



DIAGNOSTIC PHOTOMÉTRIQUE DES INSTALLATIONS D'ÉCLAIRAGE PAR HDR-ILMD

Florian GREFFIER

20 mai 2022

SOMMAIRE

Bases en éclairage routier

Qu'est-ce qu'un HDR-ILMD ?

Diagnostic photométrique

Recherche et Perspectives

Bases en éclairage routier



BASES EN ÉCLAIRAGE ROUTIER

Les enjeux de l'éclairage routier

Offrir aux usagers des conditions de visibilité et de confort optimales leur permettant de **voir** et d'**être vu**.

S'adresser aux besoins visuels de tous (conducteurs de véhicule, piétons, cyclistes) pour :

- Se positionner dans l'espace ;
- Faciliter les changements de trajectoire et de direction ;
- Anticiper les interactions avec les autres usagers ;
- Détecter de potentiels obstacles.



Crédit photo : Olivier Pichard (Cerema)

BASES EN ÉCLAIRAGE ROUTIER

Les enjeux de l'éclairage routier

Optimiser les installations d'éclairage et leurs performances :

- Réduire les consommations d'énergie et l'empreinte carbone ;
- Limiter les nuisances liées à la lumière (biodiversité, lumière intrusive, rythme biologique, astronomie, etc.).



Crédit photo : Samuel Busson (Cerema)

BASES EN ÉCLAIRAGE ROUTIER

Repères techniques, réglementaires et normatifs

Documents techniques et normatifs :

- Publications CIE (CIE 115:2010, CIE 140:2019, CIE 194:2011) ;
- Recueil normatif EN 13201.

Réglementation nationale :

- Arrêté sur la prévention, la réduction et la limitation des nuisances lumineuses du 27 décembre 2018.

<https://www.cerema.fr/fr/actualites/decryptage-arrete-ministeriel-nuisances-lumineuses-contexte>

BASES EN ÉCLAIRAGE ROUTIER

Repères techniques, réglementaires et normatifs

Série de fiches AUBE (aménagement, urbanisme, biodiversité, éclairage).



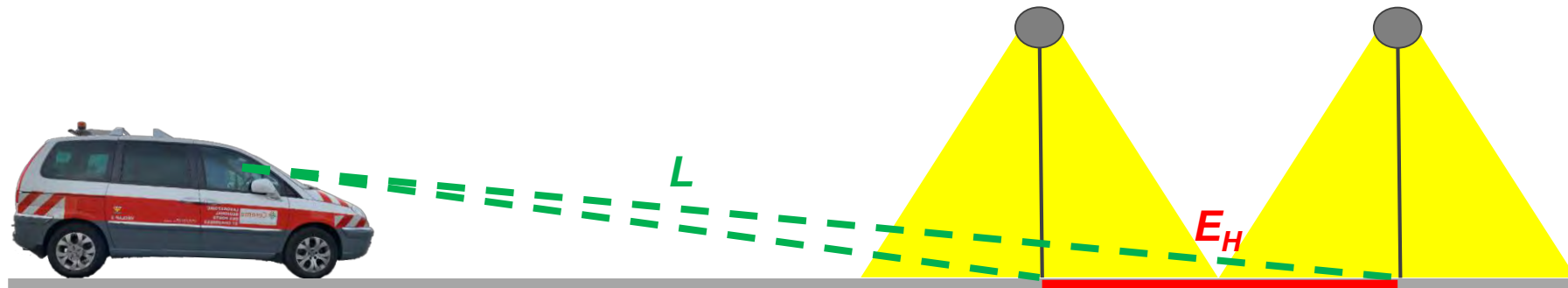
<https://www.cerema.fr/fr/centre-ressources/boutique/aube-amenagement-urbanisme-biodiversite-eclairage>

