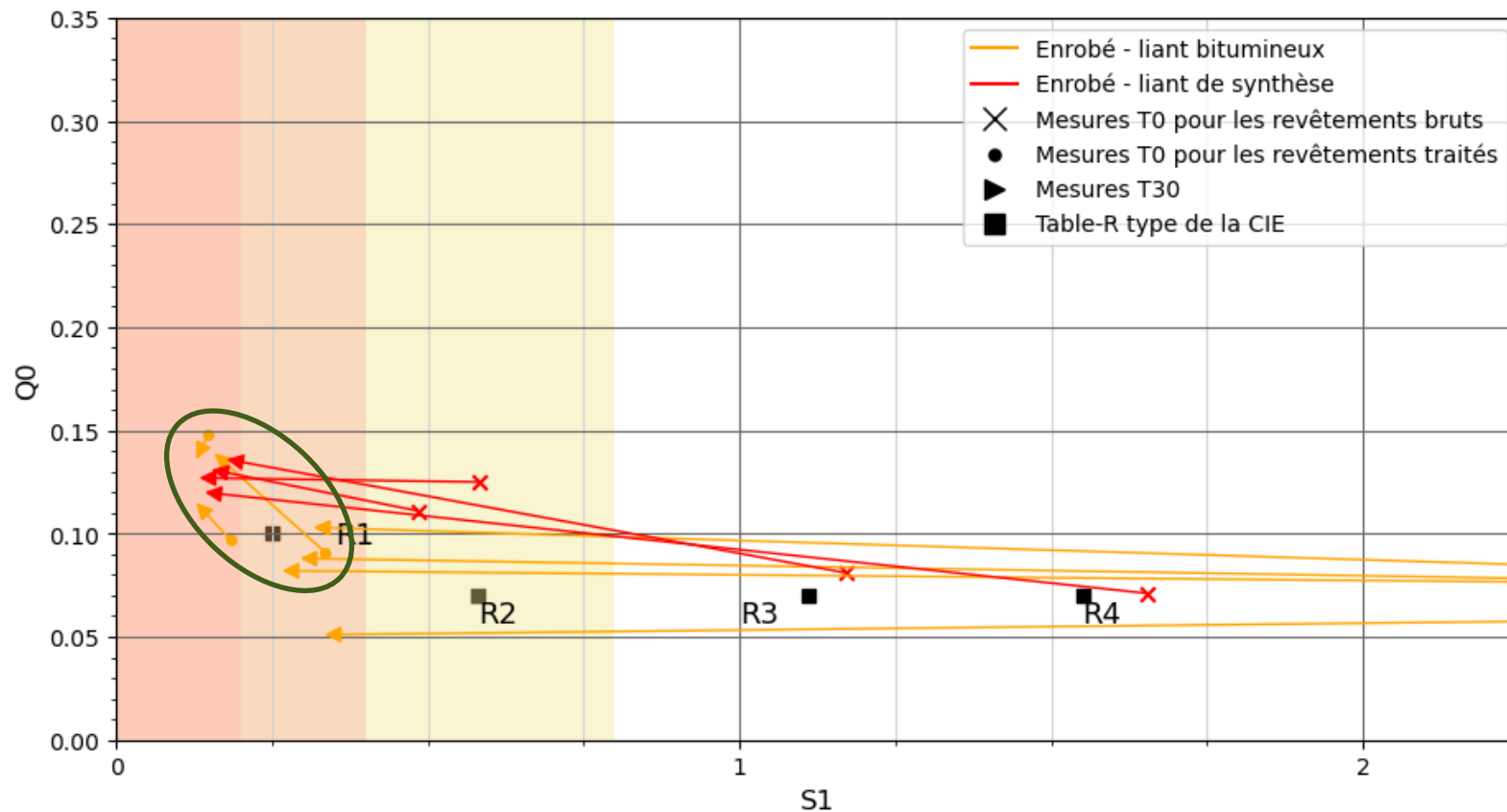


Etat neuf ⇔ Etat stabilisé

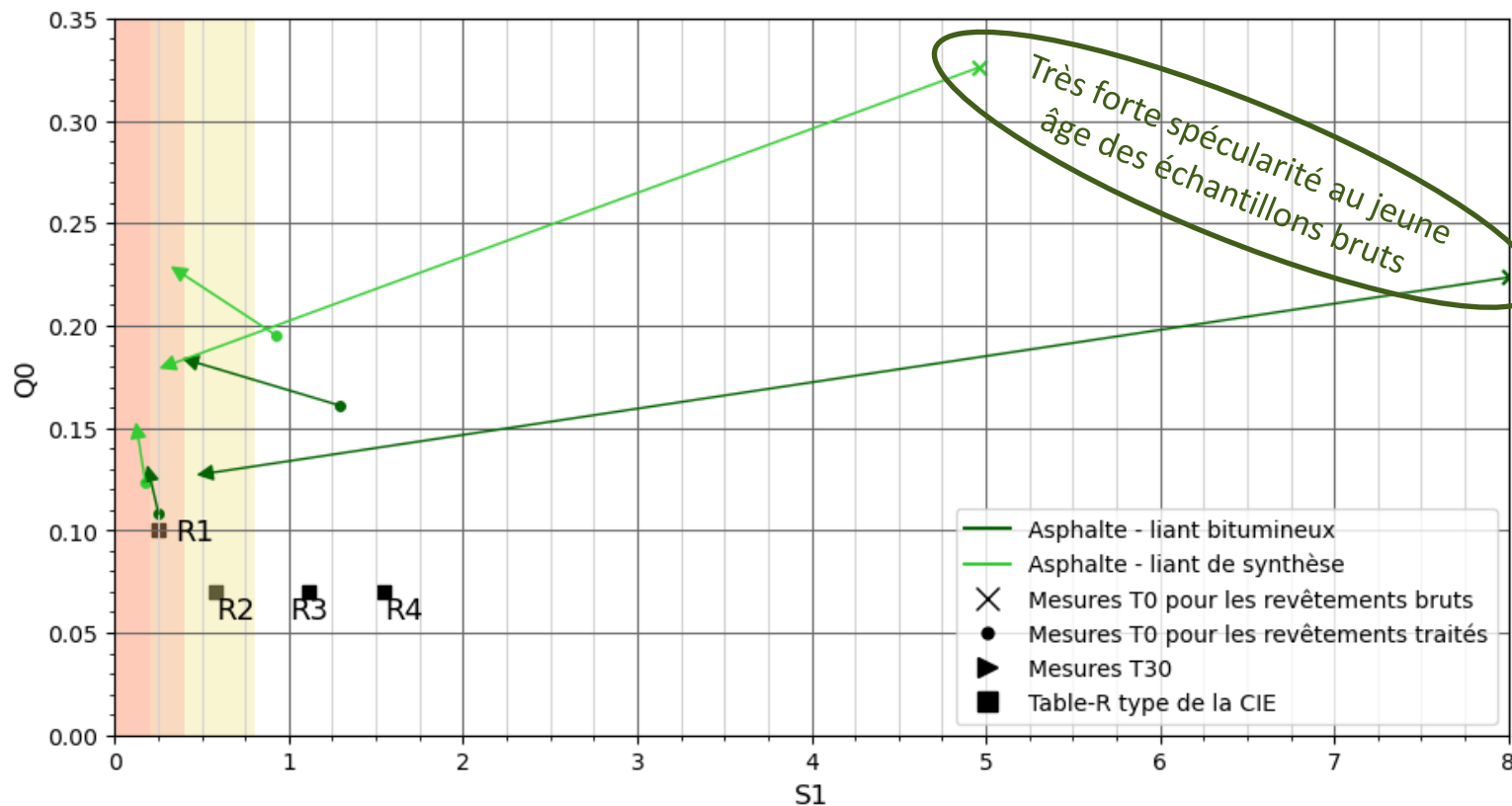
# Graphique photométrique échantillons Enrobés



