

Ec'Eau-responsabilité, résilience et sobriété des aménagements urbains en béton



REVÊTEMENTS (BÉTONS) ET LUMIÈRE

Cédric LE GOUIL (Cimbéton - France Ciment)



Revêtements & Lumière



Groupe de Travail IDRRIM – Comité Aménagement Urbain

Pilotage GT :

- **Sophie BANETTE**
(AITF, Montpellier Métropole)
- **Valérie MUZET**
(CEREMA)

- 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





Revêtements & Lumière : Pourquoi ?

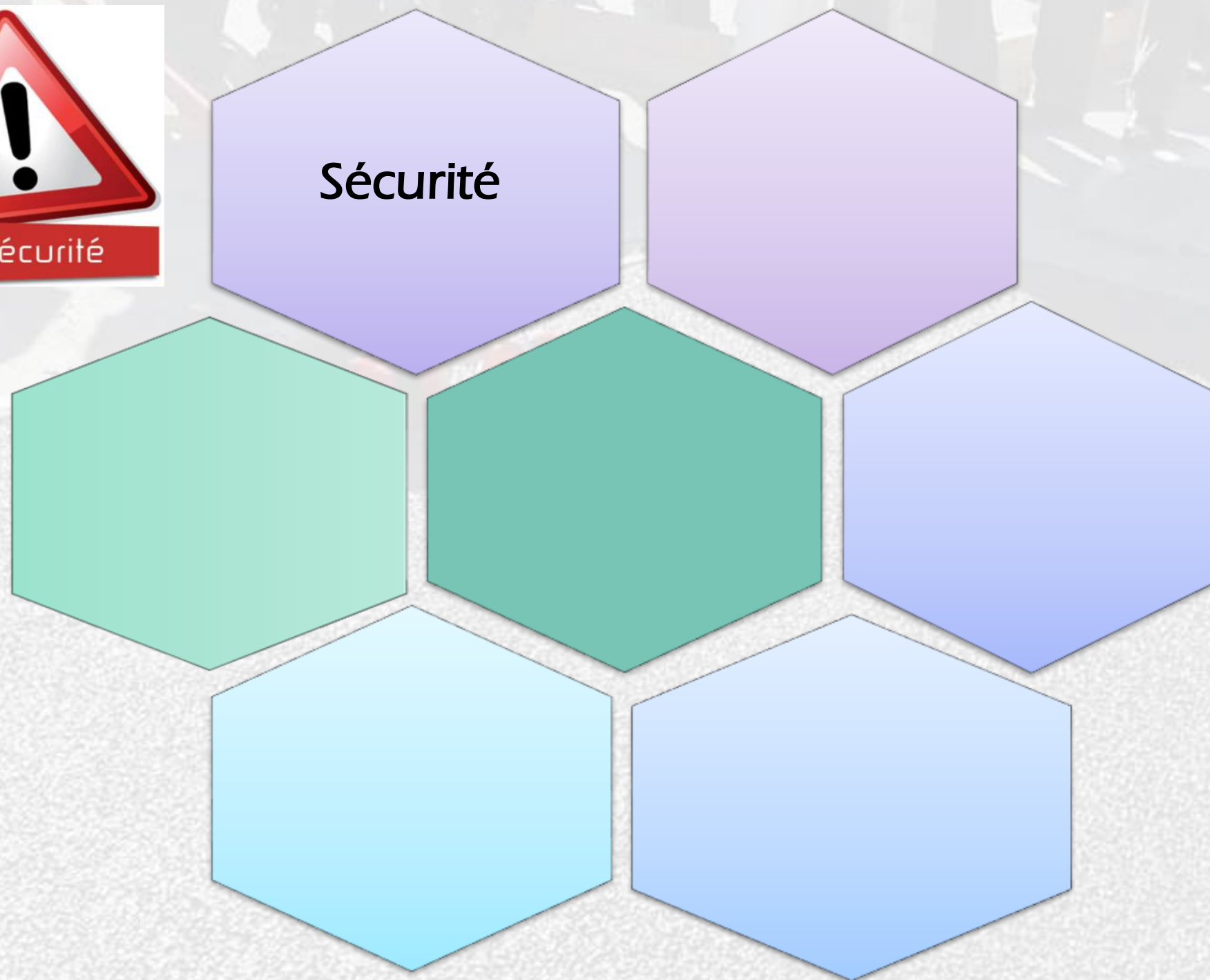
Aujourd'hui : dimensionnement des éclairages urbains non adapté

- *Perception du conducteur roulant à vitesse autorisée sur routes interurbaines (50-90 km/h)*
- *Revêtements standards définis par Commission Internationale de l'Eclairage (CIE) en 1984 : enrobés « noirs »*
- *Palette de revêtements routiers et urbains toujours plus variée*
- *Offre élargie en matériels d'éclairage*





Revêtements & Lumière : Enjeux





Revêtements & Lumière : Enjeux



Sécurité

Confort





Revêtements & Lumière : Enjeux



Sécurité

Confort



Pollution
lumineuse



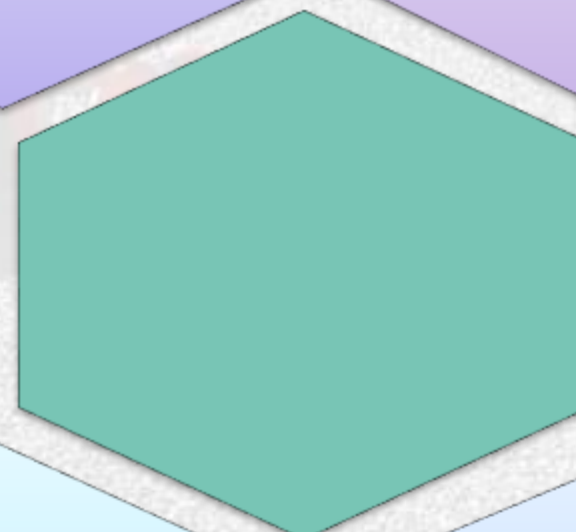
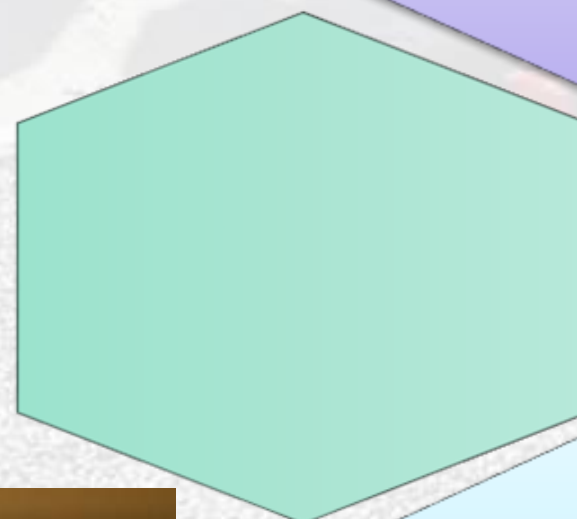


Revêtements & Lumière : Enjeux



Sécurité

Confort



Pollution
lumineuse

Limitation des
émissions de
CO₂





Revêtements & Lumière : Enjeux



Sécurité

Confort



Economies
d'investissement

Economies de
fonctionnement

Economies
d'énergie

Pollution
lumineuse

Limitation des
émissions de
CO₂





Photométrie des revêtements ??

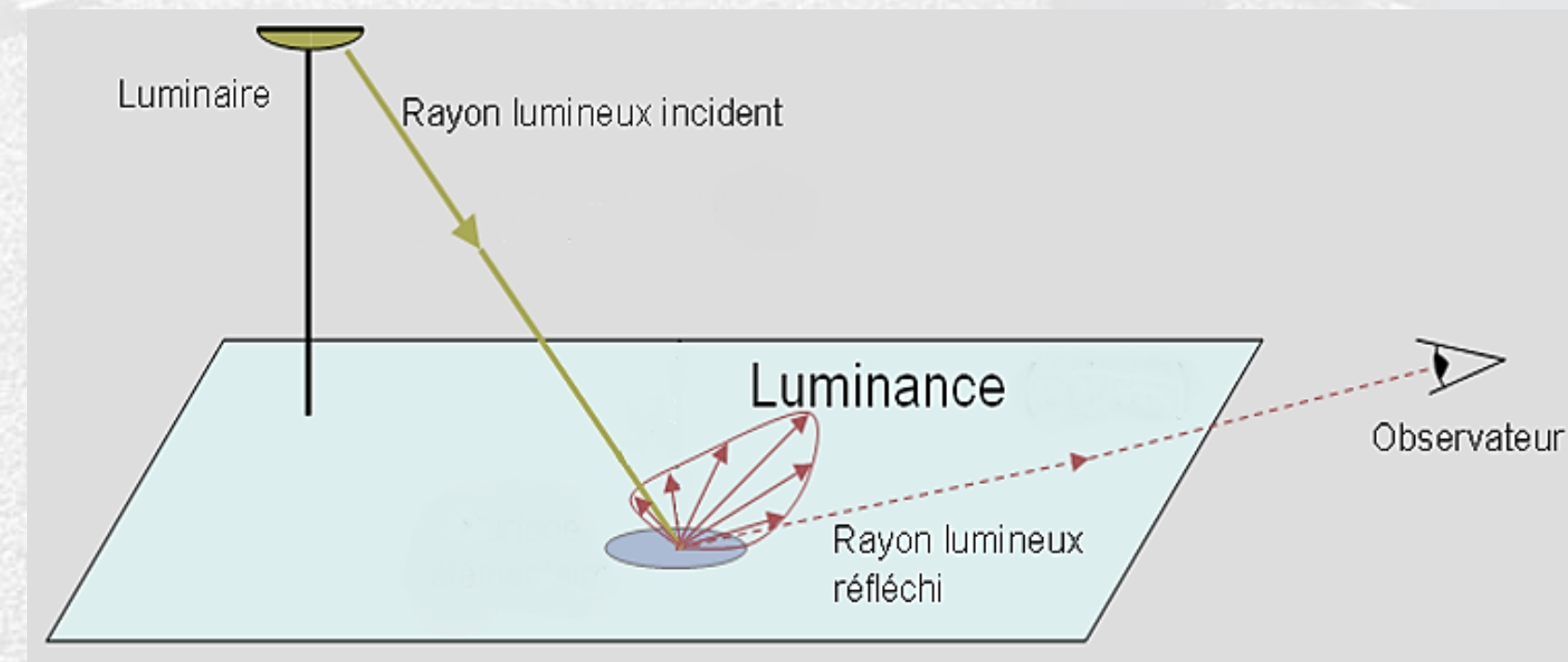
Exemple d'éclairage public



L, Luminance
perçue en cd/m^2



Elément de chaussée



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



Photométrie des revêtements : mesures et propriétés

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 (Commission Internationale de l'Éclairage)
 - 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 β
 - 29 angles d'incidence γ