BASES EN ÉCLAIRAGE ROUTIER

Grandeurs photométriques de référence

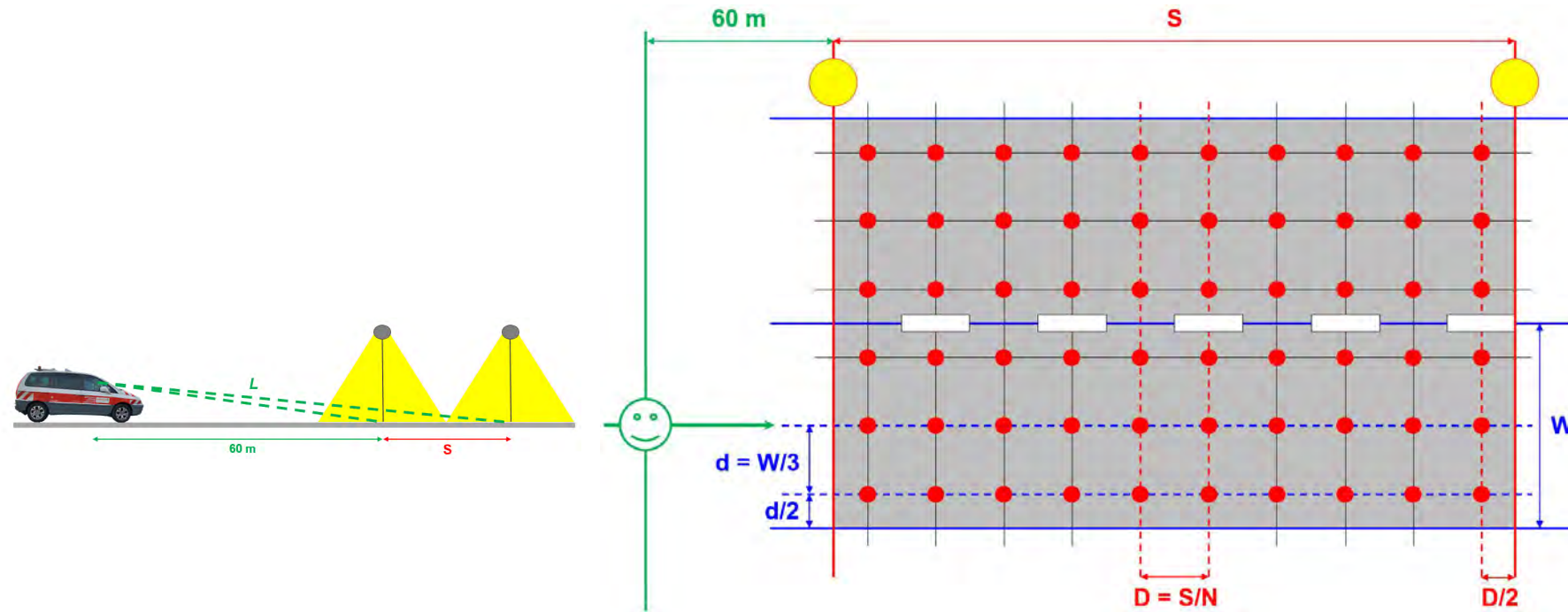
L'**éclairage horizontal** E_H représente la quantité de lumière produite par une installation d'éclairage et distribuée sur la chaussée. Il s'exprime en **lux**.

La **luminance** L est la quantité de lumière réfléchie par une chaussée éclairée en direction de l'utilisateur. Elle s'exprime en **cd/m²**.