# Graphique photométrique échantillons Enrobés

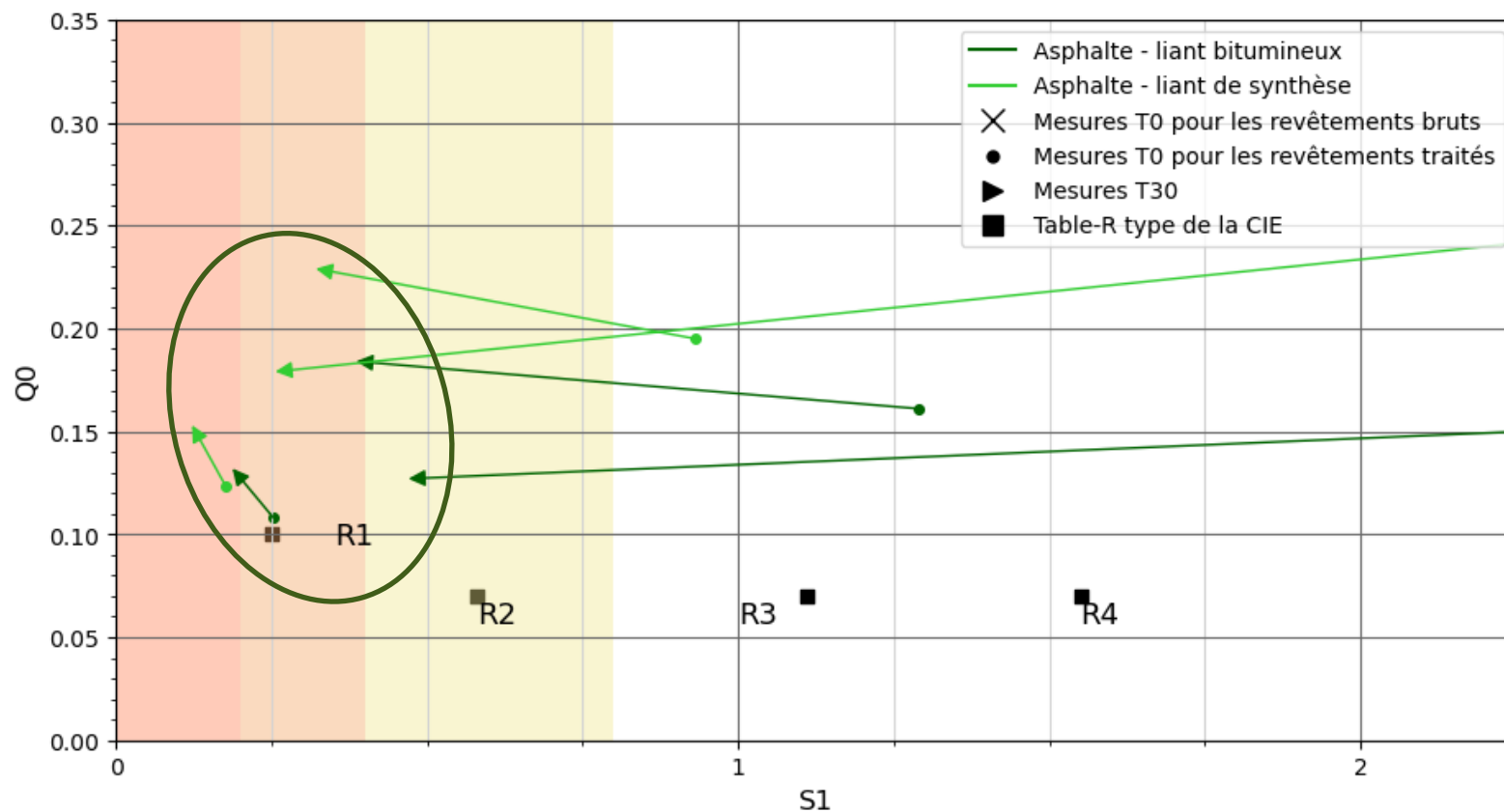


# Graphique photométrique échantillons Asphaltes

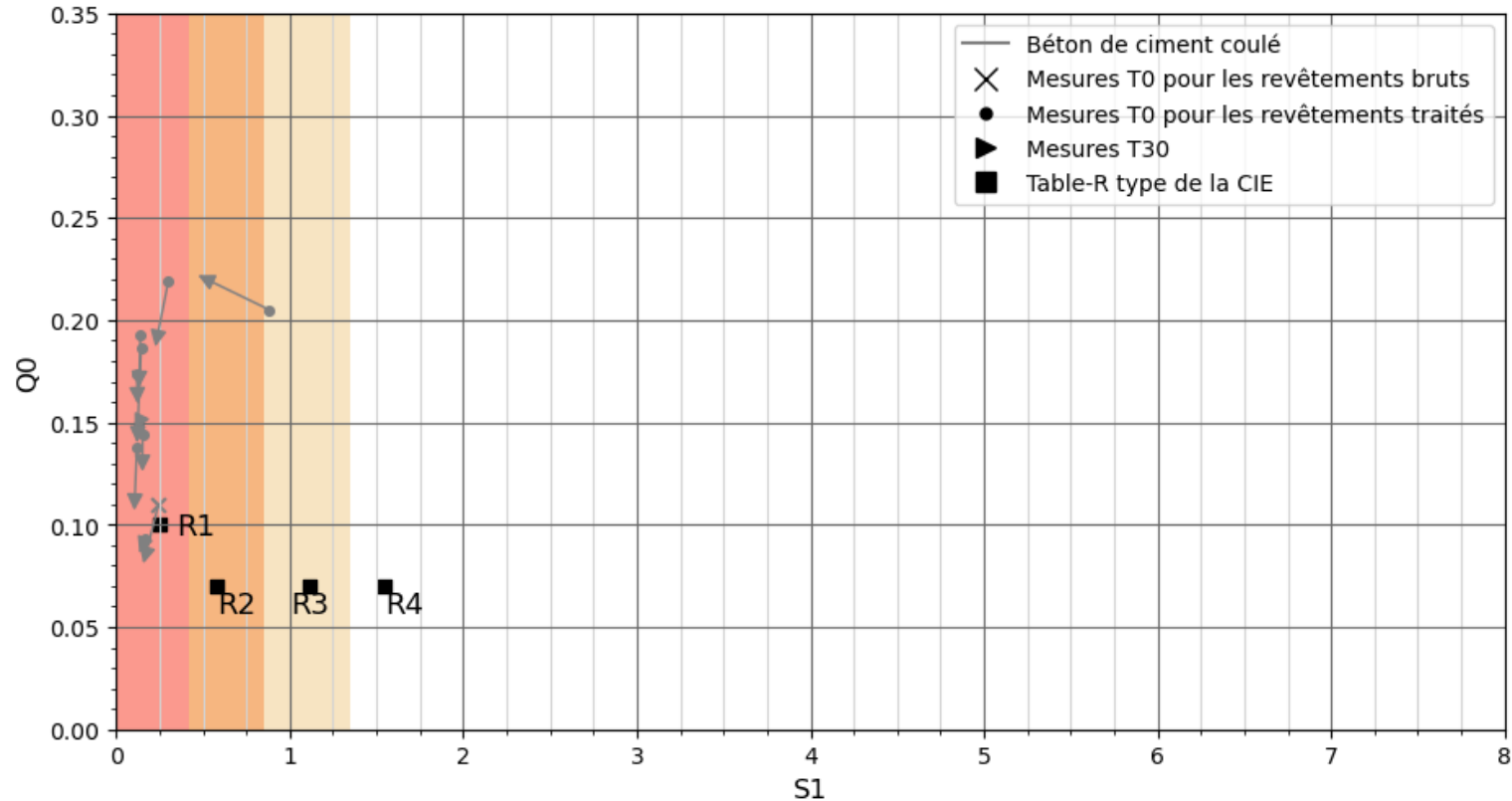




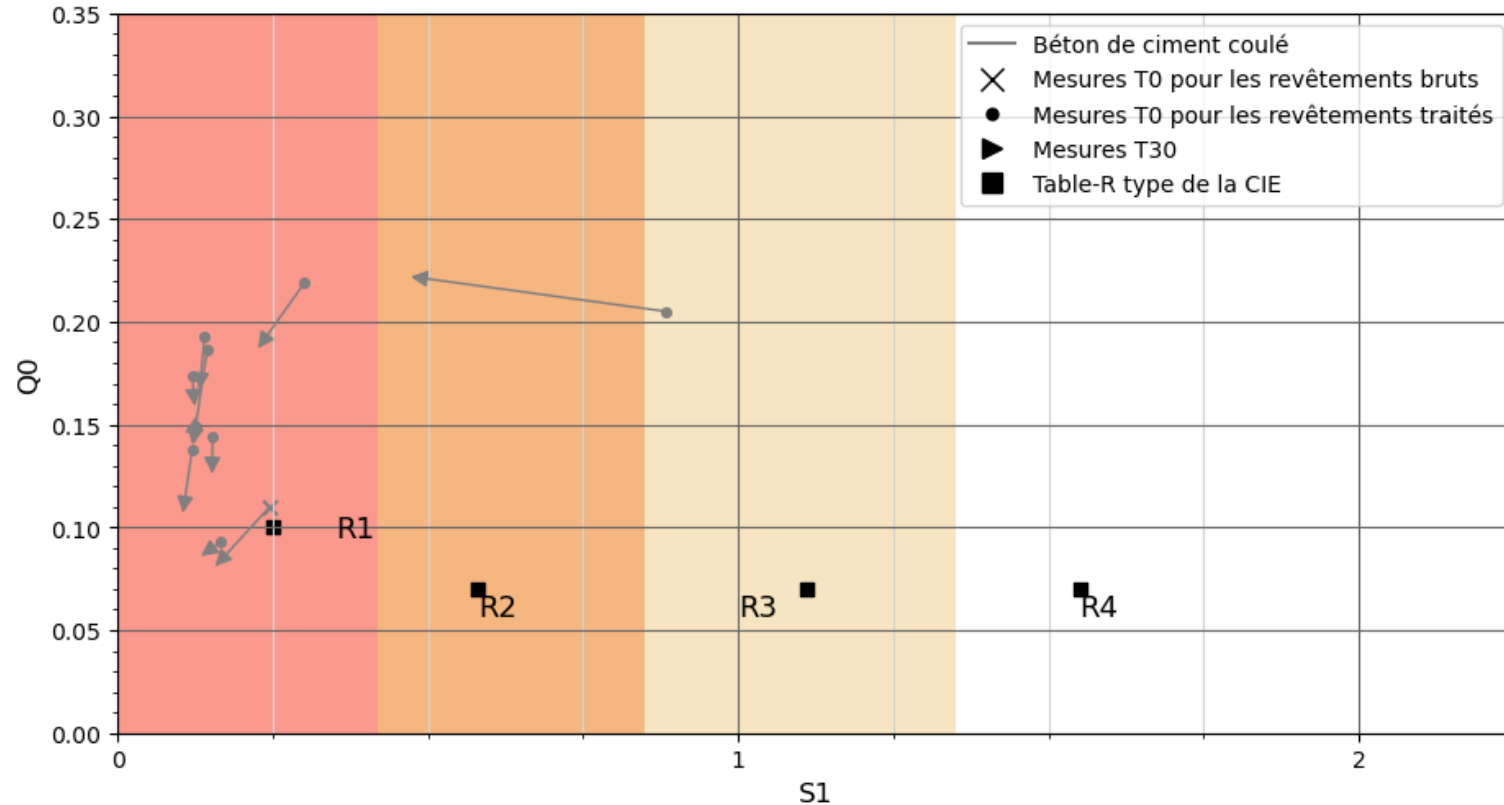
# Graphique photométrique échantillons Asphaltes