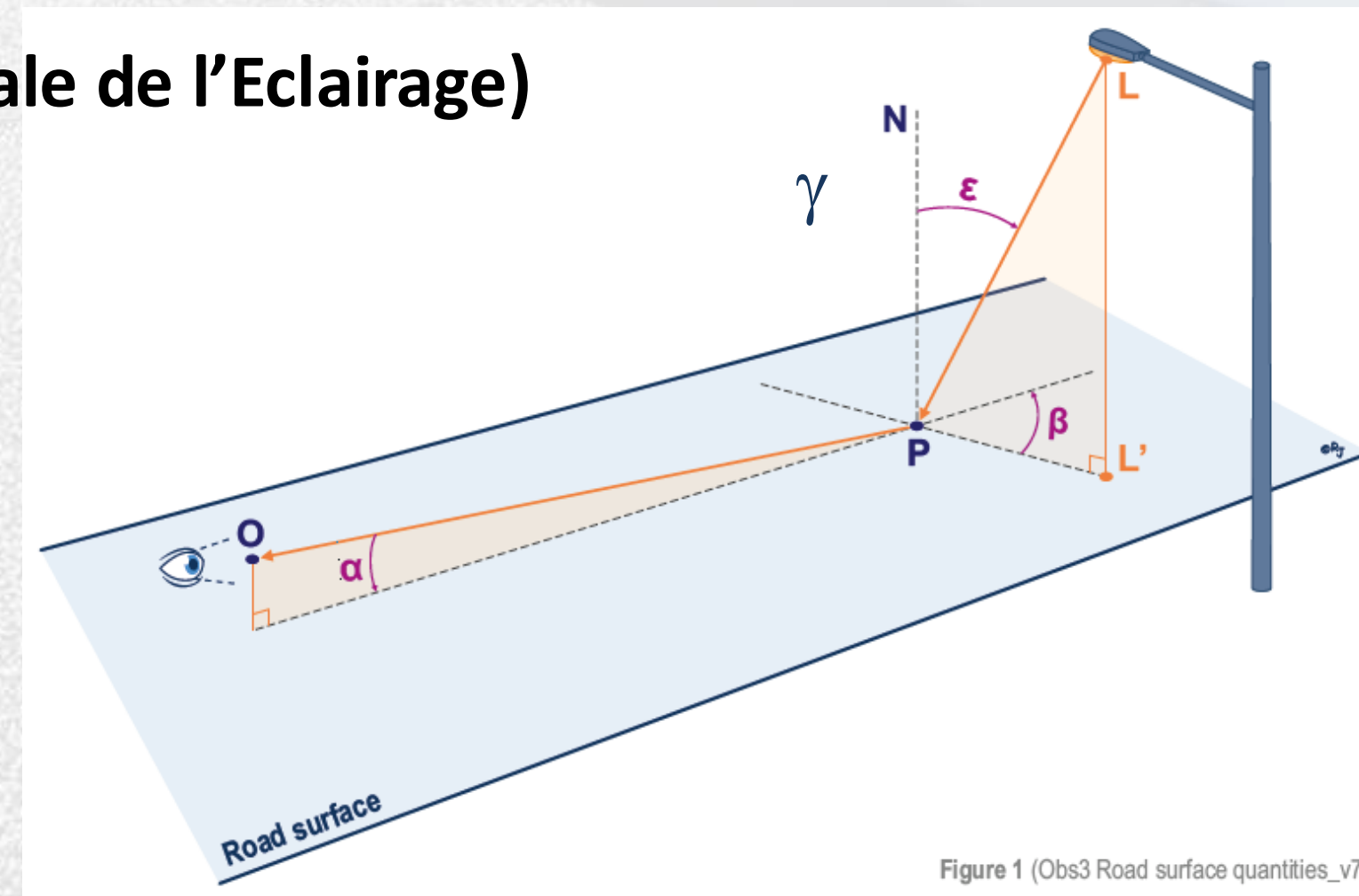


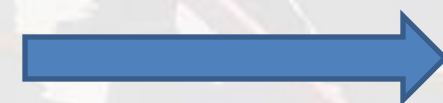
Figure 1 (Obs3 Road surface quantities_v7)



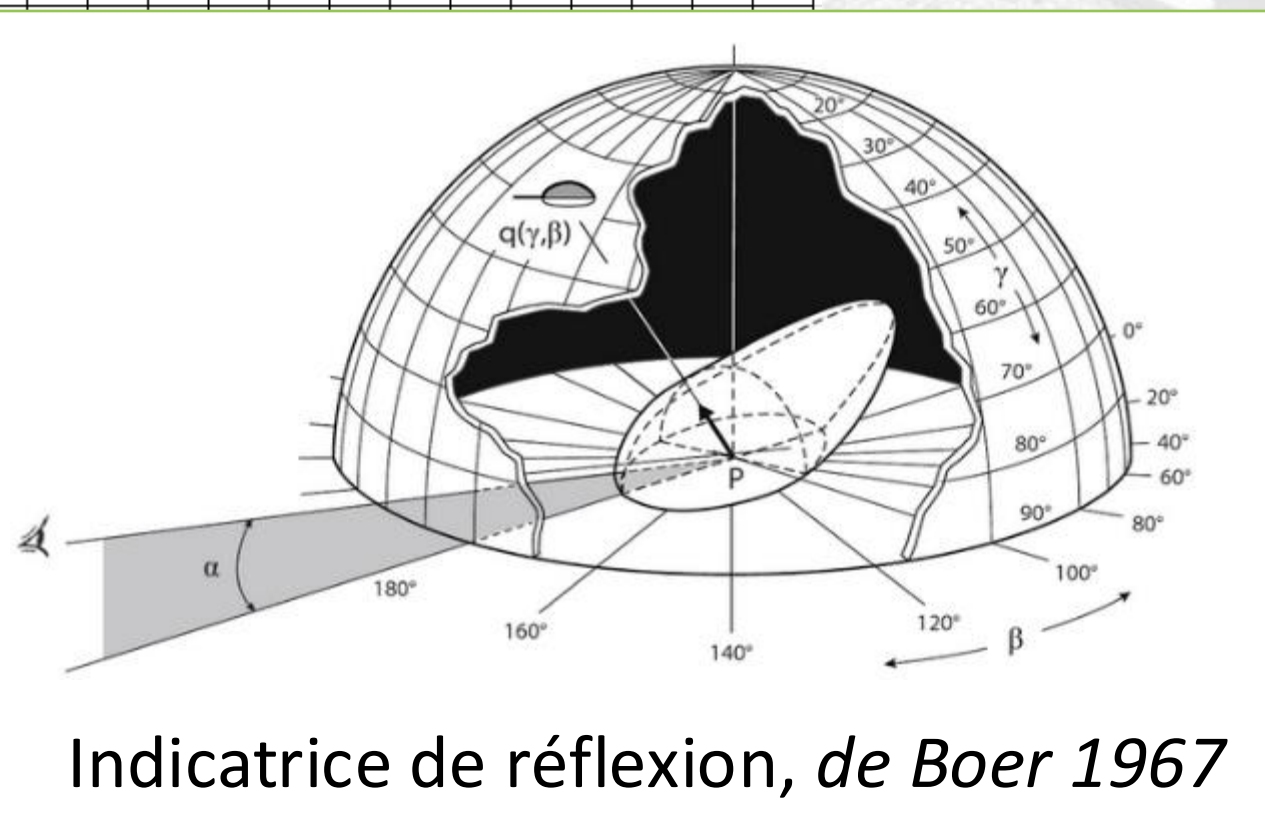
Photométrie des revêtements : mesures et propriétés

Que mesure-t-on ?