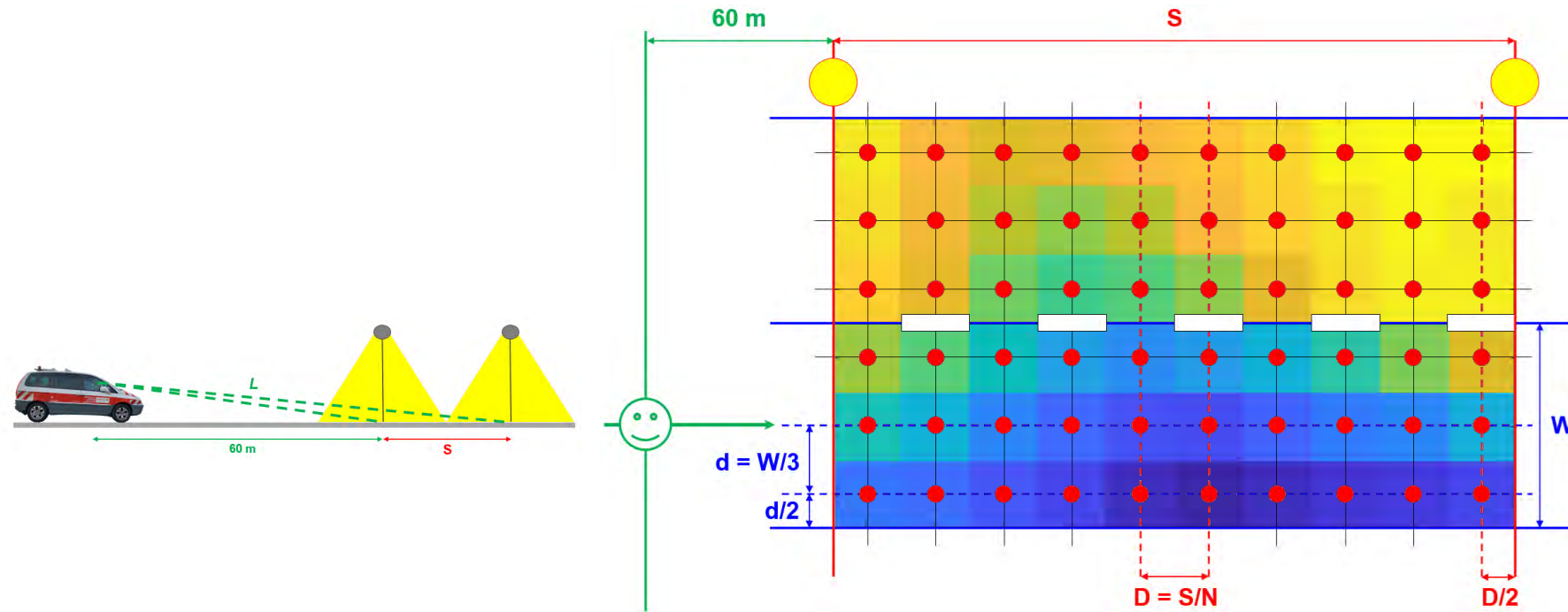
BASES EN ÉCLAIRAGE ROUTIER

Performances photométriques des installations d'éclairage



BASES EN ÉCLAIRAGE ROUTIER

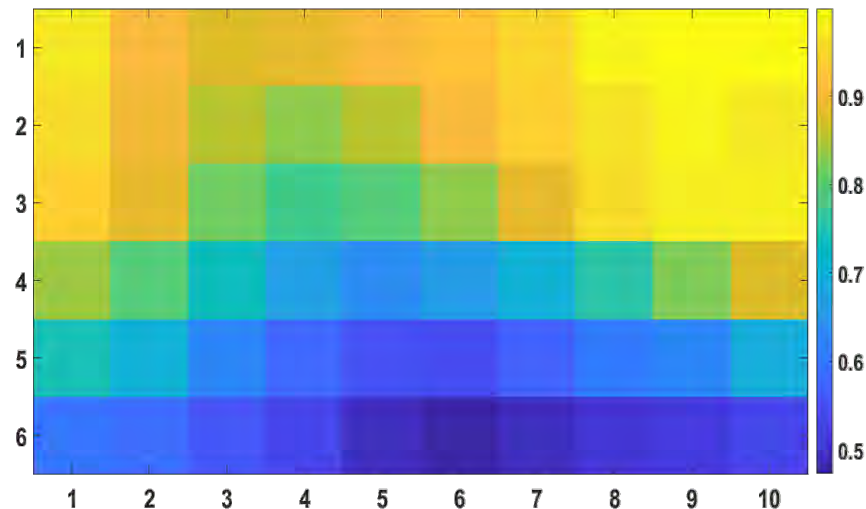
Performances photométriques des installations d'éclairage