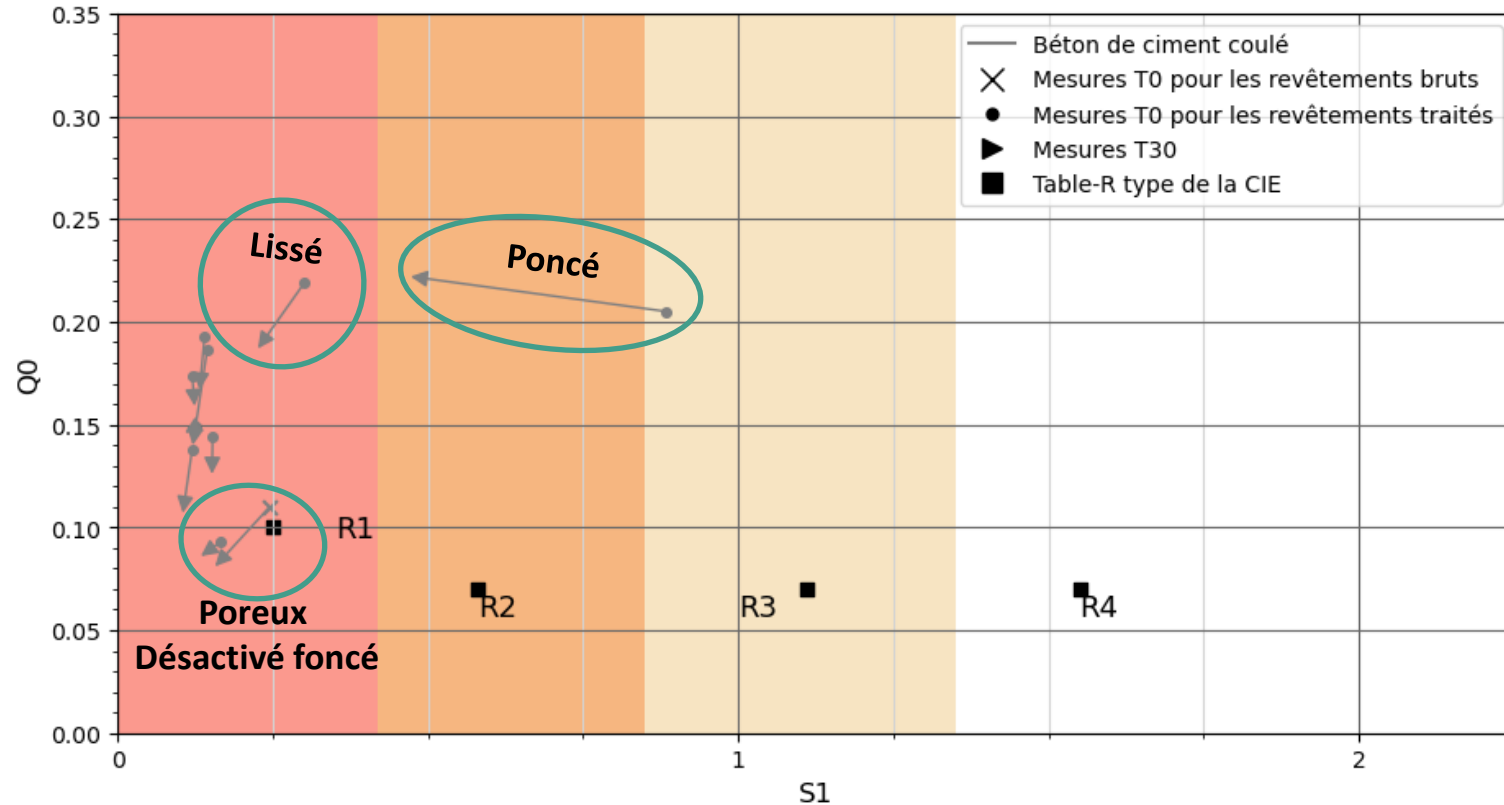
# Graphique photométrique Bétons coulés



# Graphique photométrique Bétons coulés

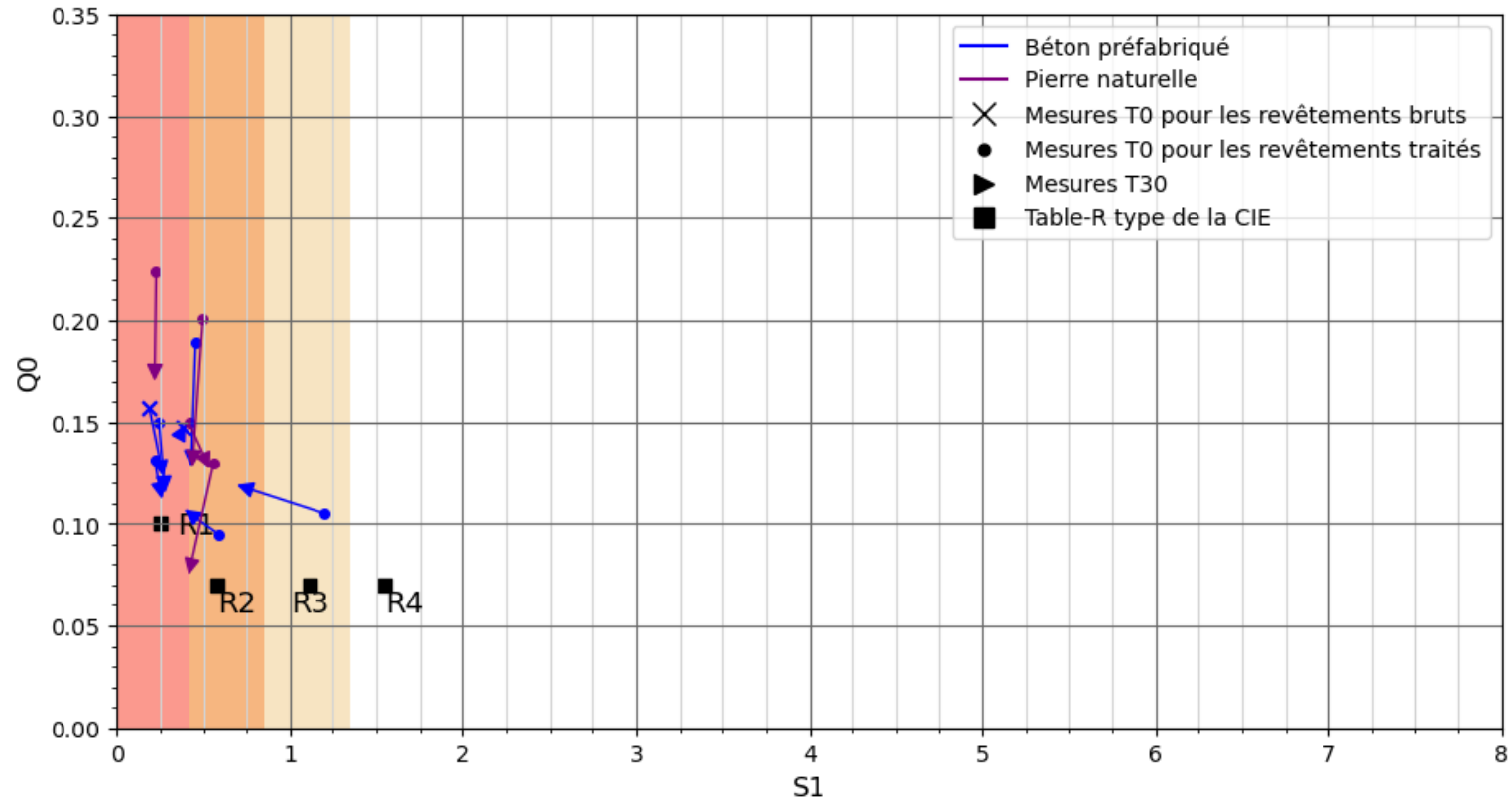


# Graphique photométrique Bétons coulés

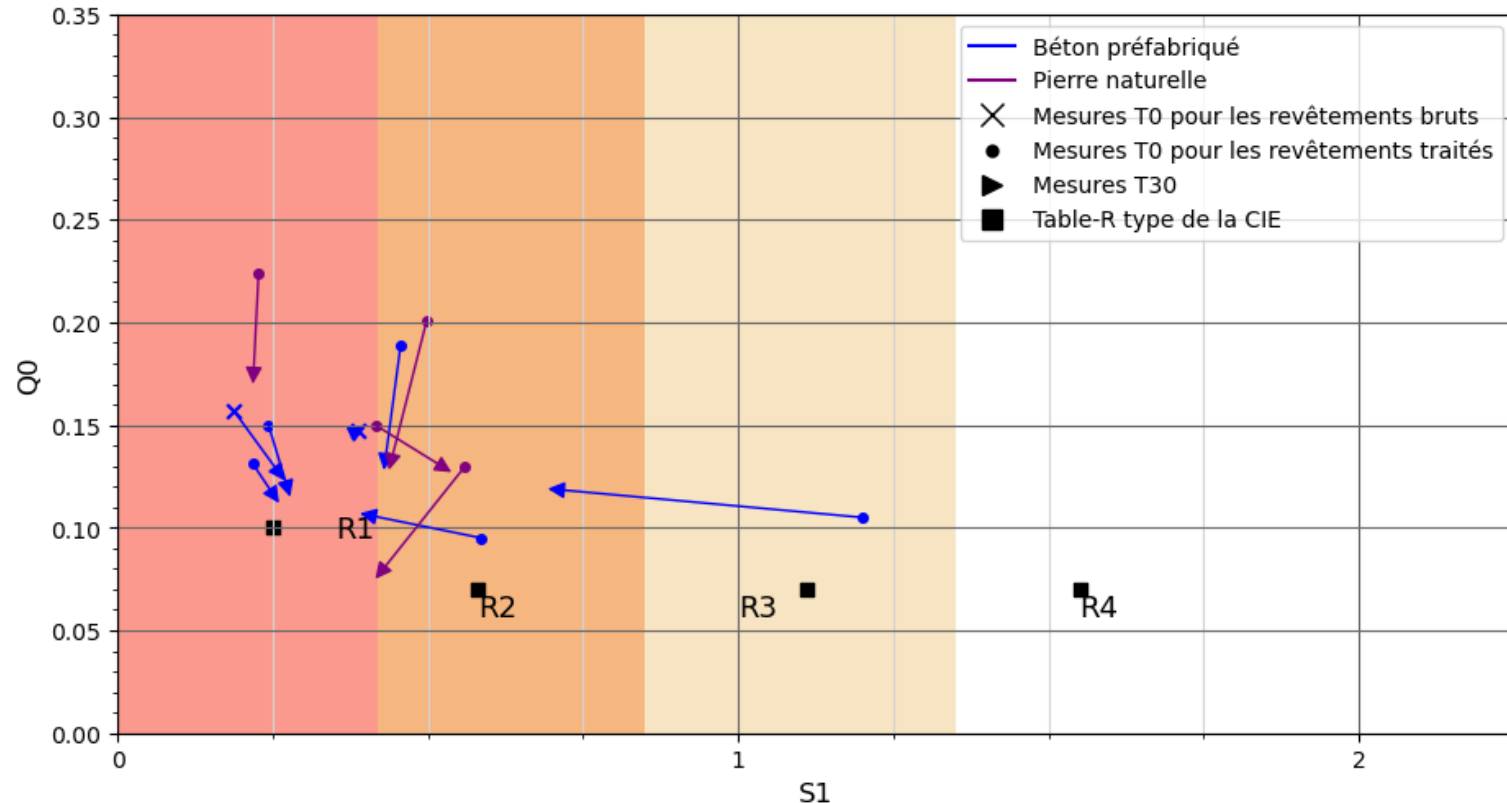


# Graphique photométrique

## Bétons préfabriqués & Pierres naturelles



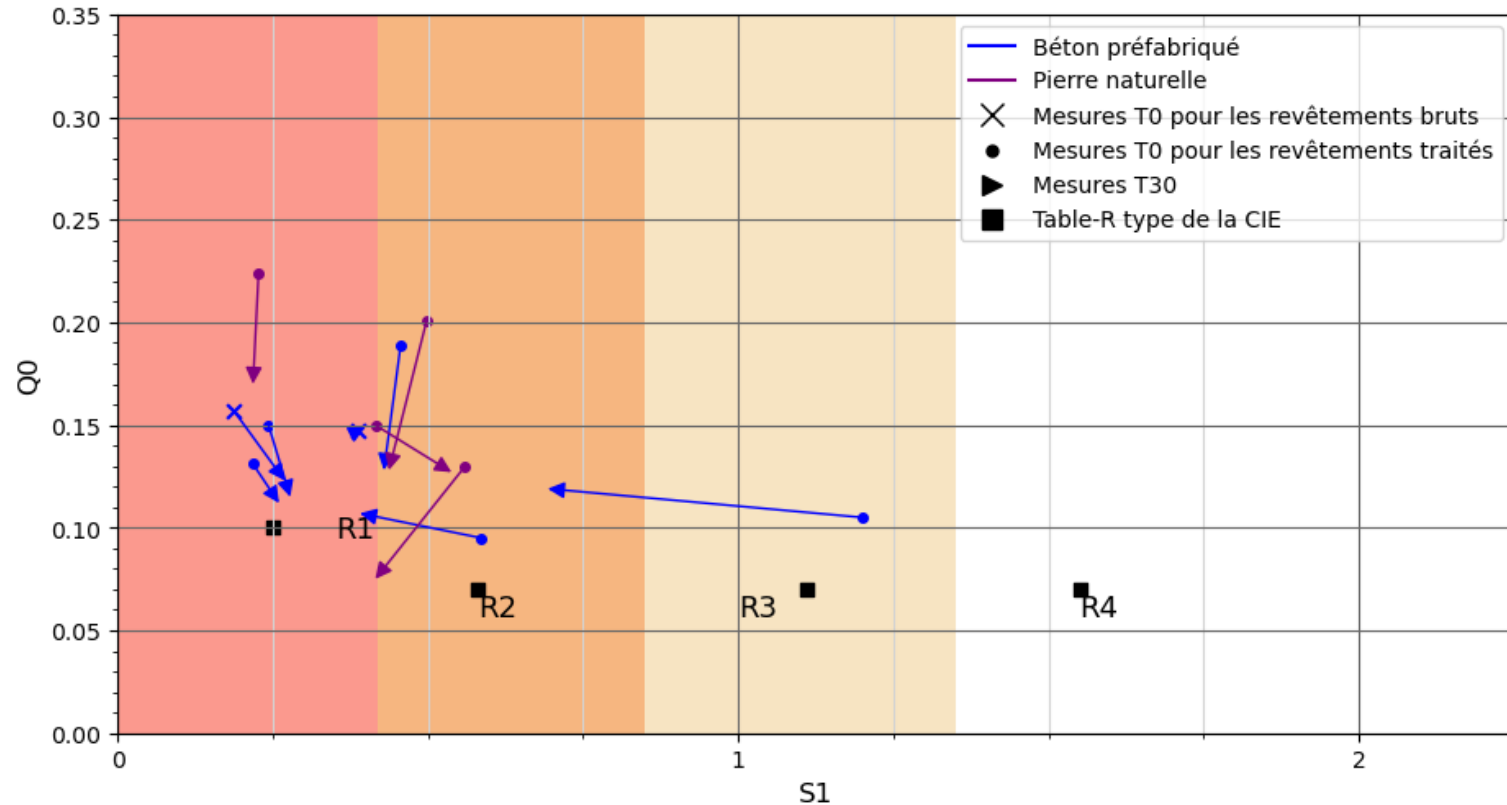
# Graphique photométrique Bétons préfabriqués & Pierres naturelles