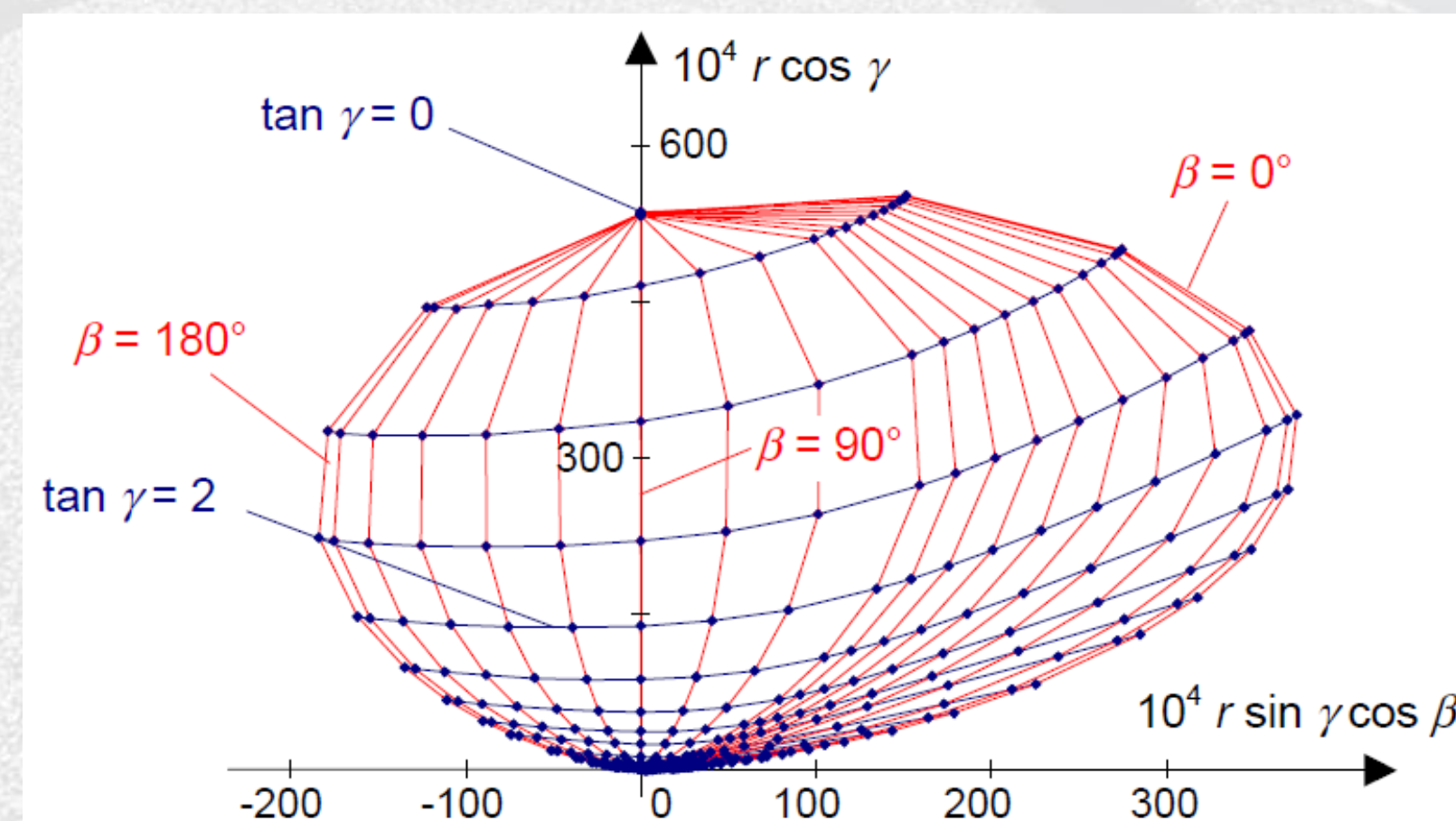
Table R



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														
3.00	574	516	457	186	76.7	42.5														
3.50	439	396	321	114	45.2	26.2														
4.00	335	307	229	90.3	29.8	18.5														
4.50	260	248	205	56.8	20.9	13.1														
5.00	204	186	143	35.0	14.2	8.2														
5.50	161	147	106	27.6	10.2	6.2														
6.00	132	120	102	28.1	8.4	5.1														
6.50	109	104	75.5	16.2	6.6	3.7														
7.00	93.9	89.4	47.0	12.2	5.6	3.0														
7.50	79.7	77.2	44.4	10.8	4.6	2.6														
8.00	69.6	68.3	42.3	8.6	3.9	2.1														
8.50	61.1	60.2	32.0	8.7	3.3	2.2														
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															



Indicatrice de réflexion = projection en 2d
 $x = 10^4 r \sin \gamma \cos \beta$ *axe de la route*
 $y = 10^4 r \sin \gamma \sin \beta$ *axe transversal*
 $z = 10^4 r \cos \gamma$ *axe vertical*

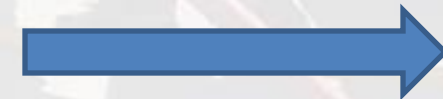




Photométrie des revêtements : mesures et propriétés

Que mesure-t-on ?

Table R

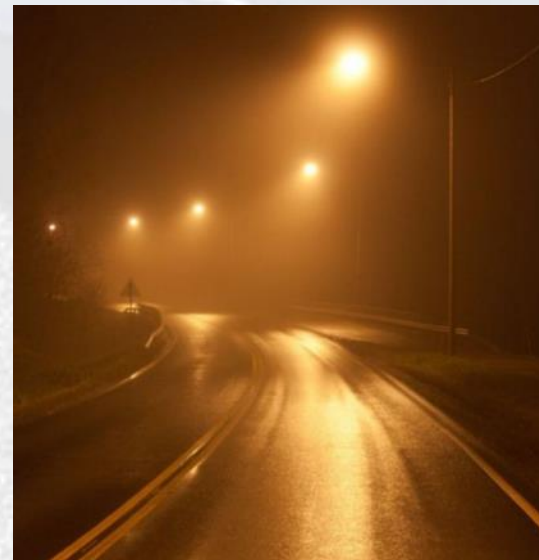


Deux indicateurs définis à partir de la table-r

$\beta \backslash \tan \gamma$	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															

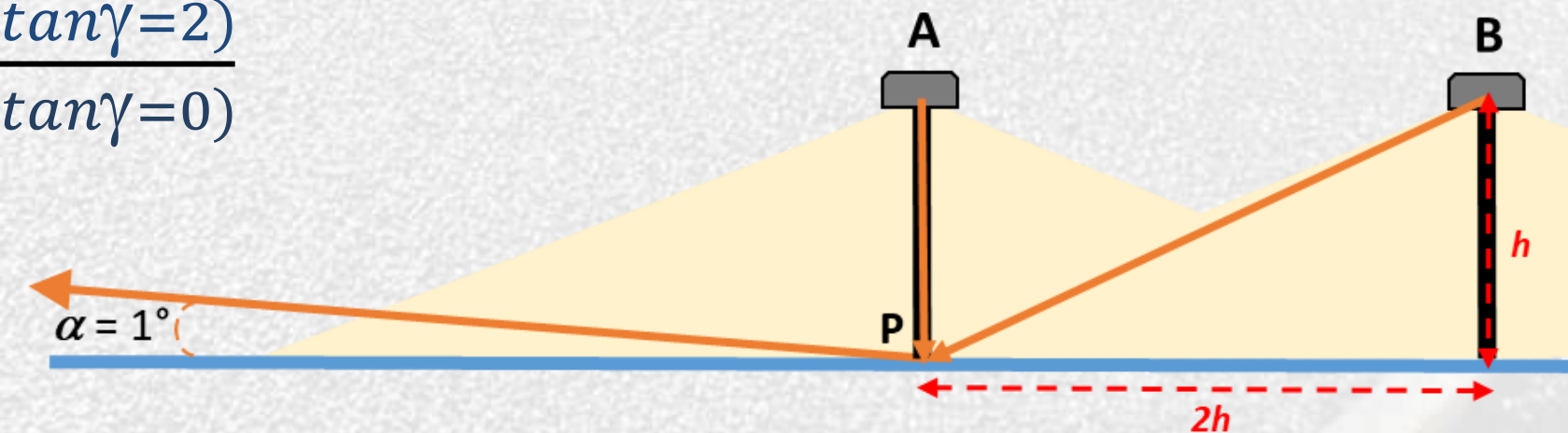
- Coefficient de luminance moyen Q_0 appelé *coefficient de clarté*

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



- Coefficient de spécularité S_1 ou *brillance*

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

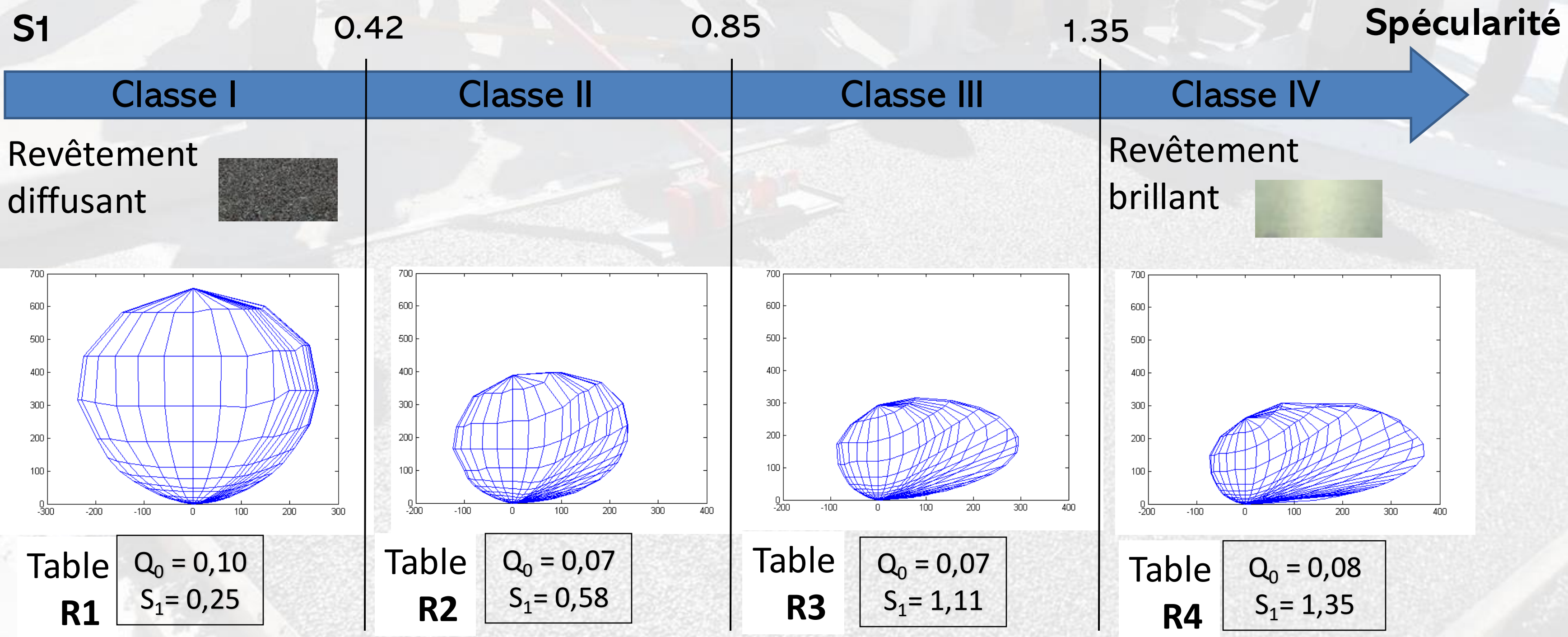




Photométrie des revêtements : mesures et propriétés

Les **classes** de la CIE sont définies selon la spécularité S_1 (brillance) → **tables types R1 à R4**