BASES EN ÉCLAIRAGE ROUTIER

Performances photométriques des installations d'éclairage

Luminance moyenne (L_{moy}) : Moyenne des luminances de la grille



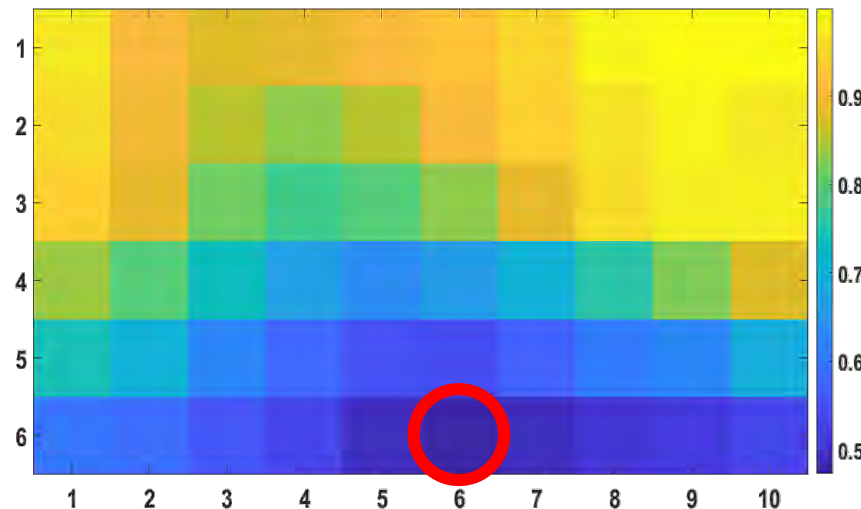
Diagnostic photométrique des installations
d'éclairage par HDR-ILMD

BASES EN ÉCLAIRAGE ROUTIER

Performances photométriques des installations d'éclairage

Luminance moyenne (L_{moy}) : Moyenne des luminances de la grille

Uniformité générale (U_0) : Rapport de la **luminance minimale** de la grille sur la luminance moyenne



Diagnostic photométrique des installations d'éclairage par HDR-ILMD

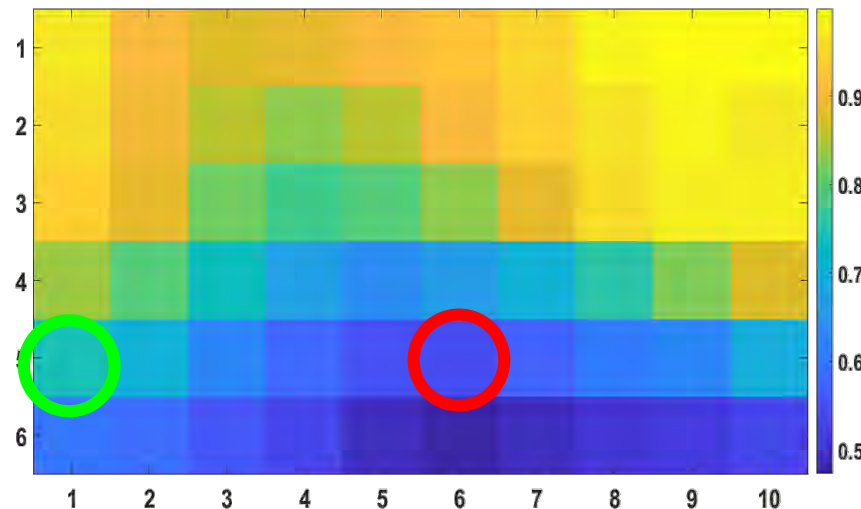
BASES EN ÉCLAIRAGE ROUTIER

Performances photométriques des installations d'éclairage

Luminance moyenne (L_{moy}) : Moyenne des luminances de la grille

Uniformité générale (U_0) : Rapport de la luminance minimale de la grille sur la luminance moyenne (L_{moy})

Uniformité longitudinale (U_l) : Rapport de la **luminance minimale** sur la **luminance maximale** dans l'axe de l'observateur



Diagnostic photométrique des installations d'éclairage par HDR-ILMD

BASES EN ÉCLAIRAGE ROUTIER

Performances photométriques des installations d'éclairage

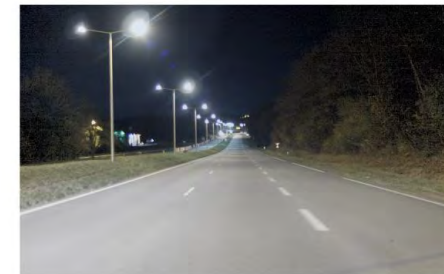
Luminance moyenne (L_{moy}) : Moyenne des luminances de la grille