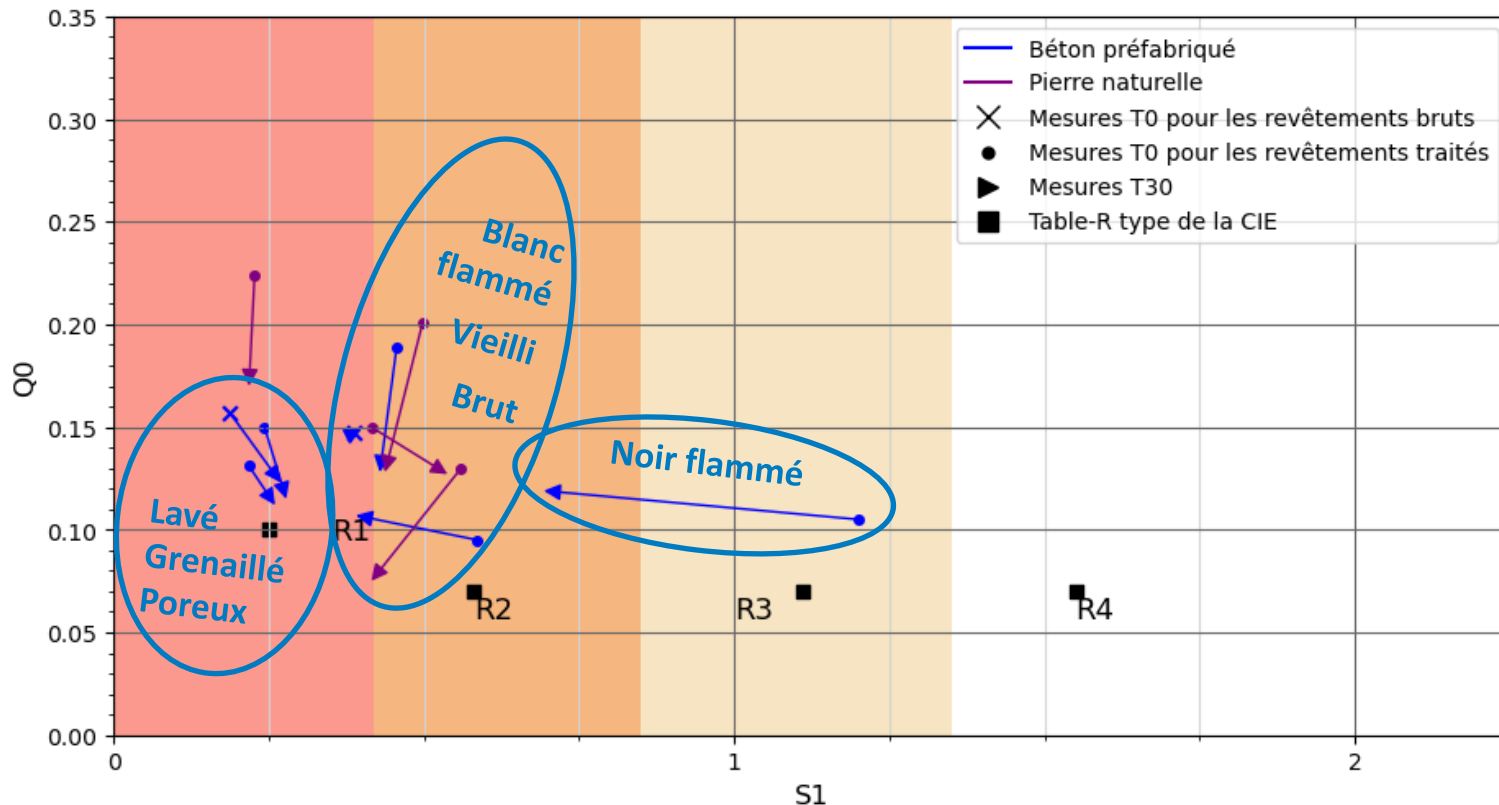
# Graphique photométrique

## Bétons préfabriqués & Pierres naturelles



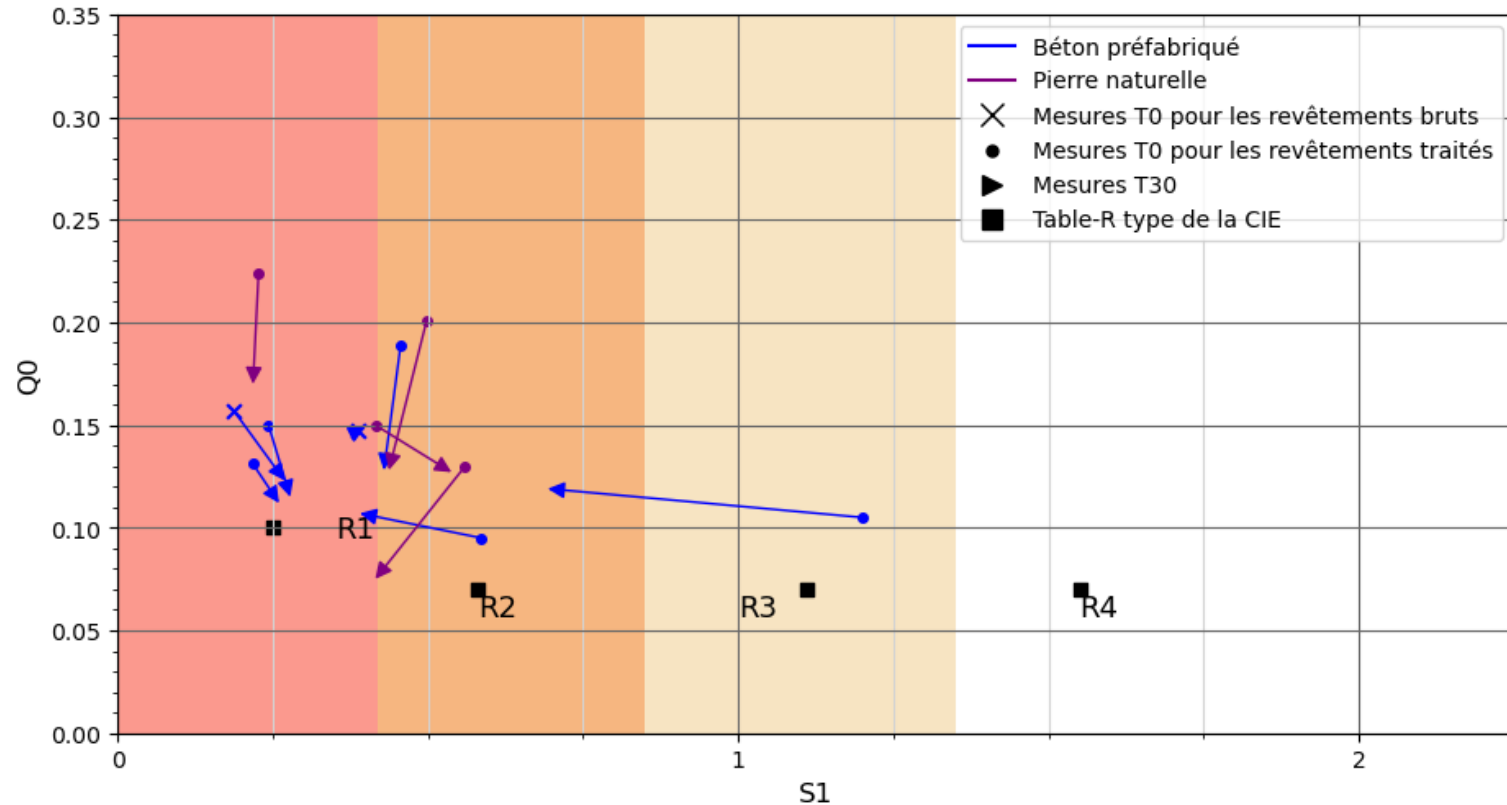
# Graphique photométrique

## Bétons préfabriqués & Pierres naturelles



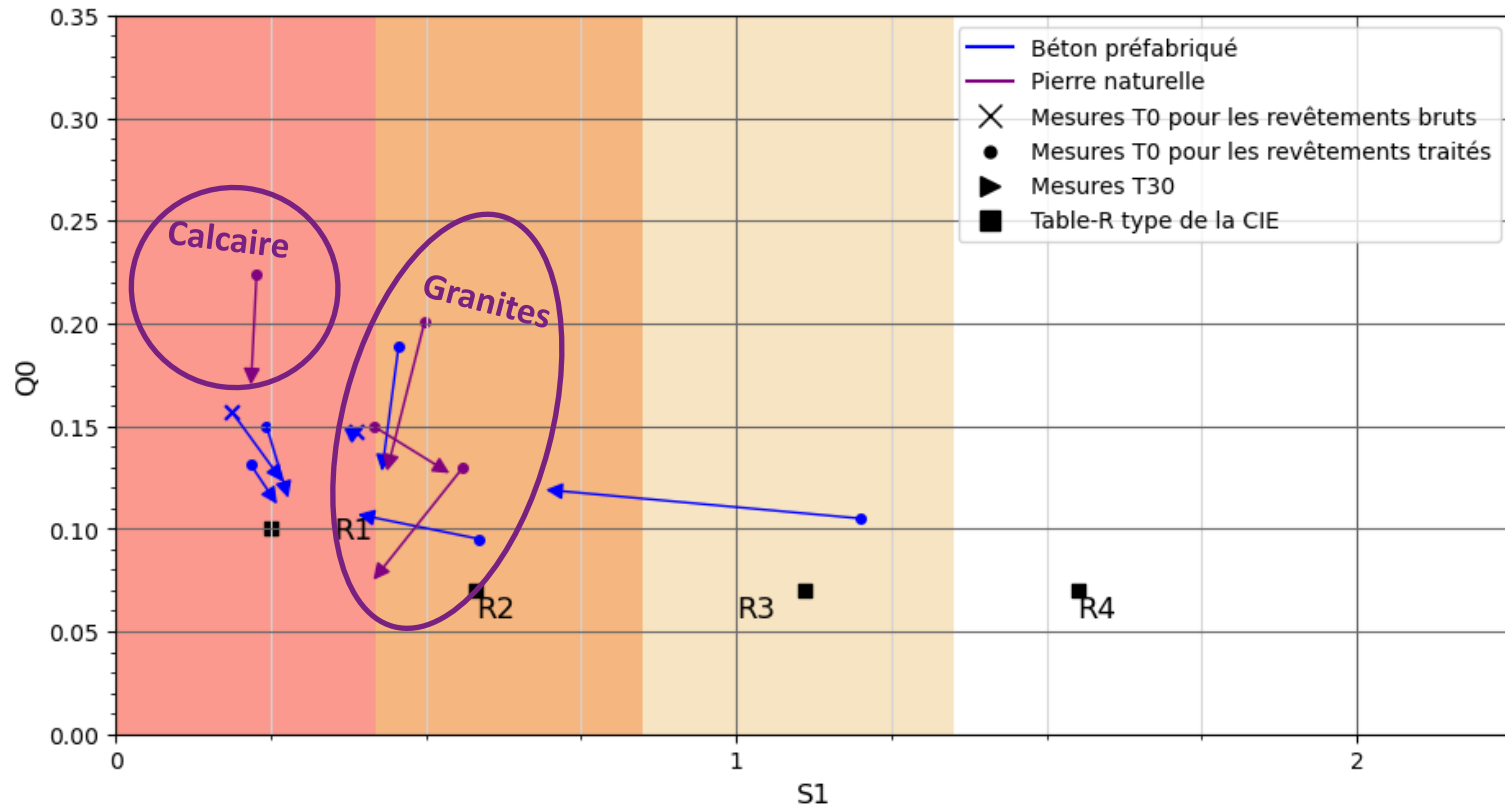
# Graphique photométrique

## Bétons préfabriqués & Pierres naturelles



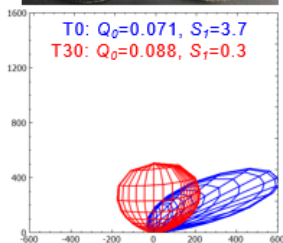
# Graphique photométrique

## Bétons préfabriqués & Pierres naturelles

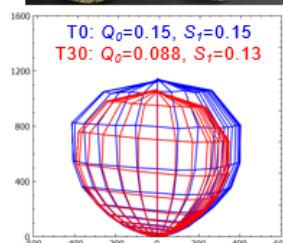


# Résultats : focus 7 revêtements granulats clairs

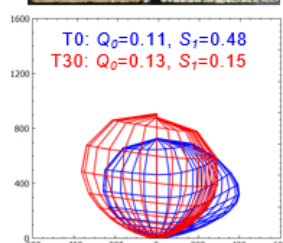
Revêtement bitumineux brut



Revêtement bitumineux sablé

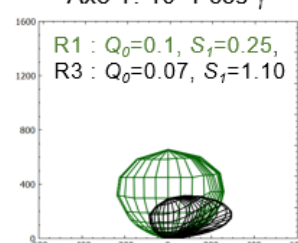


Revêtement brut à liant de synthèse

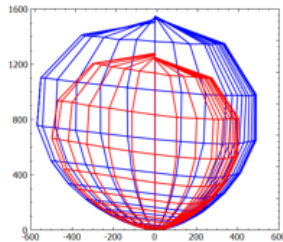


Tables-r types de la CIE

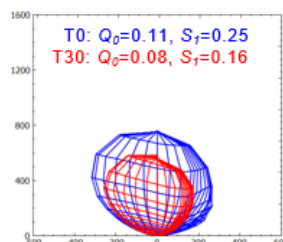
Axe X:  $10^4 r \sin \gamma \cos \beta$   
Axe Y:  $10^4 r \cos \gamma$



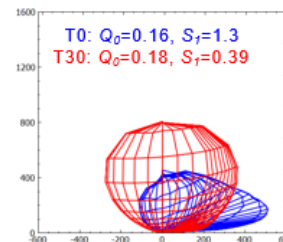
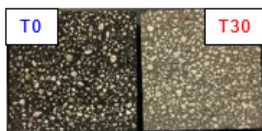
Béton bouchardé



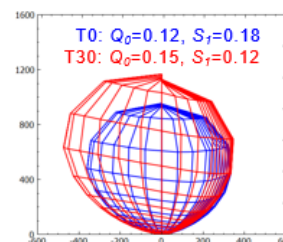
Béton drainant



Asphalte de trottoir bitumineux, grenailé



Asphalte de trottoir synthétique, grenailé



# Les apports d'un dimensionnement d'éclairage qui prend en compte le revêtement

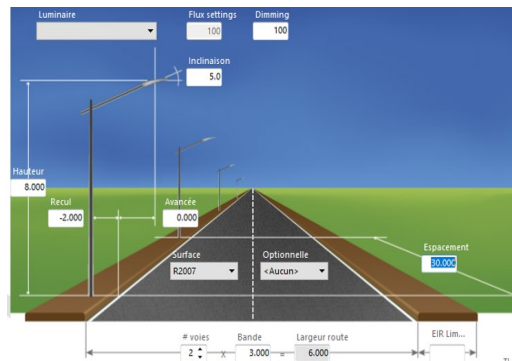
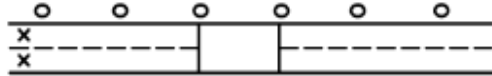
# 04

- Méthodologie utilisée  
Profil de route et cas d'usages
- Les résultats obtenus

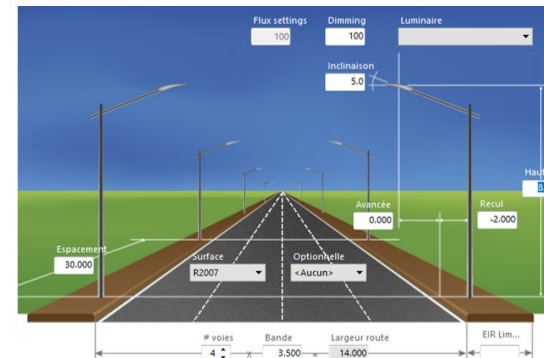
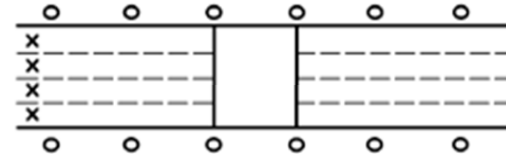
- **Les profils de route considérés dans les simulations**

## FOCUS

**Une rue résidentielle**  
avec 2 voies et un éclairage unilatéral



**Un boulevard urbain**  
avec 4 voies et un éclairage bilatéral





- **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**

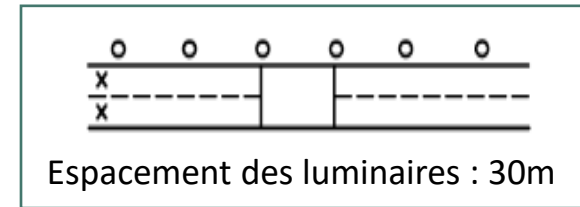
4. Dimensionnement en luminance avec les revêtements stabilisés et une optimisation du nombre de luminaire

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

- **Travaux de rénovations : passage à un éclairage à LED avec une géométrie imposée (espacement de 30m)**

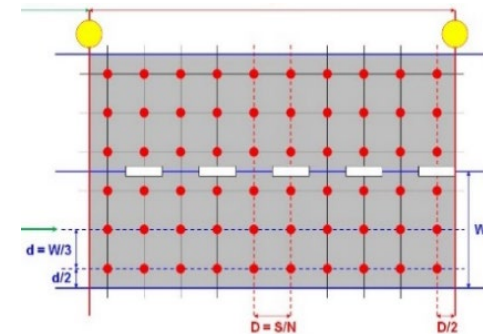
## Application à une rue résidentielle

- Classe en éclairage C4 soit
  - Eclairage moyen :  $E_{moy} \geq 10$  lux,
  - Uniformité en éclairage :  $U_0 \geq 40\%$



Quel est l'impact des revêtements en place (stabilisés) sur la perception des usagers (en luminance) ?

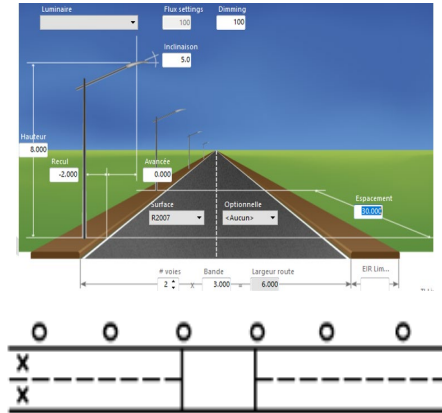
- Classe en luminance M4
  - Luminance moyenne :  $L_{moy} \geq 0.75$  cd/m<sup>2</sup>,
  - Uniformités :  $U_0 \geq 40\%$ ,  $U_1 \geq 60\%$



## Qualité de l'installation d'éclairage

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

## • Résultats pour une rue résidentielle



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

Quid conformité en luminance pour la classe M4 ?


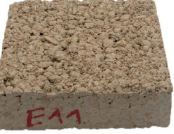


- Luminance moyenne :  $L_{moy} \geq 0.75 \text{ cd/m}^2$ ,
- Uniformités :  $U_0 \geq 40\%$ ,  $U_1 \geq 60\%$

Revêtement	Critères de Luminance					Conforme	Analyse
	Q0	S1	Lmoy	Uo	UI		
table type CIE R1	0.1	0.25	1.0	58.1	62.9		Ras
table type CIE R3	0.07	0.11	0.7	45.9	81.8		Limite en luminance

### Qualité de l'installation d'éclairage

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

## • Résultats pour une rue résidentielle

Revêtement T30	Photo	Q0	S1	Critères de Luminance			Conforme	Analyse
				Lmoy	Uo	U1		
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%)

Qualité de l'installation d'éclairage, classe M4 :  $L_{moy} \geq 0.75 \text{ cd/m}^2$ ,  $U_0 \geq 40\%$ ,  $U_1 \geq 60\%$



Norme respectée



Non-conformité modérée  $\leq 10\%$



Non-conformité importante  $> 10\%$

# Résultats pour la rue résidentielle



- CAS 2: Dimensionnement classique avec un revêtement type R3 ou R1

## 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

## Choix d'un luminaire optimal avec un revêtement type R1 puis

- Vérification de la qualité de l'éclairage avec le revêtement mesuré à l'état neuf et à l'état stabilisé

				Cas 1, dimensionnement classique, espacement 30m			
No éch	Teinte granulat	Finition surface	Liant	Etat Neuf T0		Etat Stabilisé T30	
				R3	R1	R3	R1

## Qualité de l'installation d'éclairage



Norme respectée



Non-conformité modérée  $\leq 10\%$



Non-conformité importante  $> 10\%$

# Résultats pour la rue résidentielle



- CAS 2: Dimensionnement classique avec un revêtement type R3 ou R1

## Qualité de l'éclairage

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

				Cas 1, dimensionnement classique, espacement 30m				
Enrobés	No éch	Teinte granulats	Finition surface	Liant	Etat Neuf T0		Etat Stabilisé T30	
					R3	R1	R3	R1
					1	F	-	B
2	Cl	Sab	B	U1	L	U1	U1	
3	Cl	-	B	U0, U1	L, U0, U1	U1	L	
4	Cl	Sab	B	U1	U1	U1	U1	
5	Cl	-	B	U0,U1	U1	U1	U1	
6	Cl	Sab	B	U1	L, U0, U1	U1	U0, U1	
7	Cl	-	B	U1	L, U0, U1	U1	L	
9	Cl	-	S		L	U1	U1	
10	Cl	-	S		L, U0	U1	U1	
11	CIT	-	S			U1	U1	
12	CIT	-	S				U1	

				Cas 1, dimensionnement classique, espacement 30m				
Bétons coulés	No éch	Teinte granulats	Finition surface	Liant	Etat Neuf T0		Etat Stabilisé T30	
					R3	R1	R3	R1
					1	Cl	Ba	C
2	Cl	Li	C	U1	U1	U1	U1	
3	F	Des	C	U1	L, U1	U1	L, U1	
4	Cl	Des	C	U1	U1	U1	U1	
5	F	Bo	C	U1	U1	U1	U1	
6	Cl	Bo	C	U1	U1	U1	U1	
7	Cl	Po	C	U0, U1	U0, U1			
8	F	Sab	C	U1	U1	U1	U1	
9	Cl	Sab	C	U1	U1	U1	U1	
10	Cl	-	C			U1	L, U1	



# Résultats pour la rue résidentielle



- CAS 2: Dimensionnement classique avec un revêtement type R3

					Cas 1, dimensionnement classique, espacement 30m			
	No éch	Teinte granulats	Finition surface	Liant	Etat Neuf T0		Etat Stabilisé T30	
					R3	R1	R3	R1
					Asphaltes	1	Cl	-
2	Cl	Gr	B					
3	Cl	Po	B	UI		UI		
4	Cl	-	S	U0, UI		U0, UI	UI	
5	Cl	Gr	S	UI		UI	UI	UI
6	Cl	Po	S				UI	UI
Bétons préfa.	1	Cl	-	C				
	2	Cl	La	C	UI	UI	UI	
	3	Cl	Gr	C	UI	UI	UI	
	4	F	Vi	C		UI		
	5	Cl	-	C	UI	UI	UI	
	6	Cl	Fl	C				
	7	Cl	Fl	C				
Pierre nat.	1	Cl	Fl	-	UI	UI	UI	UI
	2	F	Fl	-				L
	3	F	Fl	-				
	4	Cl	Fl	-				

## Qualité de l'éclairage

- Norme respectée
- Non-conformité modérée ≤10%
- Non-conformité importante >10%

- CAS 2: Dimensionnement classique avec un revêtement type R3
  - 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.
  - **Pour le profil de boulevard urbain, la conformité par rapport à la norme n'est assurée que dans 3 % des cas avec un revêtement R3.**
  - 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 (à T30) pour une géométrie imposée à 30m de distance entre luminaires
  - ⇒ changement des lampes sans modifier les luminaires, 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

**=> Présentation du gain en puissance par km en %**

# Résultats pour la rue résidentielle



- 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%
	10	Cl	-	C	-26%

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%
	7	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 et donc du nombre de luminaires

## **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**, tout 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 de 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).