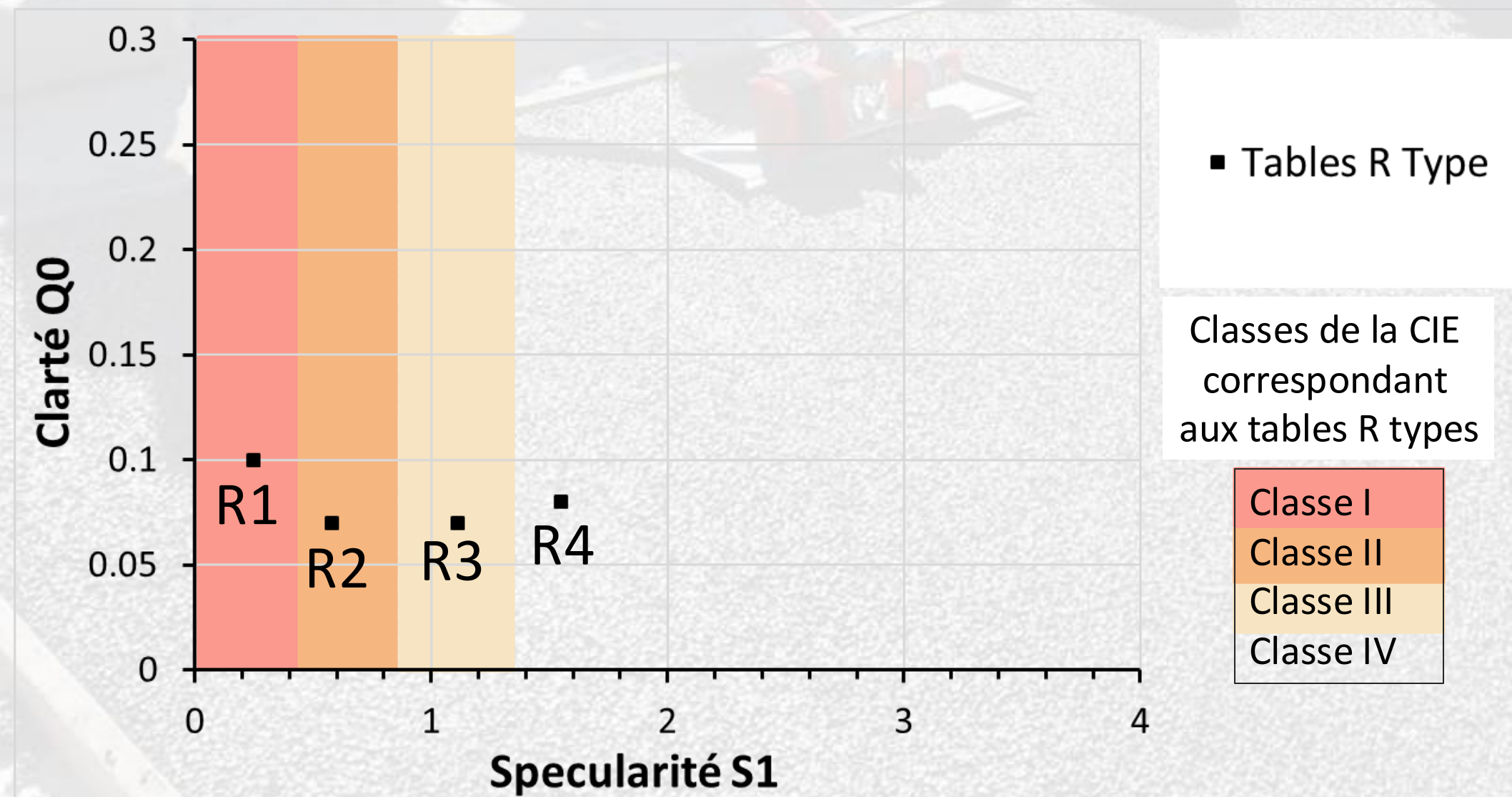
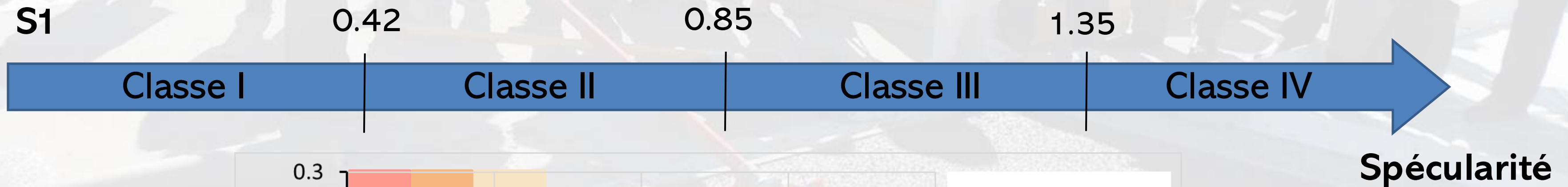
Tables
types





Photométrie des revêtements : mesures et propriétés

Les **classes** de la CIE sont définies selon la spécularité S1 (brillance) → **tables types R1 à R4**

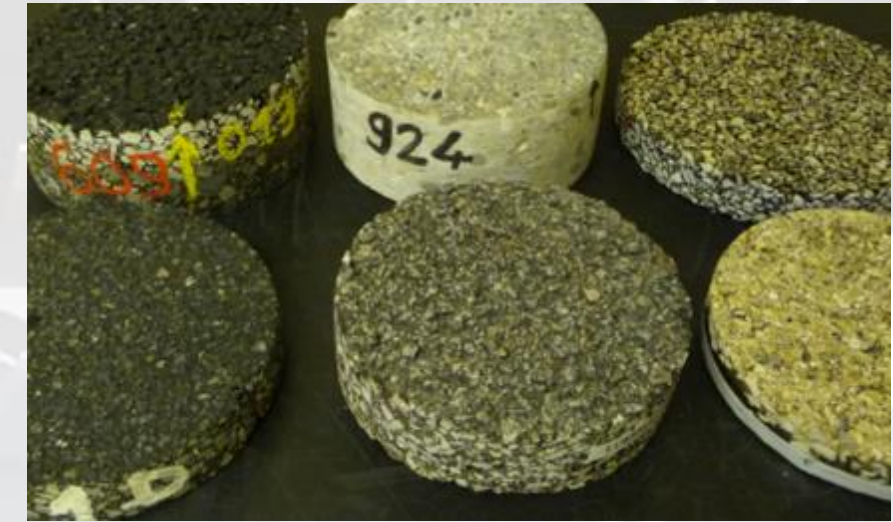
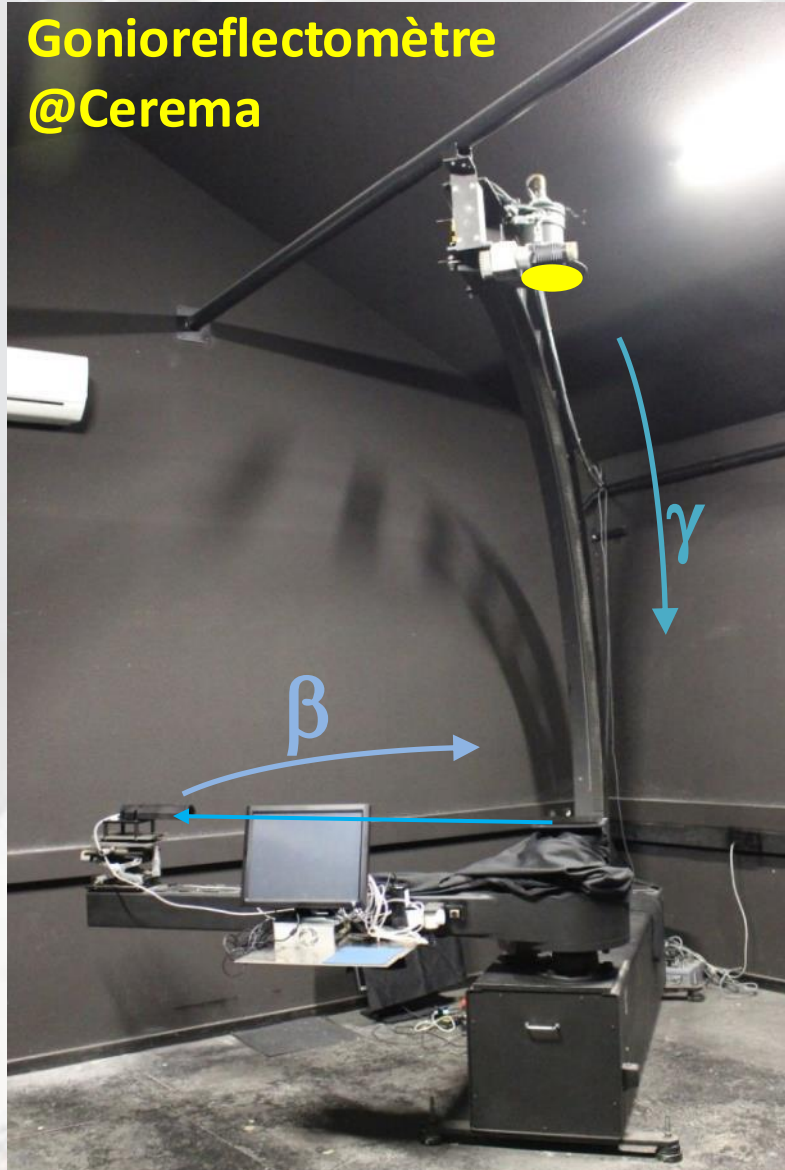




Photométrie des revêtements : Caractérisation laboratoire

Le gonioreflectomètre → mesures de table- r , Q0 et S1

Gonioreflectomètre
@Cerema



⇒ Mesures état « neuf » T_0
⇒ Mesures état « stabilisé »
 T_{30} (mois)

1. Positionnement précis de l'échantillon
2. Eclairement selon différents angles γ et β
3. Mesure de la quantité de lumière réfléchie selon un angle d'observation α à 1° conventionnellement



Photométrie des revêtements : échantillons R&L

→ 39 revêtements « urbains » caractérisés
→ 78 échantillons

- 12 enrobés bitumineux
- 6 asphaltes
- 10 bétons de ciment coulés
- 7 bétons de ciment préfabriqués
- 4 pierres naturelles



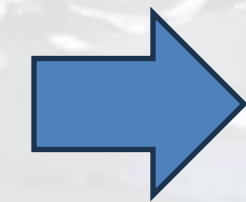


Photométrie des revêtements : un panel de bétons testés

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

Aspect visuel béton =

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



Pas de pigment

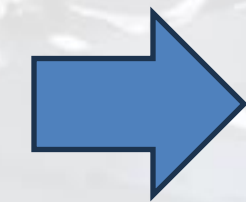


Photométrie des revêtements : un panel de bétons testés

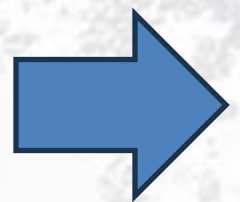
Luminance, Clarté, Spécularité, Brillance... et la couleur « visuelle »...