Uniformité générale (U_0) : Rapport de la luminance minimale de la grille sur la luminance moyenne (L_{moy})

Uniformité longitudinale (U_l) : Rapport de la luminance minimale sur la luminance maximale dans l'axe de l'observateur

Threshold Increment (TI) : Limitation de l'éblouissement d'incapacité

$$TI = 65 \frac{L_{voile}}{L_{moy}^{0,8}}$$



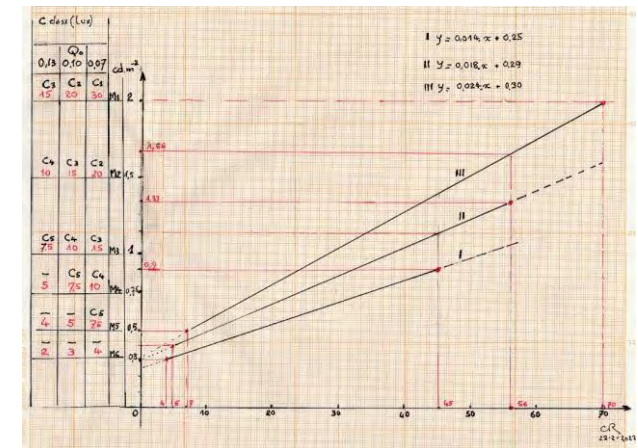
Diagnostic photométrique des installations d'éclairage par HDR-ILMD

BASES EN ÉCLAIRAGE ROUTIER

Performances photométriques des installations d'éclairage

Variables examinées pour dimensionner les besoins d'éclairage :

- Type d'usagers principal (véhicule motorisé, piéton, cycliste) ;
- Vitesse limite autorisée ;
- Trafic (volume, composition) ;
- Géométrie de la route ;
- Luminosité ambiante ;
- Tâche de navigation / charge mentale.



Crédit illustration : Christian Remande (AFE)

BASES EN ÉCLAIRAGE ROUTIER

Performances photométriques des installations d'éclairage

	Luminance moyenne	Uniformité générale	Uniformité longitudinale	Threshold Increment
Classe M1	2,00 cd/m ²	0,40	0,70	10 %
Classe M2	1,50 cd/m ²	0,40	0,70	10 %
Classe M3	1,00 cd/m ²	0,40	0,60	15 %
Classe M4	0,75 cd/m ²	0,40	0,60	15 %
Classe M5	0,50 cd/m ²	0,35	0,40	15 %
Classe M6	0,30 cd/m ²	0,35	0,40	20 %

Qu'est-ce qu'un
HDR-ILMD ?



QU'EST-CE QU'UN HDR-ILMD ?

Définition

High Dynamic Range – Imaging Luminance Measurement Device (HDR-ILMD) : Système d'imagerie HDR permettant de réaliser des mesures de luminance.

QU'EST-CE QU'UN HDR-ILMD ?

Motivation

Dynamique de luminance du système visuel humain : 10^{-6} à 10^{+8} cd/m².

Dynamique de luminance en éclairage public : 10^{-1} à 10^{+5} cd/m².

→ Dynamiques dépassant les capacités d'une caméra.

→ Nécessité d'utiliser des techniques d'imagerie HDR.



QU'EST-CE QU'UN HDR-ILMD ?

Utilisation

Mesures de luminance en dynamique pour le diagnostic de performance d'installations d'éclairage.

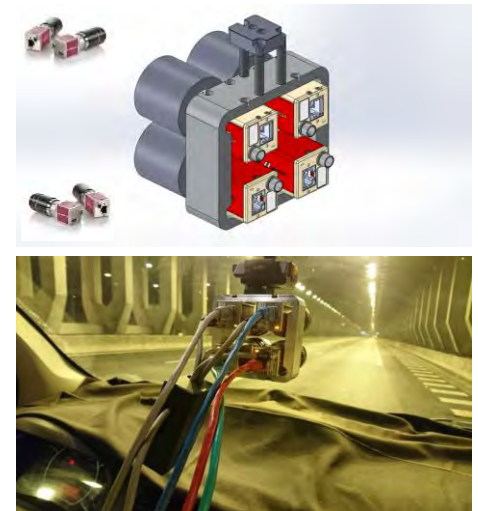
→ Nécessité d'utiliser plusieurs caméras exposées différemment.