1

## Introduction, enjeux de l'éclairage public aujourd'hui

- Sophie Banette (AITF/Montpellier Métropole)

2

## Photométrie des revêtements, pratiques actuelles des calculs d'éclairage

- Valérie Muzet (Cerema, ENDSUM Strasbourg)

3

## Une bibliothèque de revêtements urbains caractérisée

- Jérôme Dherbecourt (Routes de France) et Cédric Le Gouil (France Ciment)

4

## Les apports d'un dimensionnement d'éclairage qui prend en compte le revêtement

- Valérie Muzet (Cerema, ENDSUM Strasbourg)

5

## Les livrables du groupe

- Sophie Banette (AITF/Montpellier Métropole)

6

## Perspectives, éclairage de demain

- Laure Lebouc et Florian Greffier (Cerema, EL Angers)



# Les livrables du groupe

# 05

- À venir
  - Le livrable complet IDRRIM/CEREMA/AFE/AITF
  - Les fiches
- Déjà disponible
  - La plaquette (2012)
  - Une synthèse visuelle de la démarche
  - Le congrès de l'IDRRIM 2024, atelier et articles
- Pour s'emparer du sujet

# Le livrable complet IDRRIM/CEREMA/AFE/AITF

## En 2025

Bibliothèque de revêtements

Tutoriel d'aide à l'utilisation des fiches et à l'intégration de la démarche dans les marchés

Outils méthodologiques de dimensionnement d'éclairage

## 1 BÉTON BOUCHARDÉ

**Type : Béton coulé bouchardé**

Liant ciment (CEMIII)  
Granulats 0/14 clairs,  
Traitement : bouchardé

T0 : état initial (en vert)

T30 : état stabilisé à 30 mois  
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 = $0.22 \text{ cd.m}^{-2}.\text{lx}^{-1}$ Spécularité S1 = 0.13 Très diffusant	Clarté Q0 = $0.17 \text{ cd.m}^{-2}.\text{lx}^{-1}$ Spécularité S1 = 0.13 Très diffusant

ASPECTS ÉNERGÉTIQUES POUR LES REVÊTEMENTS STABILISÉS

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

### Compléments

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

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

## BÉTON BOUCHARDÉ 1

**Type : Béton coulé bouchardé**

Liant ciment (CEMIII)  
Granulats 0/14 clairs,  
Traitement : bouchardé

T0 : état initial (en vert)

T30 : état stabilisé à 30 mois  
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

# La plaquette (2012)

## Les principes de la démarche

Les acteurs

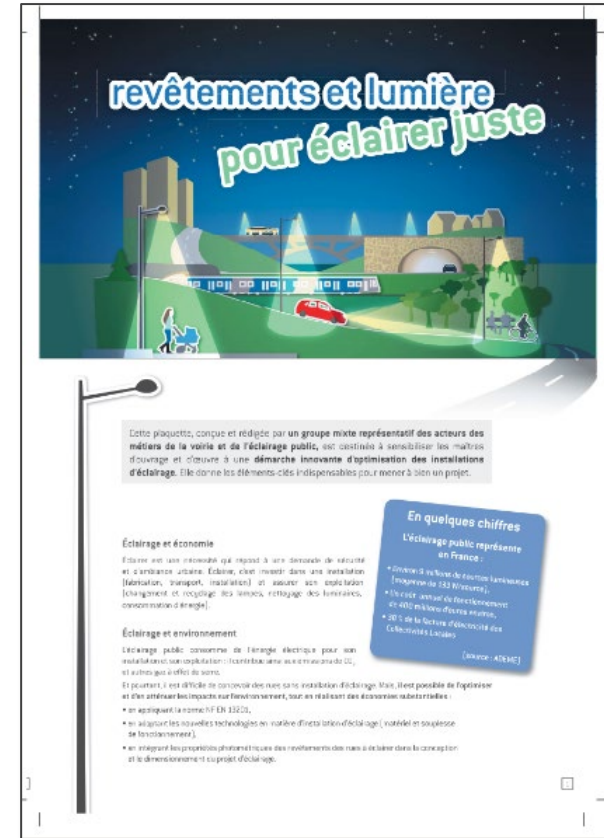
Les principes de la norme et les notions de référence

Les premiers éléments de mise en œuvre de la démarche

2 exemples d'application de la démarche aux tunnels

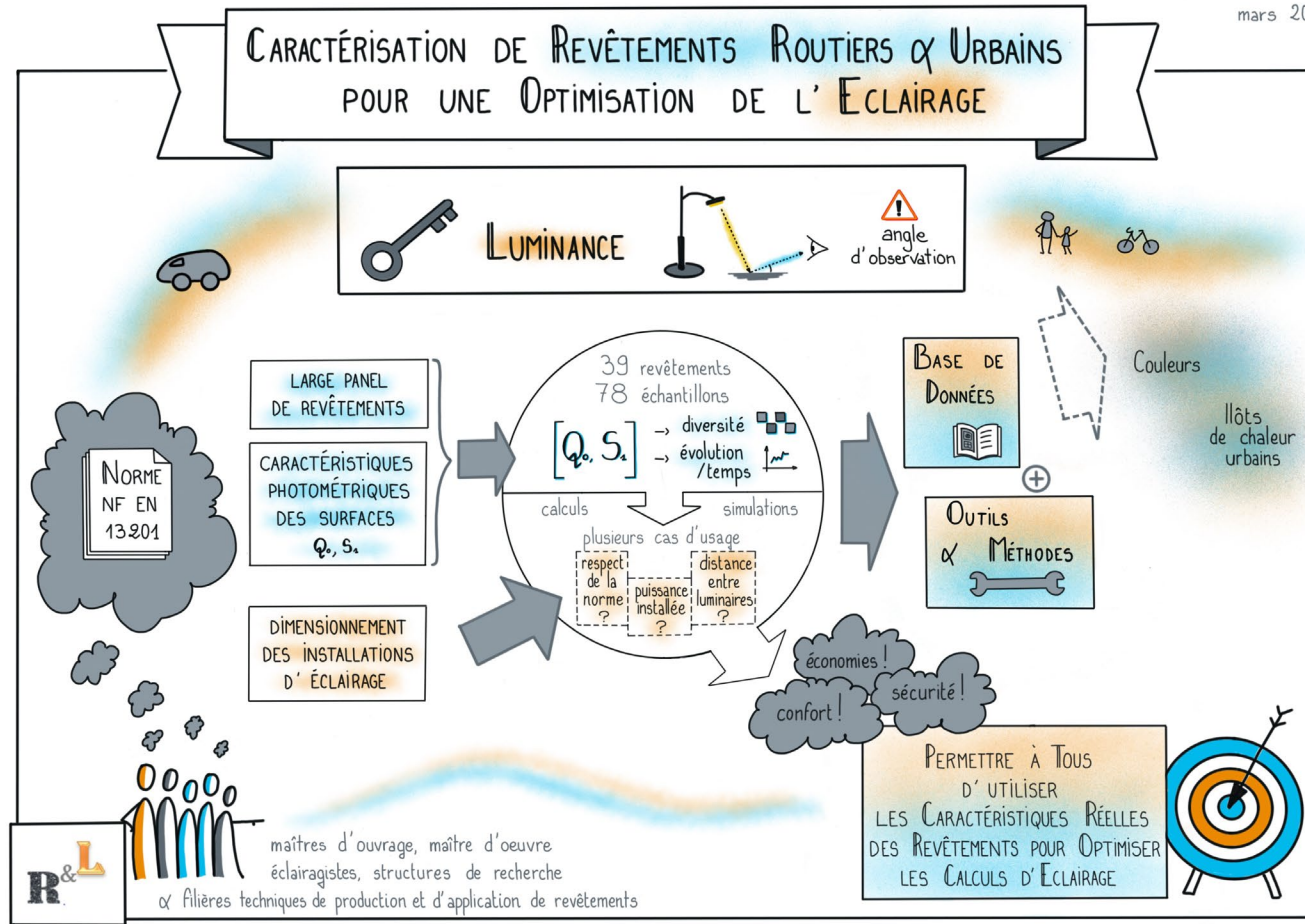
Les premières fiches envisagées pour la bibliothèque

**Disponible aujourd'hui !**



# Une synthèse visuelle de la démarche

mars 2024



**Disponible aujourd'hui !**

# Le congrès de l'IDRRIM 2024

## L'état actuel de nos travaux

L'article RGRA -> Focus voirie

**Disponible aujourd'hui !**

Le diaporama de l'atelier

L'article LUX -> Focus éclairage

**Disponible très prochainement !**





# Pour s'emparer du sujet

Consulter les  
documents  
disponibles  
en 2024

Mener une réflexion  
générale sur vos pratiques  
en terme de projets  
d'aménagement et de  
dimensionnement  
d'éclairage

Sélectionner un premier  
projet permettant une  
mise en application de la  
démarche ?

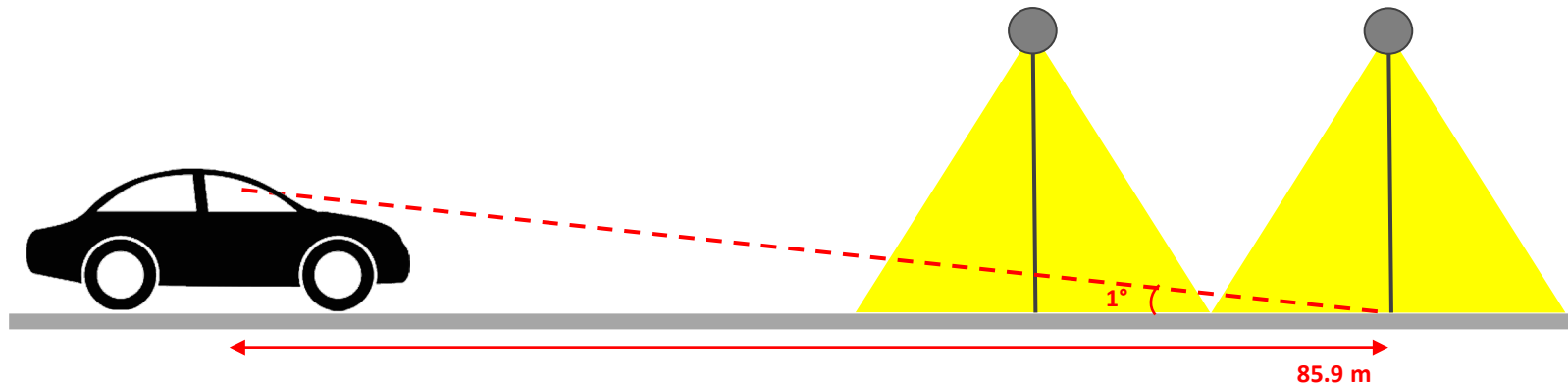
Intégrer  
la démarche  
dans les documents  
contractuels du  
projet quand le  
livrable complet  
sera disponible



# Usagers urbains

Géométrie de mesure : 1m50, angle d'observation à  $1^\circ$

- Adaptée à la conduite interurbaine (entre 70 et 90 km/h)



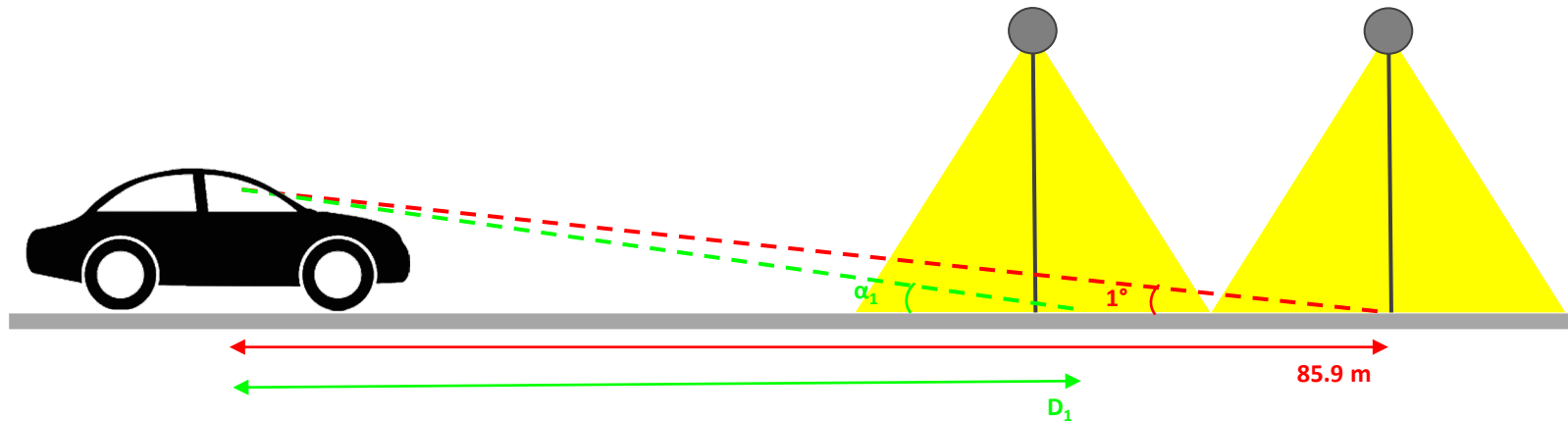
# Usagers urbains

Géométrie de mesure : 1m50, angle d'observation à  $1^\circ$

- Adaptée à la conduite interurbaine (entre 70 et 90 km/h)