Aspect visuel béton =

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



Pas de pigment



Granulats clairs ou foncés

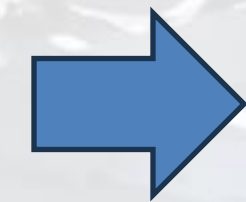


Photométrie des revêtements : un panel de bétons testés

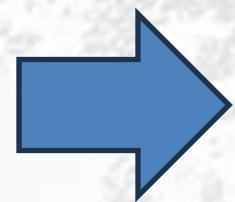
Luminance, Clarté, Spécularité, Brillance... et la couleur « visuelle »...

Aspect visuel béton =

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

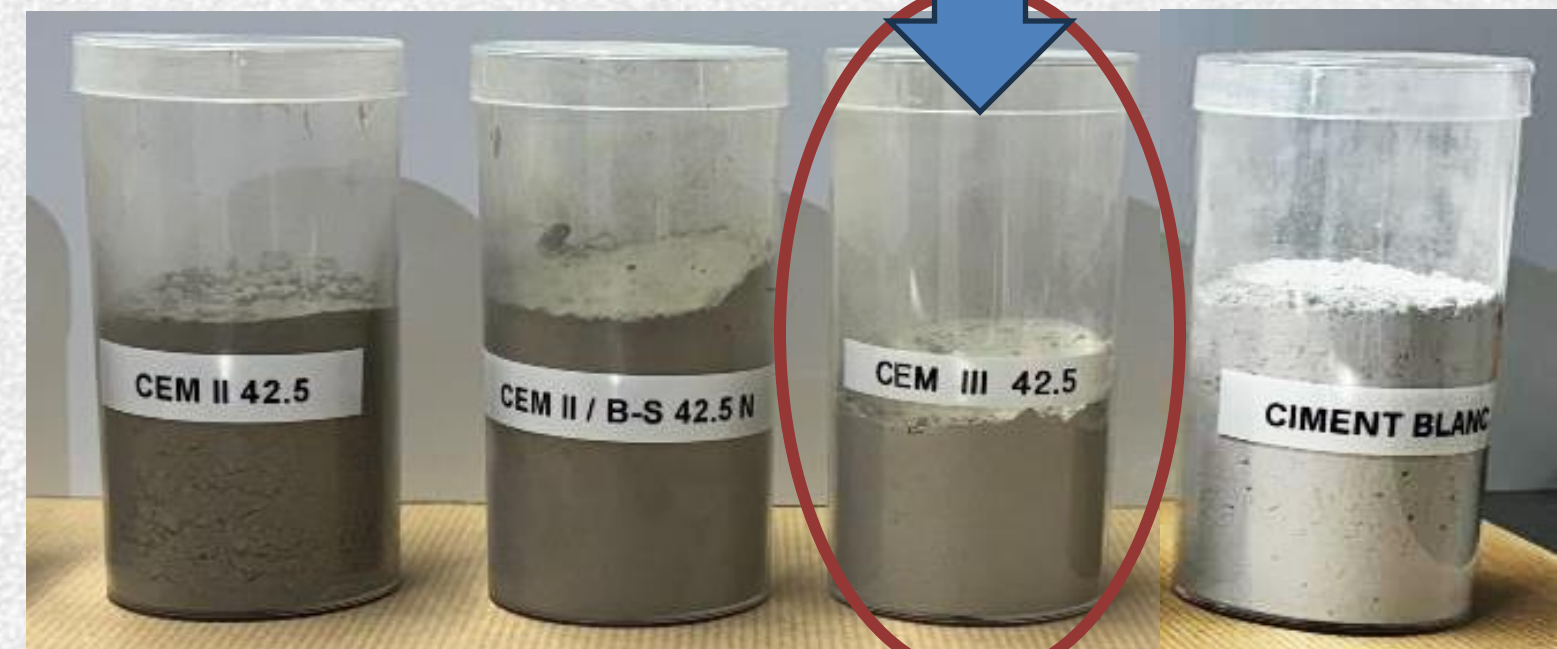
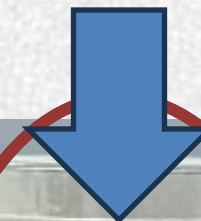


Pas de pigment



Granulats clairs ou foncés

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



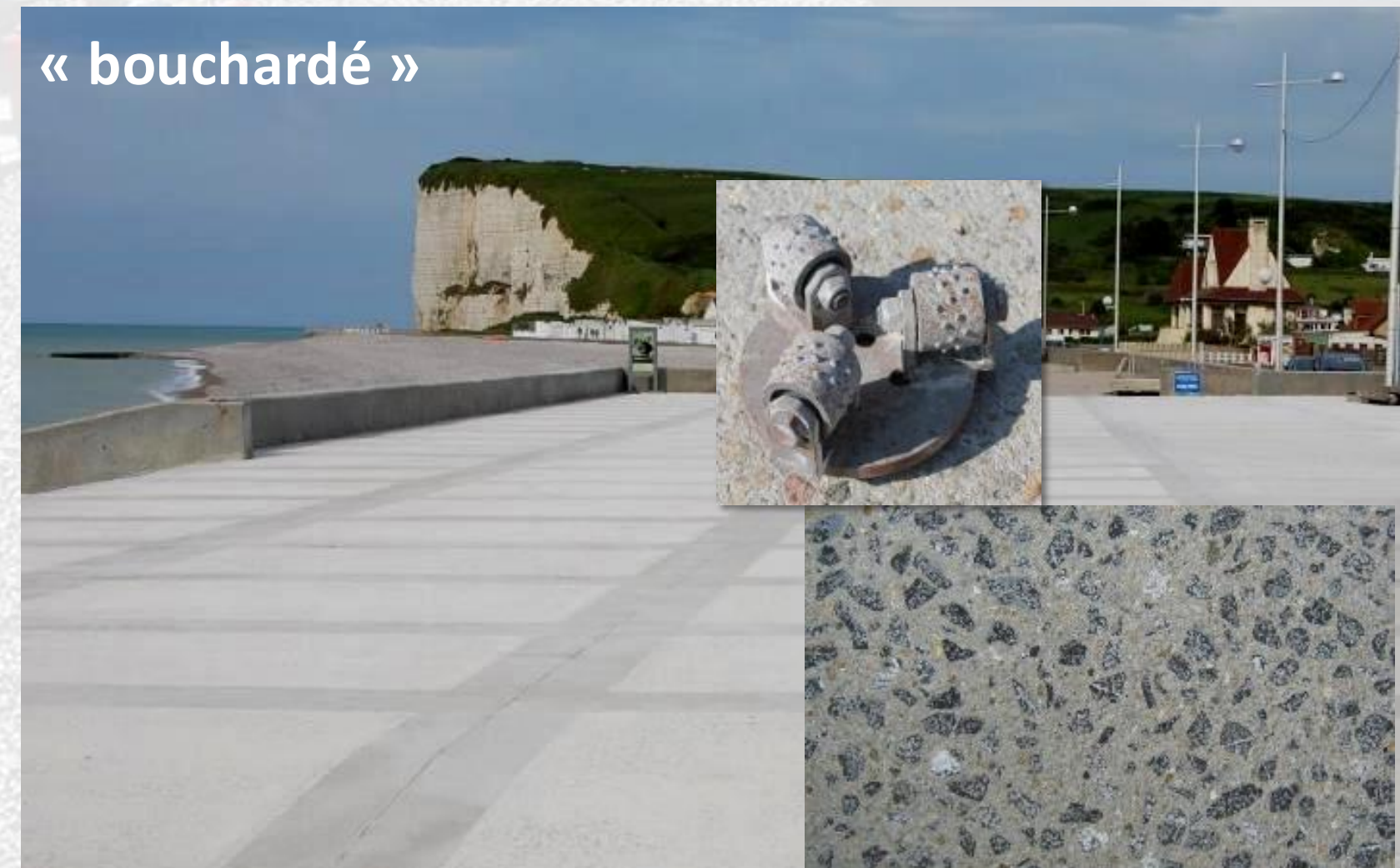


Photométrie des revêtements : un panel de bétons testés

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

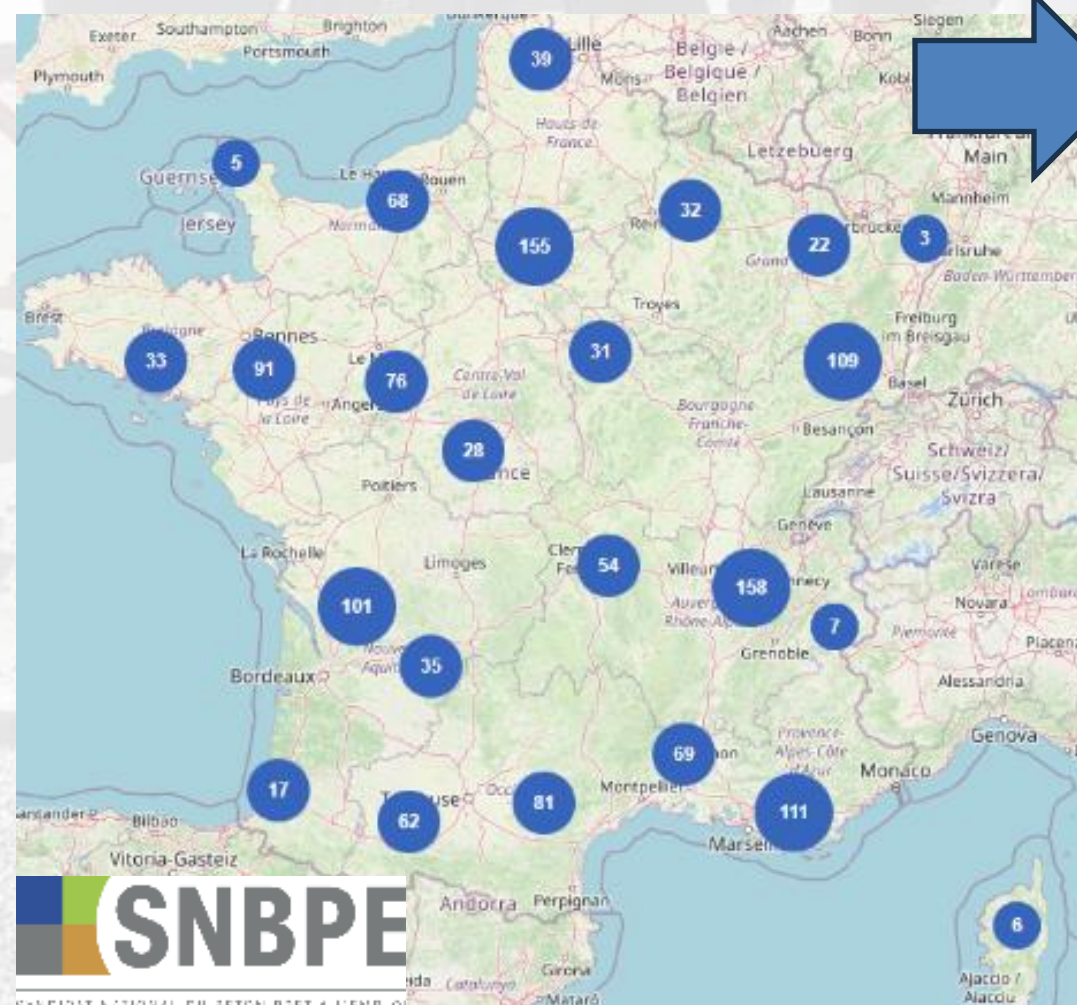
Aspect visuel béton =

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





Photométrie des revêtements : un panel de bétons testés



10 Bétons coulés représentatifs





Photométrie des revêtements : un panel de bétons testés à T0 (« état neuf »)

1



Granulats clairs
(balayé)

2



Granulats clairs
(lissé)

3



Granulats foncés
(désactivé)

4



Granulats clairs
(désactivé)

5



Granulats foncés
(bouchardé)

6



Granulats clairs
(bouchardé)

7



Granulats clairs
(poncé)

8



Granulats foncés
(sablé)

9



Granulats clairs
(sablé)

10



Granulats clairs
(perméable)

Etat « neuf »



Photométrie des revêtements : un panel de bétons testés à T0 et T30 (30 mois vieillissement « climatique »)

1



Granulats clairs
(balayé)

2



Granulats clairs
(lissé)

3



Granulats foncés
(désactivé)

4



Granulats clairs
(désactivé)

5



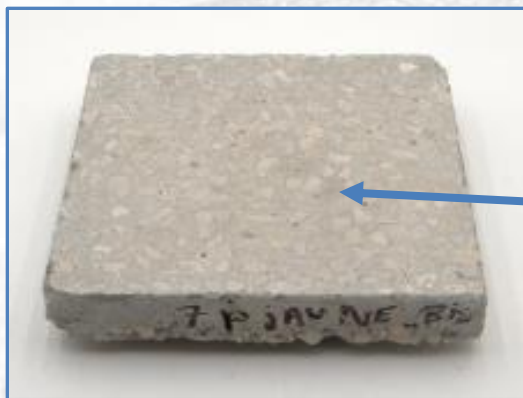
Granulats foncés
(bouchardé)

6



Granulats clairs
(bouchardé)

7



Granulats clairs
(poncé)
T30 stabilisé

8



Granulats clairs
(poncé)

8



Granulats foncés
(sablé)

9

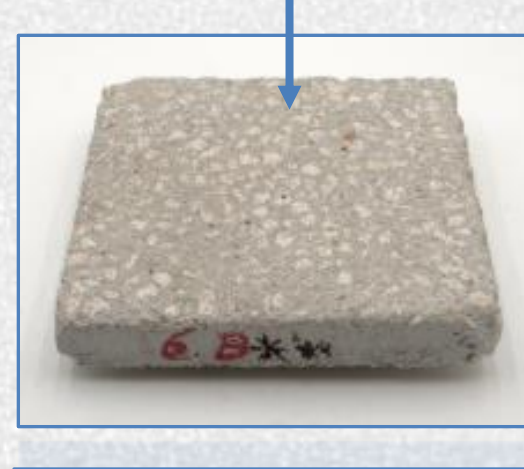


Granulats clairs
(sablé)

10



Granulats clairs
(perméable)



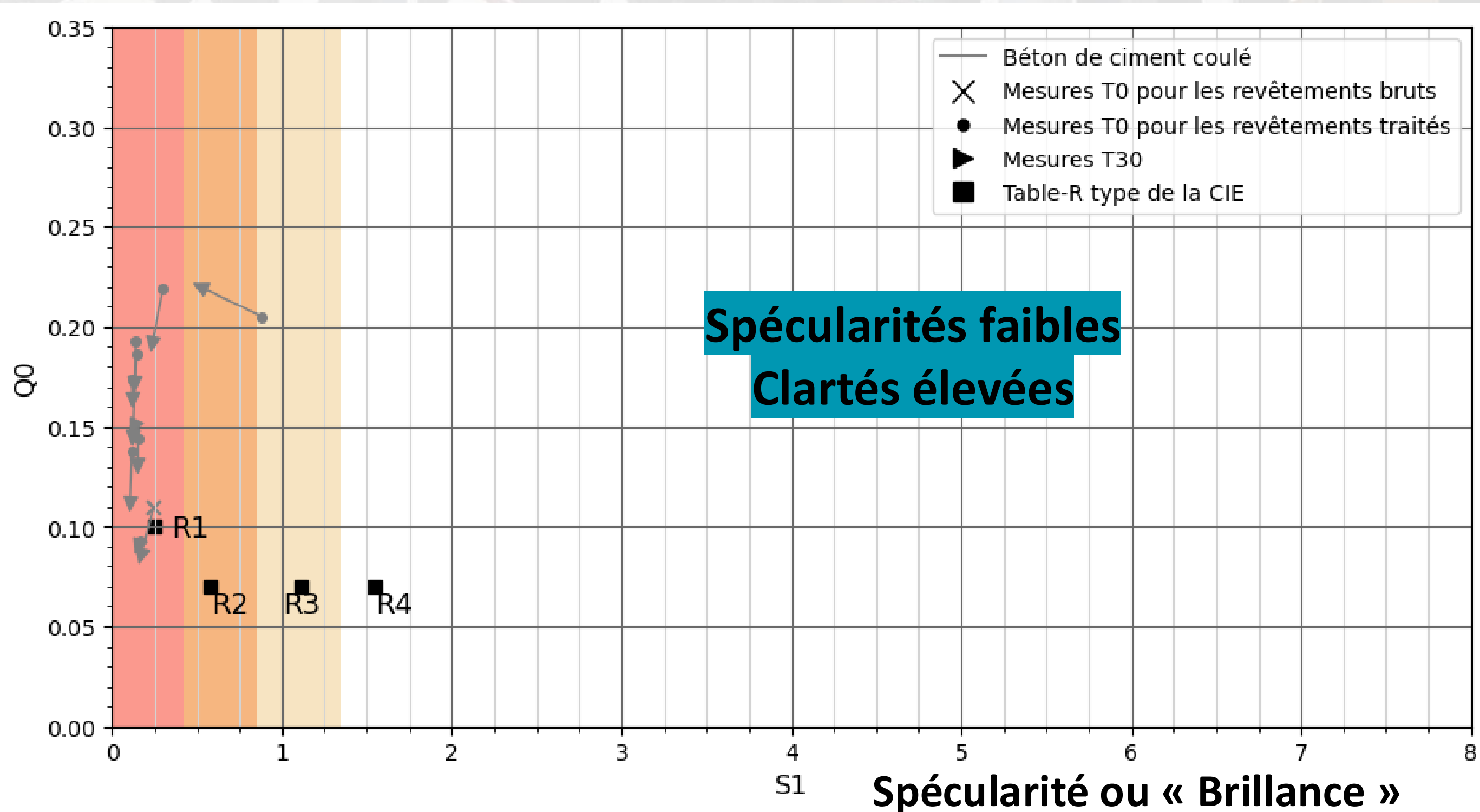
Granulats clairs
(bouchardé)
T30 stabilisé



Photométrie des revêtements : résultats bétons testés

Graphique photométrique Bétons coulés

Luminance
ou
« Clarté »