En ville, vitesse entre 30 et 50 km/h

- Distance d'observation diminue  $\rightarrow$  angle augmente



# Usagers urbains

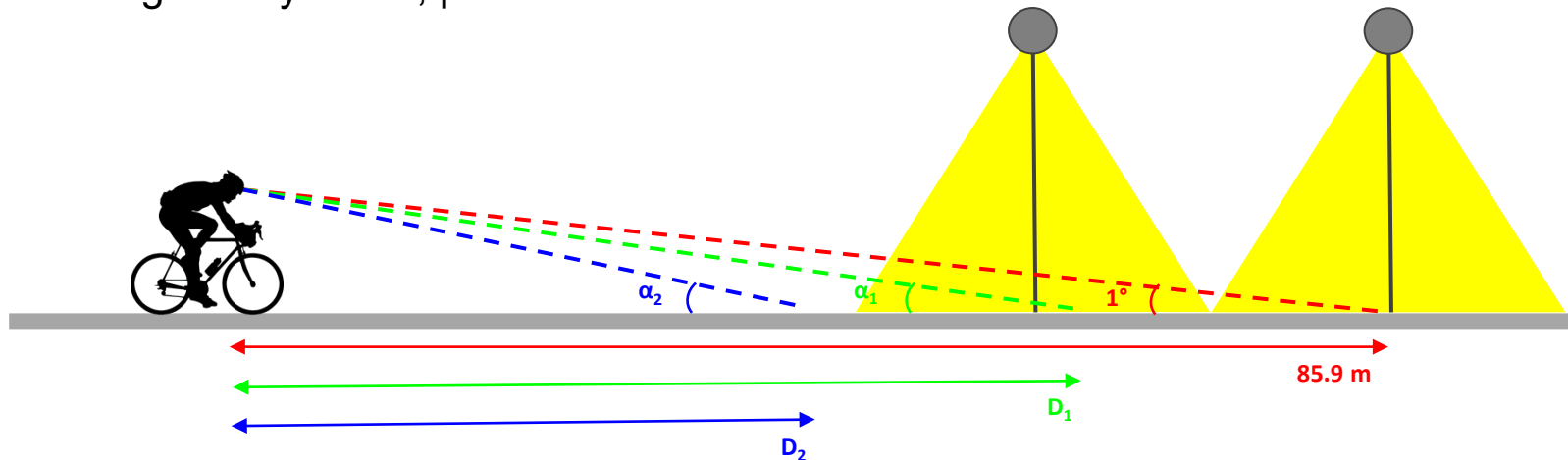
Géométrie de mesure : 1m50, angle d'observation à  $1^\circ$

- Adaptée à la conduite interurbaine (entre 70 et 90 km/h)

En ville, vitesse entre 30 et 50 km/h

- Distance d'observation diminue  $\rightarrow$  angle augmente

Autres usagers : cyclistes, piétons



# Usagers urbains

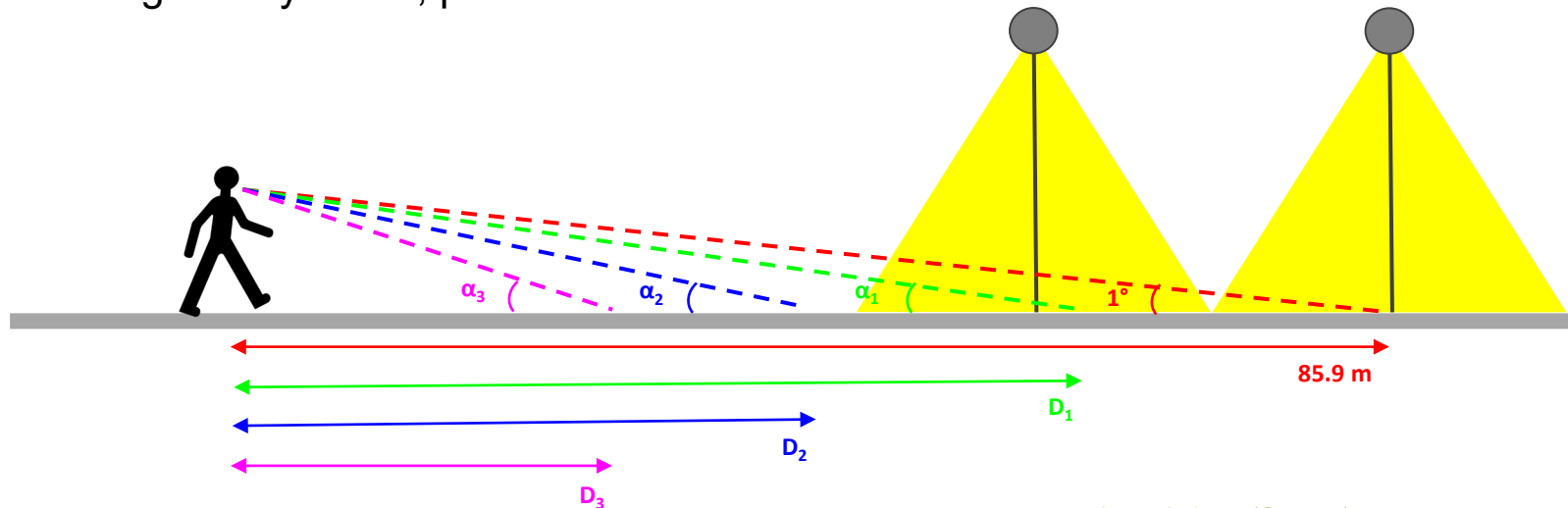
Géométrie de mesure : 1m50, angle d'observation à  $1^\circ$

- Adaptée à la conduite interurbaine (entre 70 et 90 km/h)

En ville, vitesse entre 30 et 50 km/h

- Distance d'observation diminue  $\rightarrow$  angle augmente

Autres usagers : cyclistes, piétons





# Usagers urbains

## Expérimentation en réalité virtuelle

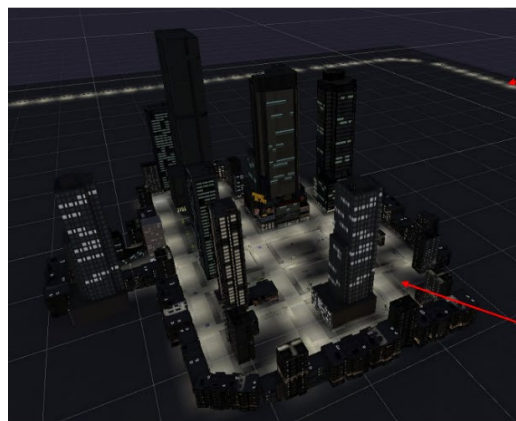
45 participants (38 hommes, 7 femmes, âgés de 15 à 61 ans)

Environnement virtuel sous Unity 3D

Casque immersif avec oculomètre

4 modalités de déplacement :

- Conduite interurbaine à 75 km/h
- Conduite urbaine à 25 km/h
- Cyclisme à 12 km/h
- Marche à 6 km/h



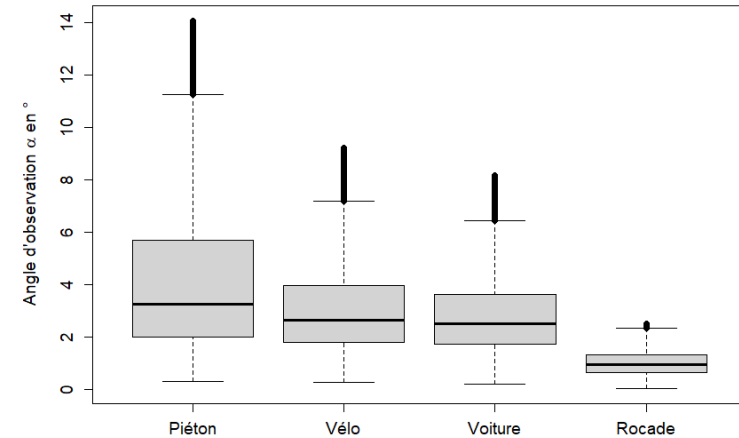
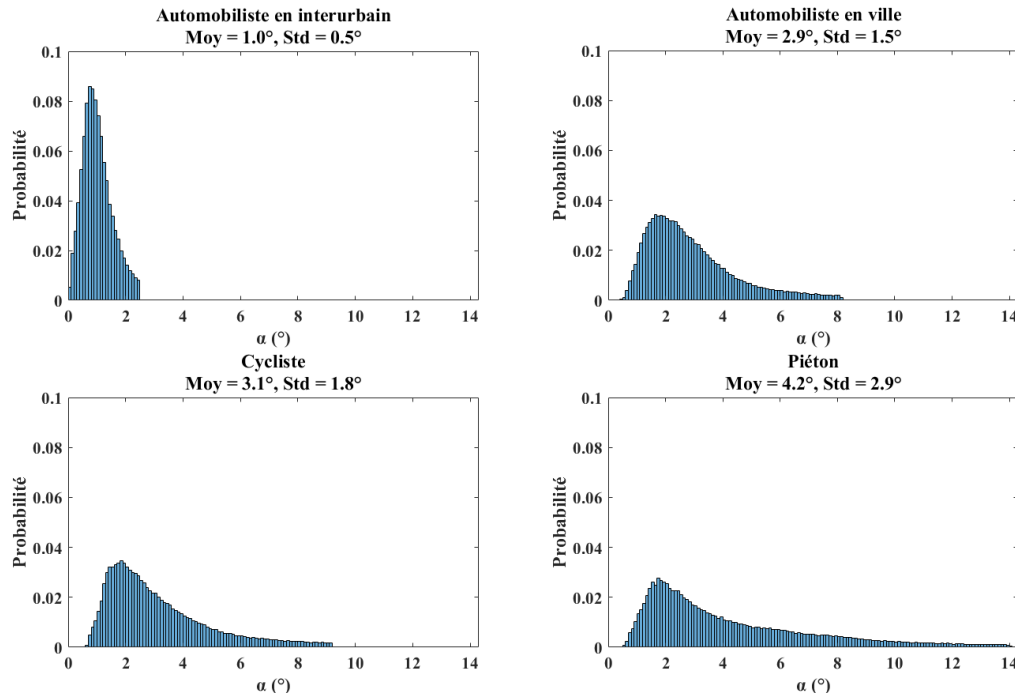
Lebouc, L., Boucher, V., Greffier, F., Nicolai, A. & Richard, P. 2023. Exploratory study to define new observation geometries for road lighting design. In *Proceedings of 30th Quadrennial Session of the CIE*. International Commission on Illumination, Ljubljana, Slovenia

Caractérisation de revêtements routiers et urbains pour une optimisation de l'éclairage

Laure Lebouc (Cerema)  
Florian Greffier (Cerema)

# Usagers urbains

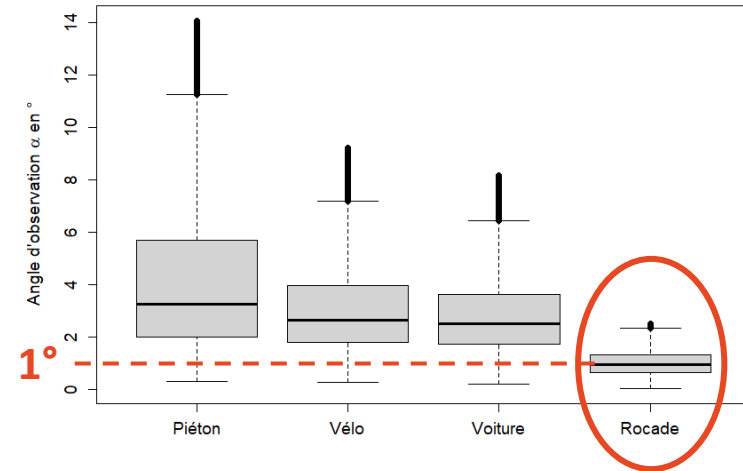
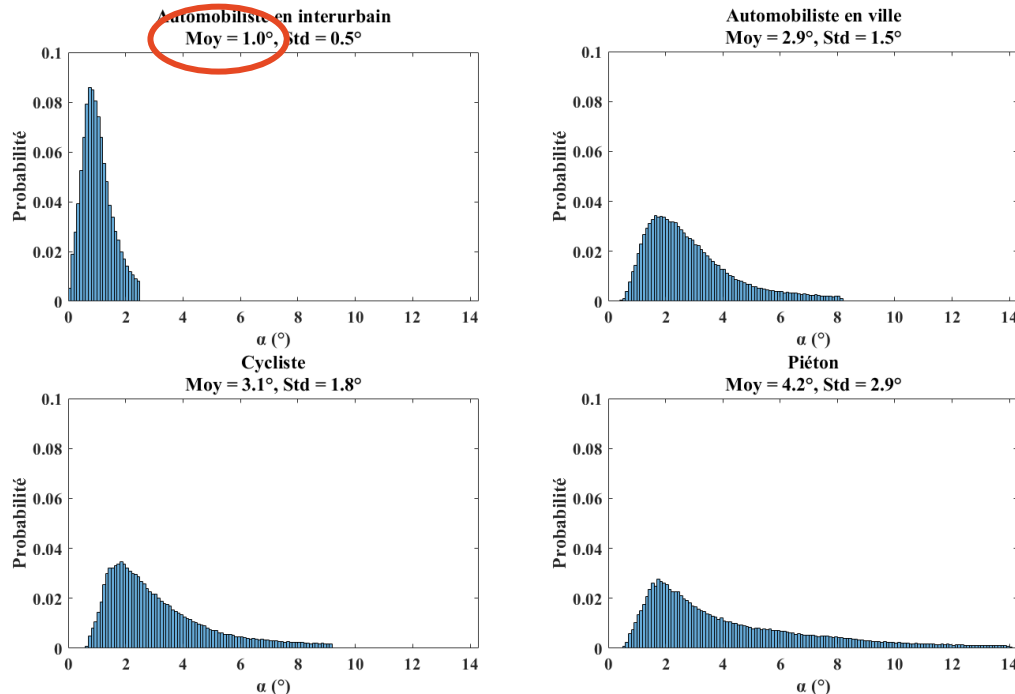
## Expérimentation en réalité virtuelle



Lebouc, L., Boucher, V., Greffier, F., Nicolai, A. & Richard, P. 2023. Exploratory study to define new observation geometries for road lighting design. In *Proceedings of 30th Quadrennial Session of the CIE*. International Commission on Illumination, Ljubljana, Slovenia

# Usagers urbains

## Expérimentation en réalité virtuelle



Lebouc, L., Boucher, V., Greffier, F., Nicolai, A. & Richard, P. 2023. Exploratory study to define new observation geometries for road lighting design. In *Proceedings of 30th Quadrennial Session of the CIE*. International Commission on Illumination, Ljubljana, Slovenia