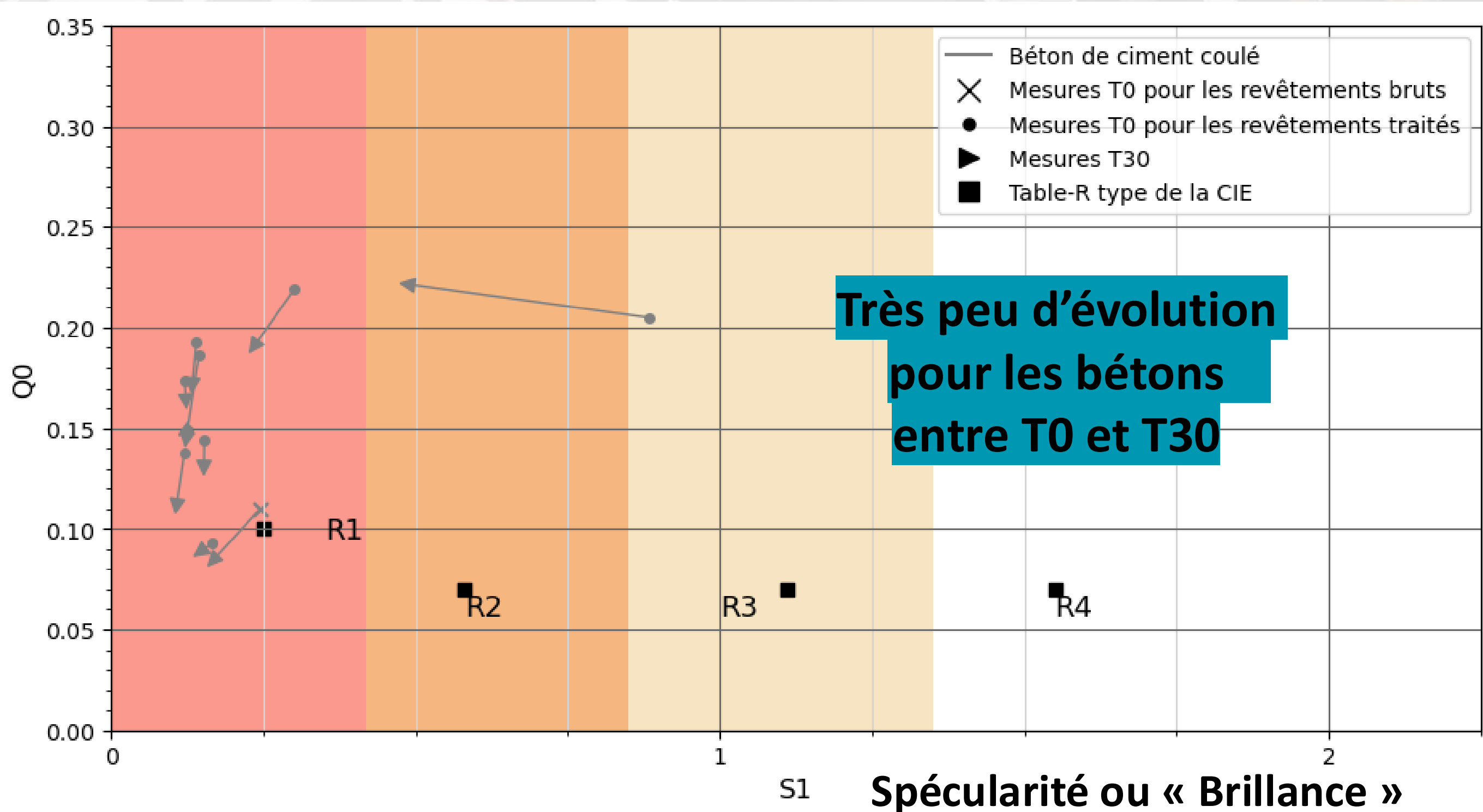




Photométrie des revêtements : résultats bétons testés

Graphique photométrique Bétons coulés

Luminance
ou
« Clarté »

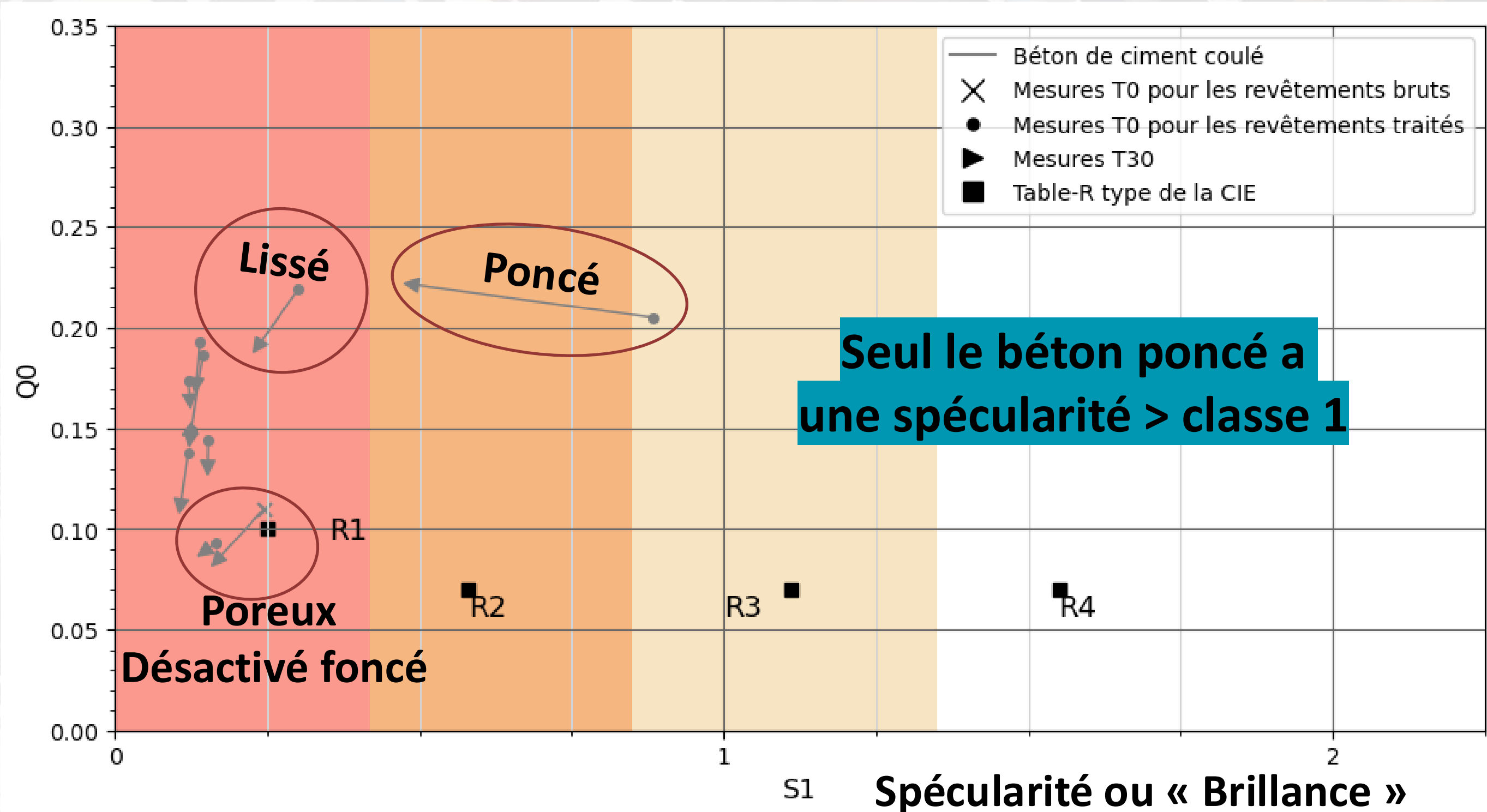




Photométrie des revêtements : résultats bétons testés

Graphique photométrique Bétons coulés

Luminance
ou
« Clarté »



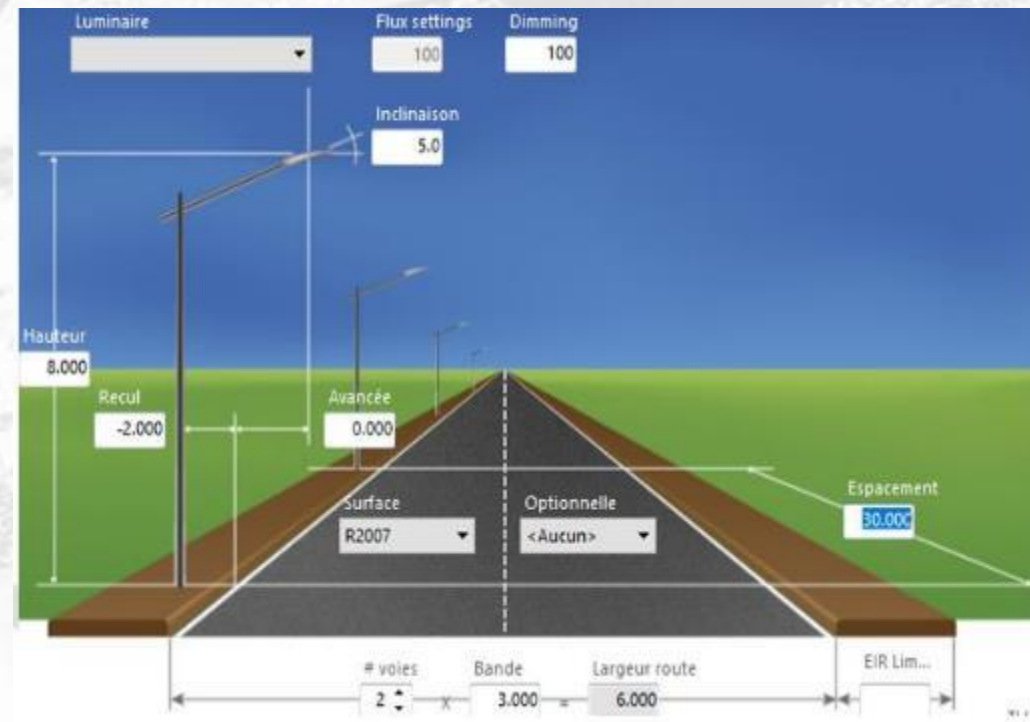
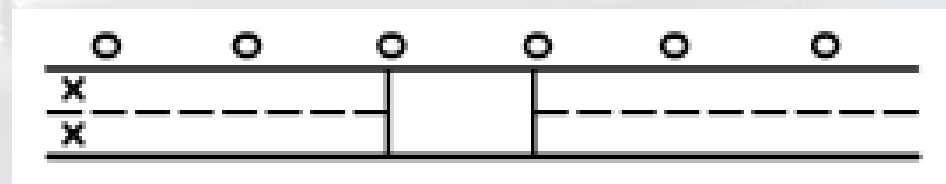


Photométrie des revêtements : Qualité éclairage aujourd'hui ?

Profil de route considéré
en simulations

FOCUS

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



Dimensionnement classique revêtement type R3 ou R1

Qualité de l'éclairage

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

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



« Sur-éclairage »

Uniformité
insuffisante

→ Sécurité !



Photométrie des revêtements : Optimiser l'éclairage demain ?