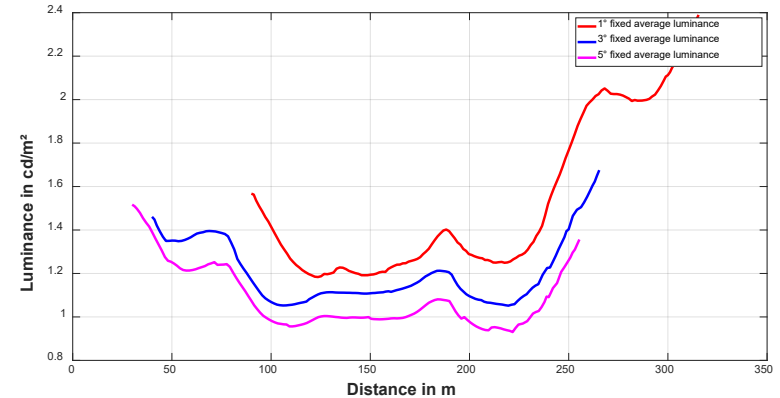
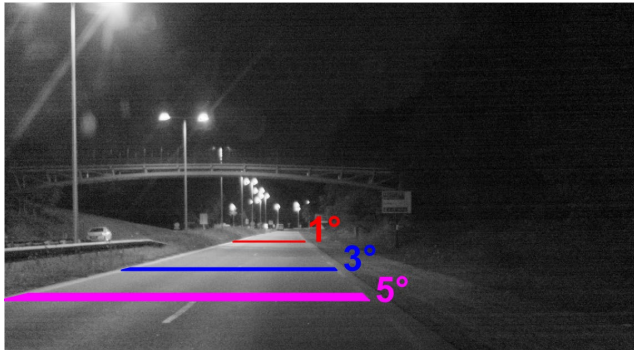
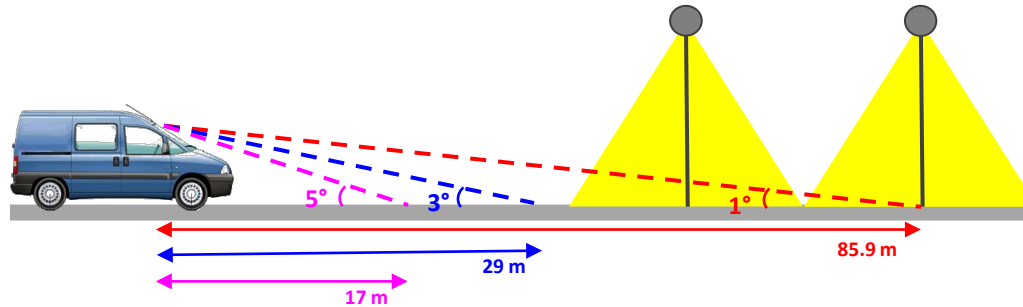
# Usagers urbains

## Nouvelles géométries d'observation

Type d'usagers	Géométrie d'observation
Véhicules motorisés en interurbain	1�
Véhicules motorisés en urbain	3�
Cyclistes	3�
Piétons	5�

# Usagers urbains

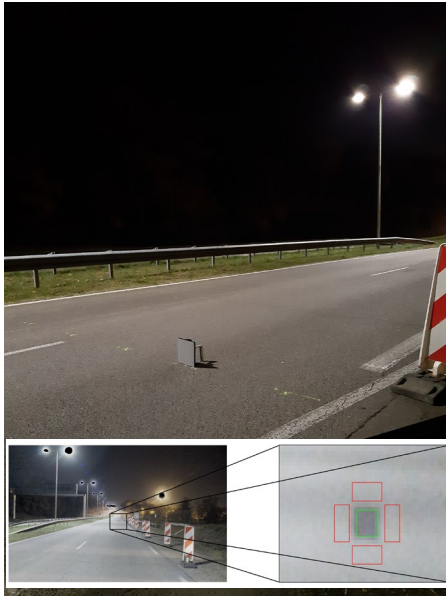
## Nouvelles géométries d'observation



Greffier, F., Muzet, V., Boucher, V., Fournela, F., Dronneau, R., 2019. Use of an imaging luminance measuring device to evaluate road lighting performance at different angles of observation, in *Proceedings of the 29th Quadrennial Session of the CIE*. International Commission on Illumination, Washington DC, USA

# Usagers urbains

## Nouvelles géométries d'observation



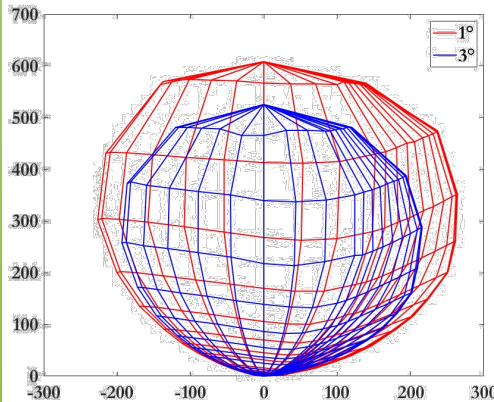
M3	Flux (en lumen)	$\alpha$	$L_{moy}$ (en $cd/m^2$ )	$U_0$	$U_l$	$f_{TI}$ (en %)	$ VL  > 7$
		5000	1°	1,00	0,44	0,72	9,6
M4	Flux (en lumen)	$\alpha$	$L_{moy}$ (en $cd/m^2$ )	$U_0$	$U_l$	$f_{TI}$ (en %)	$ VL  > 7$
		3750	1°	0,75	0,44	0,72	9,1
M5	Flux (en lumen)	$\alpha$	$L_{moy}$ (en $cd/m^2$ )	$U_0$	$U_l$	$f_{TI}$ (en %)	$ VL  > 7$
		2500	1°	0,50	0,44	0,72	8,3

Lebouc, L., Boucher, V., Greffier, F., Nicolai, A. & Richard, P. 2023. Exploratory study to define new observation geometries for road lighting design. In *Proceedings of 30th Quadrennial Session of the CIE*. International Commission on Illumination, Ljubljana, Slovenia



# Usagers urbains

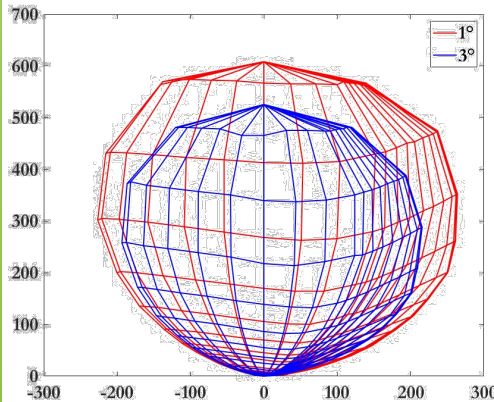
## Nouvelles géométries d'observation



M3	Flux (en lumen)	$\alpha$	$L_{moy}$ (en cd/m <sup>2</sup> )	$U_0$	$U_l$	$f_{TI}$ (en %)	$ VL  > 7$
	5000	1°	1,00	0,44	0,72	9,6	87 %
4700	3°	0,75	0,43	0,71	9,2	92 %	
M4	Flux (en lumen)	$\alpha$	$L_{moy}$ (en cd/m <sup>2</sup> )	$U_0$	$U_l$	$f_{TI}$ (en %)	$ VL  > 7$
	3750	1°	0,75	0,44	0,72	9,1	85 %
	3150	3°	0,50	0,43	0,71	8,5	87 %
M5	Flux (en lumen)	$\alpha$	$L_{moy}$ (en cd/m <sup>2</sup> )	$U_0$	$U_l$	$f_{TI}$ (en %)	$ VL  > 7$
	2500	1°	0,50	0,44	0,72	8,3	80 %
	1900	3°	0,30	0,43	0,71	7,7	80 %

# Usagers urbains

## Nouvelles géométries d'observation



	Flux (en lumen)	$\alpha$	$L_{moy}$ (en cd/m <sup>2</sup> )	$U_0$	$U_l$	$f_{TI}$ (en %)	$ VL  > 7$
M3	5000	1°	1,00	0,44	0,72	9,6	87 %
	4700 (-6%)	3°	0,75	0,43	0,71	9,2	92 %
M4	3750	1°	0,75	0,44	0,72	9,1	85 %
	3150 (-16%)	3°	0,50	0,43	0,71	8,5	87 %
M5	2500	1°	0,50	0,44	0,72	8,3	80 %
	1900 (-24%)	3°	0,30	0,43	0,71	7,7	80 %

## Adaptation des classes en urbain ?

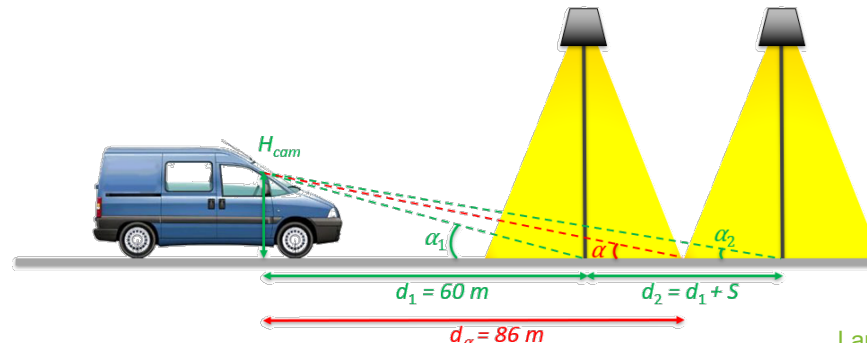
Classe	$L_{\text{moy}}$	$U_0$	$U_1$	TI
<b>M2</b>				
<b>M3</b>	1,00 cd/m <sup>2</sup>	0,40	0,60	15 %
<b>M4</b>	0,75 cd/m <sup>2</sup>	0,40	0,60	15 %
<b>M5</b>	0,50 cd/m <sup>2</sup>	0,35	0,40	15 %
<b>M6</b>	À définir			

## À l'échelle européenne

Comité Européen de Normalisation (CEN/TC 169/WG 12)

- Révision de la norme EN 13201
  - Normalisation de l'observation mobile (Annexe EN 13201-4)

Géométrie	$d_\alpha$	$d_1$	$d_2$	$\alpha_1$	$\alpha_2$
$\alpha = 1^\circ$	86 m	60 m	90 m	$1,43^\circ$	$0,95^\circ$

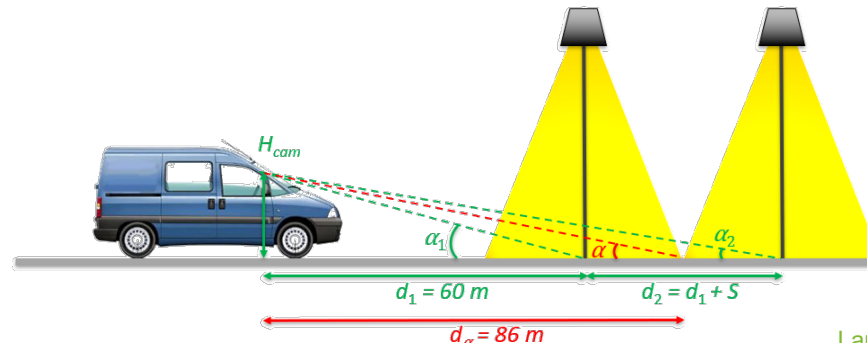


## À l'échelle européenne

Comité Européen de Normalisation (CEN/TC 169/WG 12)

- Révision de la norme EN 13201
  - Normalisation de l'observation mobile (Annexe EN 13201-4)

Géométrie	$d_\alpha$	$d_1$	$d_2$	$\alpha_1$	$\alpha_2$
$\alpha = 1^\circ$	86 m	60 m	90 m	1,43°	0,95°
$\alpha = 3^\circ$	29 m				
$\alpha = 5^\circ$	17 m				

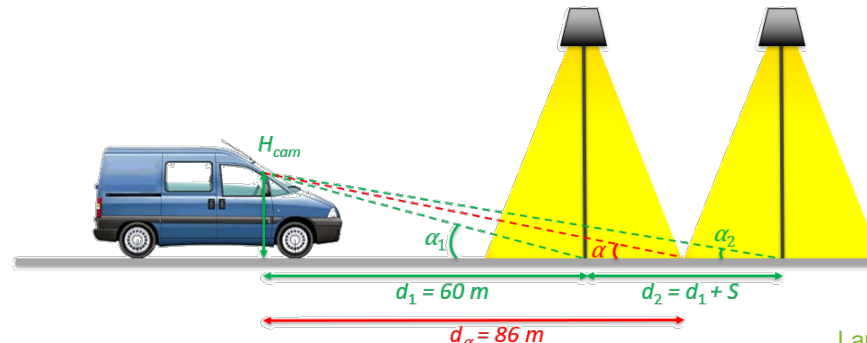


## À l'échelle européenne

Comité Européen de Normalisation (CEN/TC 169/WG 12)

- Révision de la norme EN 13201
  - Normalisation de l'observation mobile (Annexe EN 13201-4)

Géométrie	$d_\alpha$	$d_1$	$d_2$	$\alpha_1$	$\alpha_2$
$\alpha = 1^\circ$	86 m	60 m	90 m	1,43°	0,95°
$\alpha = 3^\circ$	29 m				
$\alpha = 5^\circ$	17 m				

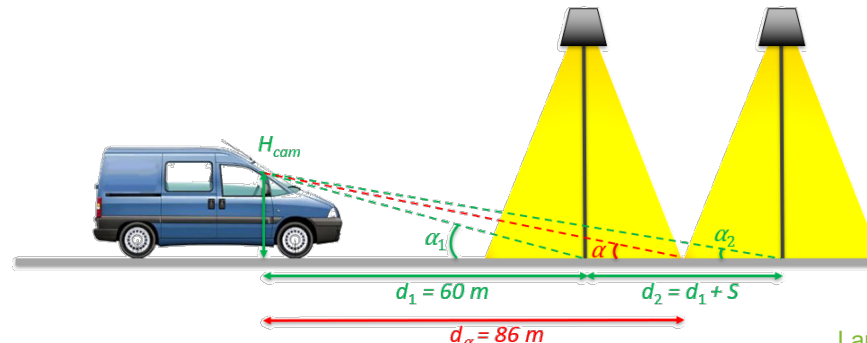


## À l'échelle européenne

Comité Européen de Normalisation (CEN/TC 169/WG 12)

- Révision de la norme EN 13201
  - Normalisation de l'observation mobile (Annexe EN 13201-4)

Géométrie	$d_\alpha$	$d_1$	$d_2$	$\alpha_1$	$\alpha_2$
$\alpha = 1^\circ$	86 m	60 m	90 m	1,43°	0,95°
$\alpha = 3^\circ$	29 m	14 m	44 m	6,11°	1,95°
$\alpha = 5^\circ$	17 m	2 m	32 m	36,87°	2,68°



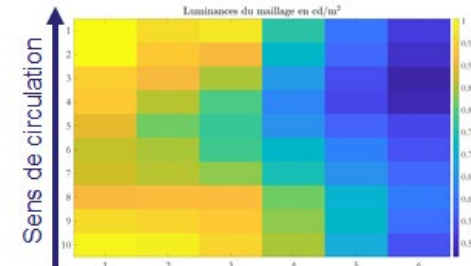
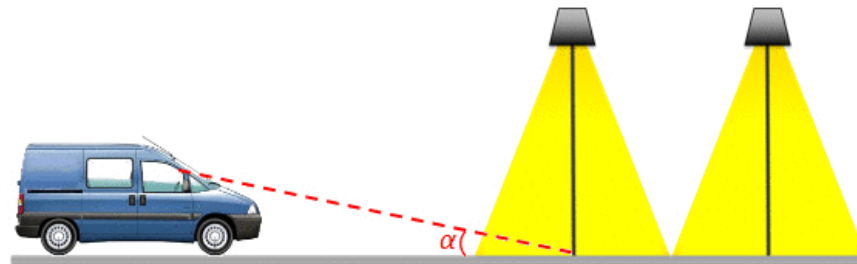
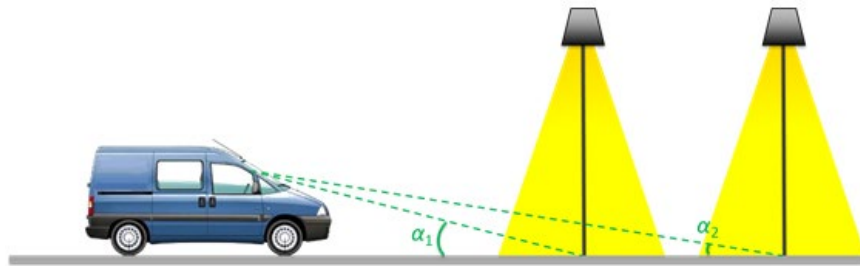


# Perspectives normatives

## À l'échelle européenne

Comité Européen de Normalisation (CEN/TC 169/WG 12)

- Révision de la norme EN 13201
  - Normalisation de l'observation mobile (Annexe EN 13201-4)



## À l'échelle européenne

Comité Européen de Normalisation (CEN/TC 169/WG 12)

- Révision de la norme EN 13201
  - Normalisation de l'observation mobile (Annexe EN 13201-4)



EN 13201-4 draft V001

Annex XX  
Guidelines for the use of the mobile observer concept for luminance measurement with ILMD

**XX.1 Motivation**

The use of an ILMD to measure the class M performance criteria of a lighting installation is becoming increasingly common. In the case of static measurements, it is necessary to position all the grid points in the luminance image to calculate the average luminance, the overall uniformity and the longitudinal uniformity from the luminance measurements associated with the grid points and the observation angle could change from the beginning to the end of the considered area. In the case of dynamic measurements, the concept of the mobile observer can be used to have the same observation angle on the relevant area and also to avoid the perspective effect. The grid points are not projected on a single image but rather reconstructed from a set of successive images. This guideline proposes a methodology able to reconstruct the grid of EN13201-3 as used in the lighting calculations from ILMD measurements conducted with the mobile observer concept.

**XX.2 Measurement methodology with an angle of observation from the horizontal  $\alpha$**

Knowing the height  $H$  of the ILMD with respect to the road plane, the measurement points in the longitudinal direction must be positioned at the distance  $d$  in the luminance image, with:

$$d = \frac{H}{\tan(\alpha)} \quad (1)$$

NOTE If the height is 1.5 m and the observation angle from the horizontal is 1°, the corresponding distance  $d$  is 85.9 m.

Considering that the origin of the coordinates in the image frame is the pixel located at the top left of the image (see Figure 1), the line number  $r$  of the image associated with the distance  $d$  of measurements is calculated using the pinhole model associated with the characteristics of the ILMD.

$$r = \frac{Hf}{f \cos \theta d + f_h} \quad (2)$$

where  $f$  is the focal length in m,  $p$  is the pixel size in m,  $\theta$  is the angle between the optical axis and the horizontal and  $f_h$  is the line number of the image corresponding to the horizon line.

NOTE In the case where the optical axis of the ILMD is parallel to the plane of the roadway ( $\theta=0^\circ$ ),  $n$  is equal to half the total number of lines in the image.

pg. 40

EN 13201-4 draft V001

Figure 1: Coordinates of the measurement points in the luminance image

For a line  $r$  of the image as illustrated in the Figure 1, it is necessary to define transversely the points of the grid with respect to the considered area defined by a left border  $L$  (i.e. left external edge of the roadway), a right border  $R$  (i.e. the right external edge of the roadway) and the middle of the considered area  $M$ . Let  $c_1$ ,  $c_2$  and  $c_3$  be the corresponding column numbers for the line  $r$ . Three measurement points are then positioned transversely in each of the traffic lanes. For example, in the case of a two-lane roadway, the column numbers ( $c_1$  to  $c_4$  from left to right in the image) are calculated from the column numbers  $c_1$ ,  $c_2$  and  $c_3$ .

$$c_1 = c_2 + \frac{2c_3 - c_1}{2}; c_2 = \frac{2c_3 - c_1}{2}; c_3 = c_4 - \frac{2c_3 - c_1}{2} \quad (3)$$

$$c_4 = c_3 + \frac{2c_3 - c_1}{2}; c_3 = \frac{2c_3 - c_1}{2}; c_4 = c_1 - \frac{2c_3 - c_1}{2} \quad (4)$$

The set of grid points is reconstructed from successive images in order to calculate the values of average luminance and uniformities. A minimum of 30 images must be recorded over a distance corresponding to the one between two consecutive luminaires. If this distance is unknown, an image should be recorded at least every 2 meters.

The distance covered by the measurement vehicle between two successive images must be constant. For this, the speed of the vehicle must be regulated and the frequency of image acquisition must be constant. Another solution could be to trigger the acquisition with an incremental distance encoder system associated with a vehicle wheel. The maximum distance covered during the exposure time shall not be greater than 0.5 m.

The luminance for each grid point may be determined by averaging the reading of adjacent pixels. The angular subtense of the measured road surface shall be not be greater than 2 min of arc in the vertical plane and not greater than 20 min of arc in the horizontal plane and at least 1 min of arc.

pg. 50

EN 13201-4 draft V001

**XX.3 Methodology of measurements with an observation angle different from 1° from the horizontal.**

The European project EMPRI SURFACE (1) has proposed new observation angles associated with urban driving and active mobility. For example, an angle of 2.25° is recommended for urban driving and an angle of 5° for cyclists. The mobile observer concept is then recommended for these observation geometries by substituting the value of 1° in equation 1 by the new observation angle value. With this methodology, the points of the grid could be defined all the methodological elements and requirements presented in this annex remain unchanged.

1. Muzet V, Bernasconi J, Iacomuzzi P, Liandrato S, Greffier F, Blattner P, et al. Review of road surface photometry methods and devices – Proposal for new measurement geometries. *Lighting Research & Technology*. 2020; 1477153520958454. <https://doi.org/10.1177/1477153520958454>.

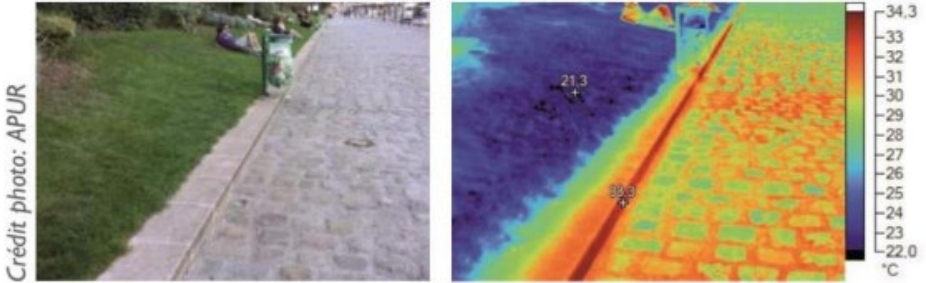
pg. 51

## À l'échelle mondiale

### Commission Internationale de l'Éclairage (CIE)

- TC 4-50 : Road Surface Characterization for Lighting Applications
  - Actualisation des tables- $r$  standards à  $1^\circ$
  - Réflexion sur des tables- $r$  standards à  $3^\circ$  ?
- Réintroduction du concept de visibilité dans les critères de qualité d'une installation d'éclairage

## Lutte contre les îlots de chaleur urbain (ICU)

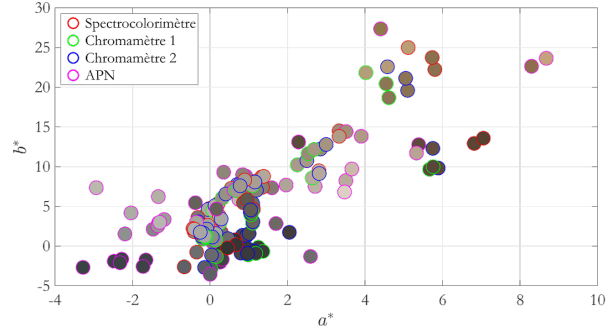
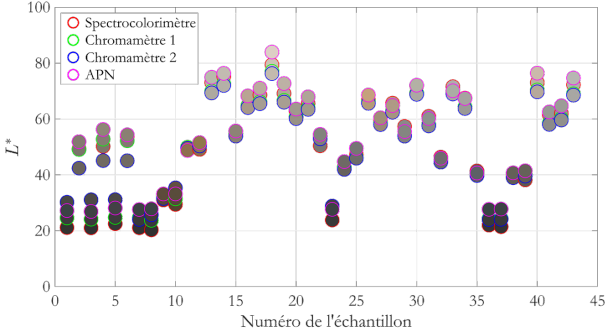
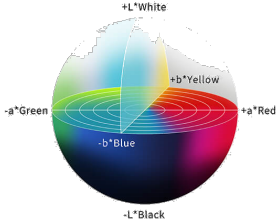
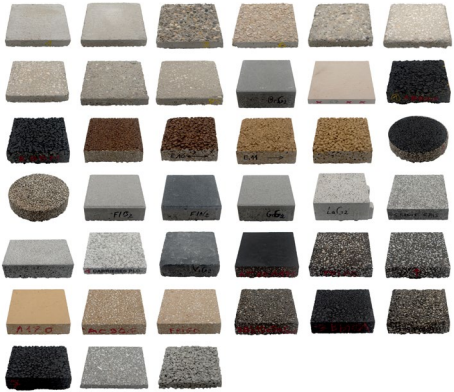


Crédit photo: APUR

Impact des revêtements sur l'absorption/stockage/émission de la chaleur

## Lutte contre les îlots de chaleur urbain (ICU)

Lien entre l'albédo et la couleur des revêtements

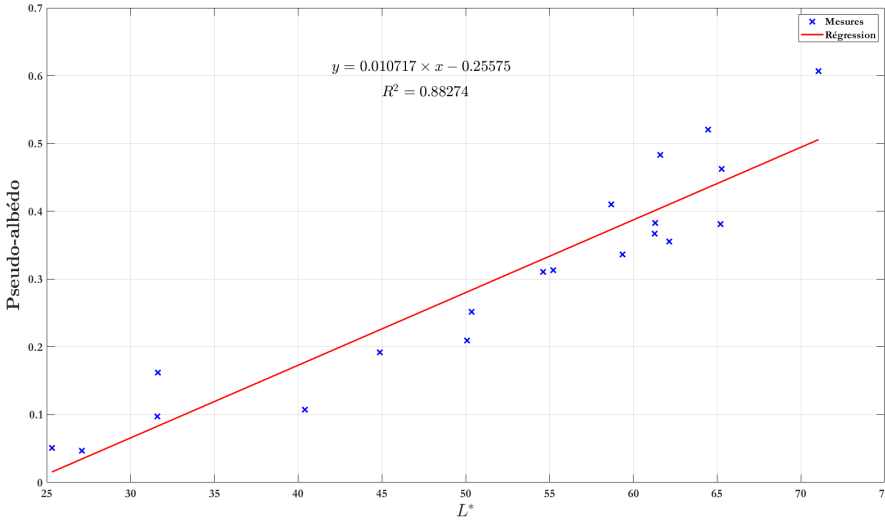
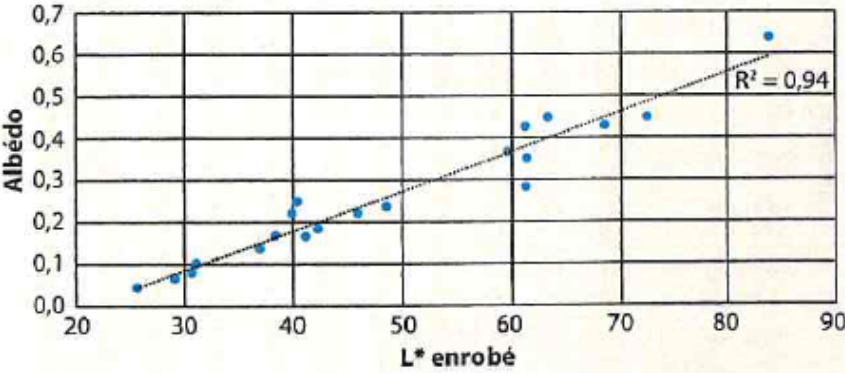


# Confort thermique

## Lutte contre les îlots de chaleur urbain (ICU)

Lien entre l'albédo et la couleur des revêtements

-Figure 4-  
Corrélation entre la luminosité L\* de l'enrobé et l'albédo.



© Lafon, R. (2020). ÎLOTS DE CHALEUR URBAINS - Impact des revêtements clairs sur les températures. *Revue Générale des Routes et des Aéroports (RGRA)*(972), 30-35.

## Lutte contre les îlots de chaleur urbain (ICU)

Lien entre l'albédo et la couleur des revêtements

Projet  
\*\*\*  
**LABELISE**  
\*\*\*  
National

**ISSU**  
Innovations et Solutions pour lutter  
contre la Surchauffe Urbaine

**IREX**  
Institut pour la recherche appliquée  
et l'expérimentation en génie civil

La réduction des impacts énergétiques, environnementaux et sanitaires



Merci pour votre attention !

Des questions ?



Groupe de Travail Revêtements & Lumière



# CARACTÉRISATION DE REVÊTEMENTS ROUTIERS & URBAINS POUR UNE OPTIMISATION DE L'ÉCLAIRAGE



LUMINANCE



angle d'observation



- LARGE PANEL DE REVÊTEMENTS
- CARACTÉRISTIQUES PHOTOMÉTRIQUES DES SURFACES  $Q_0, S_0$
- DIMENSIONNEMENT DES INSTALLATIONS D'ÉCLAIRAGE

NORME NF EN 13201

39 revêtements  
78 échantillons

$[Q_0, S_0]$  → diversité  
→ évolution / temps

calculs      simulations

plusieurs cas d'usage

respect de la norme ?	puissance installée ?	distance entre luminaires ?
-----------------------	-----------------------	-----------------------------

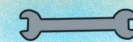
BASE DE DONNÉES



Couleurs

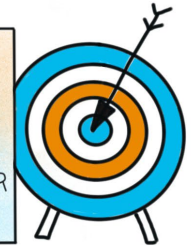
Îlots de chaleur urbains

OUTILS & MÉTHODES



économies!  
confort!  
sécurité!

PERMETTRE À TOUS D'UTILISER  
LES CARACTÉRISTIQUES RÉELLES  
DES REVÊTEMENTS POUR OPTIMISER  
LES CALCULS D'ÉCLAIRAGE



maîtres d'ouvrage, maître d'oeuvre  
éclairagistes, structures de recherche

& filières techniques de production et d'application de revêtements