Utilisation des caractéristiques du revêtement stabilisé (à T30) pour une géométrie imposée à 30 m 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



=> Gain en puissance par km en %

Simulations d'éclairage avec revêtements stabilisés et puissances optimisées

Bétons coulés	1	Granulat Clair	Balayé	-51%
	2	Granulat Clair	Lissé	-60%
	3	Granulat Foncé	Désactivé	-19%
	4	Granulat Clair	Désactivé	-51%
	5	Granulat Foncé	Bouchardé	-43%
	6	Granulat Clair	Bouchardé	-62%
	7	Granulat Clair	Poncé	-54%
	8	Granulat Foncé	Sablé	-36%
	9	Granulat Clair	Sablé	-47%
	10	Granulat Clair	Drainant	-26%

=> économies d'énergies importantes (20-60%)





Revêtements & Lumière

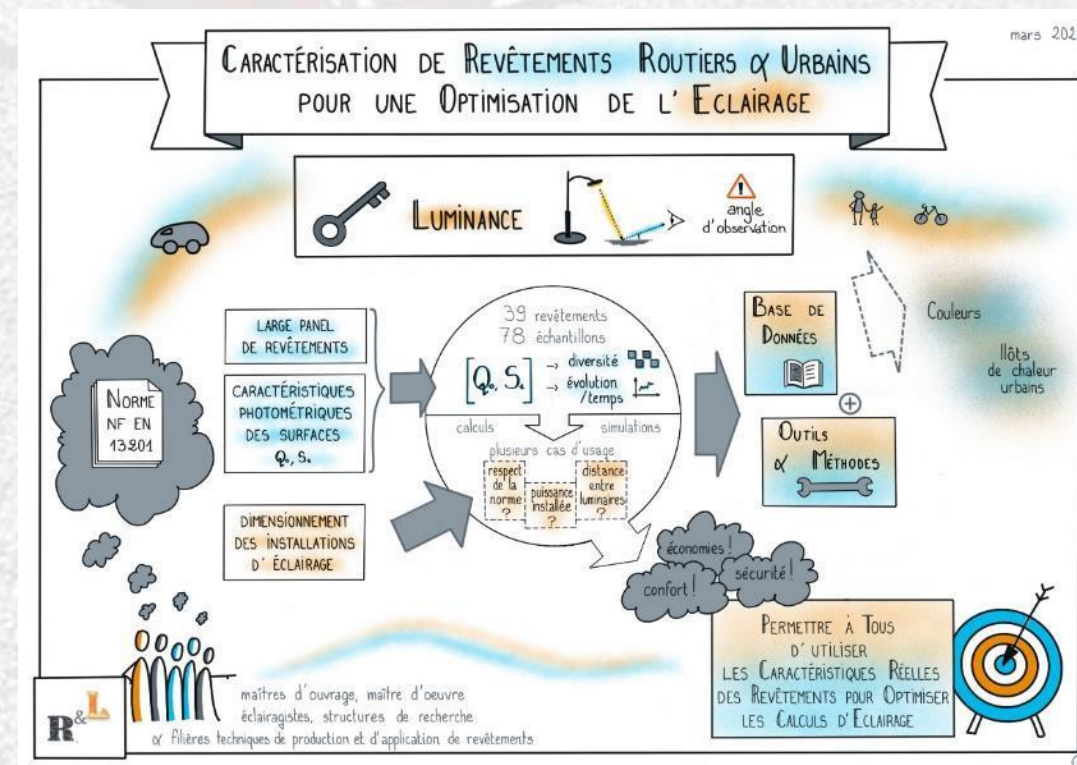
Livrables disponibles

Plaquette 2012

Articles RGRA



Synthèse visuelle



Présentation
IDRRIM 2024



Revêtements & Lumière

Livrables disponibles et à venir

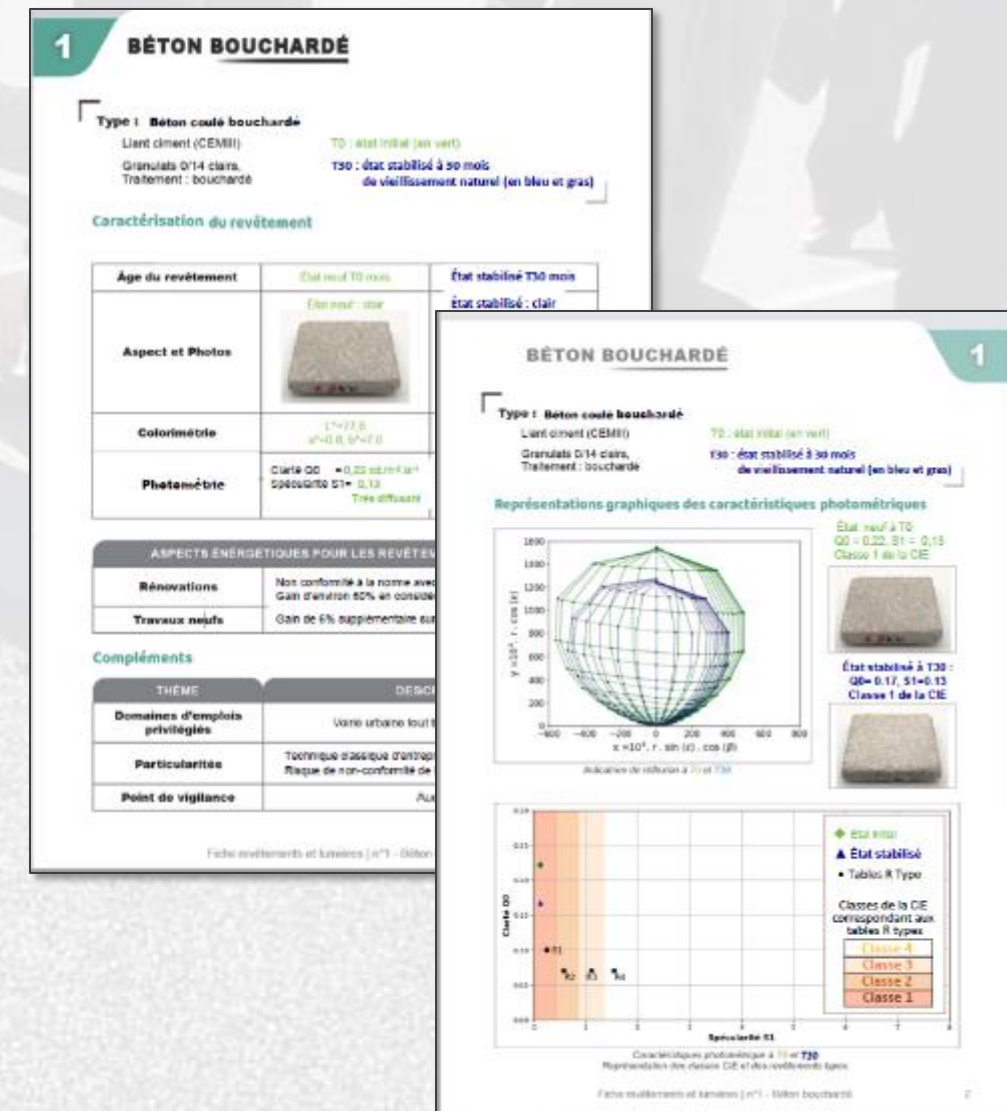
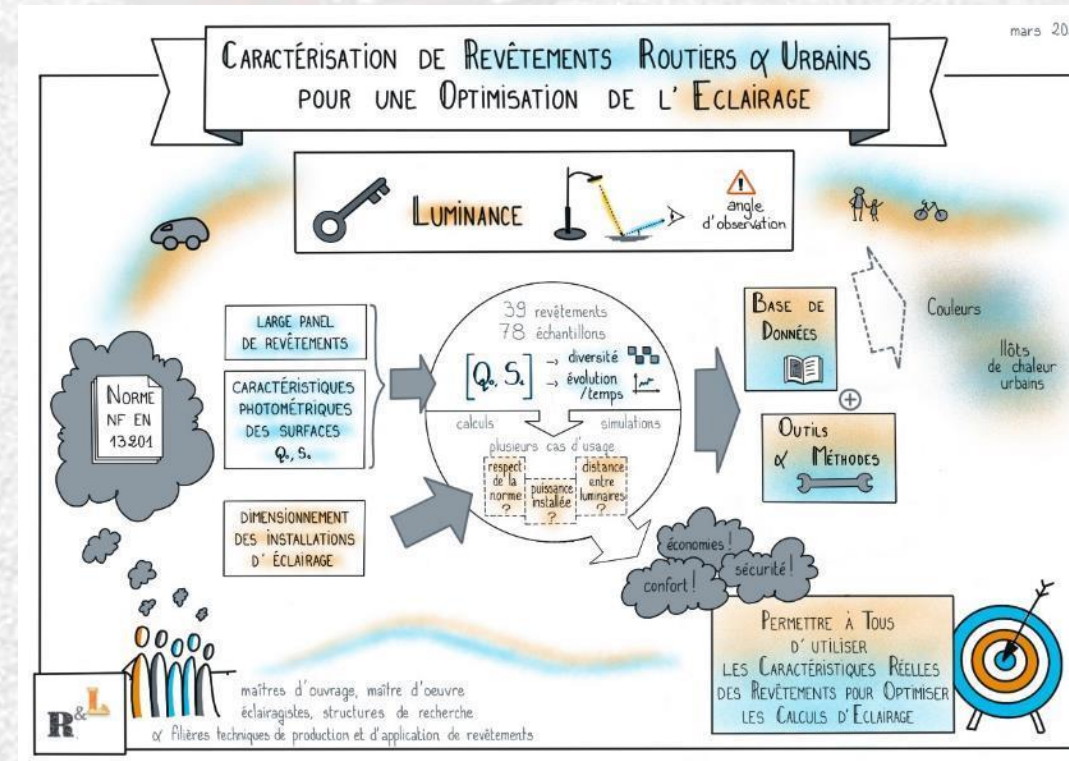
Fiches matériaux
Bibliothèque revêtements

Plaquette 2012

Articles RGRA



Synthèse visuelle



Présentation
IDRRIM 2024

Livrable complet
IDRRIM/CEREMA/AFE/AITF
Tutoriel d'aide utilisation fiches
et intégration marchés
Outils méthodologiques
dimensionnement éclairage



Revêtements (bétons) & Lumière

Merci de votre
attention

Et merci à toute l'équipe Revêtements et
Lumière pour leur contribution à cette
présentation (support congrès IDRRIM 2024)



Questions ?