QU'EST-CE QU'UN HDR-ILMD ?

Ajustage photométrique

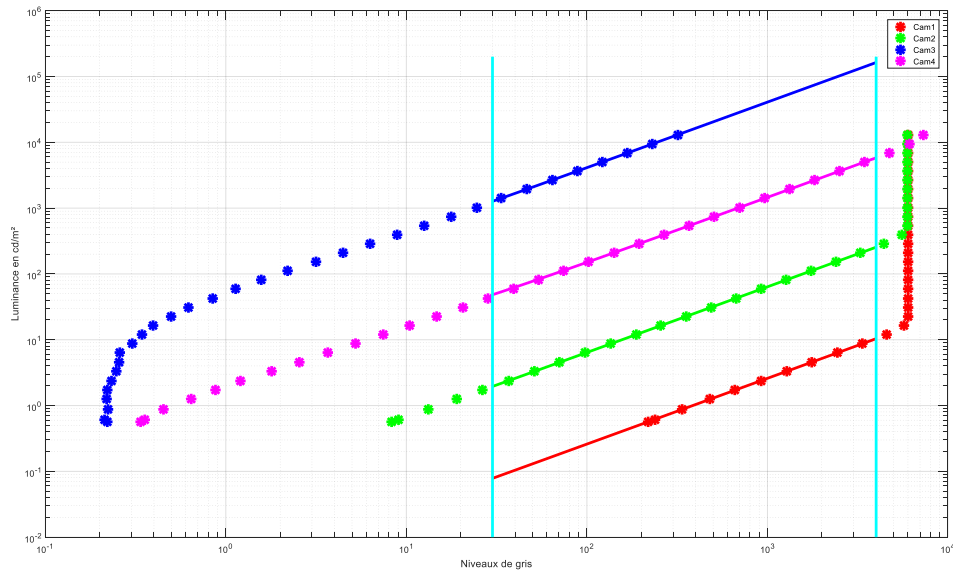
Caractéristiques et paramètres d'exposition :

- 4 caméras synchrones CMOS 12bits ; 1216 x 1936 ; Objectif de 12,5 mm de focale
- **CAM1** : $T_{\text{exp}} = 10 \text{ ms}$; Ouverture = 3,5 ; Gain = 20 dB
- **CAM2** : $T_{\text{exp}} = 10 \text{ ms}$; Ouverture = 3,5 ; Gain = 0 dB ; filtre ND 0,6
- **CAM3** : $T_{\text{exp}} = 10 \text{ ms}$; Ouverture = 3,5 ; Gain = 0 dB ; filtre ND 2,0
- **CAM4** : $T_{\text{exp}} = 10 \text{ ms}$; Ouverture = 3,5 ; Gain = 0 dB ; filtre ND 3,0

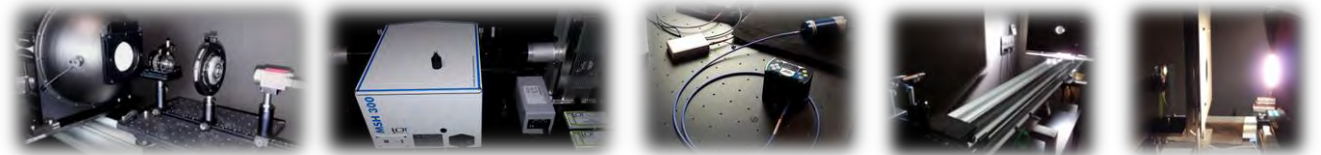


QU'EST-CE QU'UN HDR-ILMD ?

Ajustage photométrique



	Luminance min	Luminance max	Résolution
CAM1	0,005 cd/m ²	2,773 cd/m ²	10 ⁻³ cd/m ²
CAM2	0,1 cd/m ²	120,6 cd/m ²	0,03 cd/m ²
CAM3	4 cd/m ²	3 214 cd/m ²	0,8 cd/m ²
CAM4	128 cd/m ²	103 900 cd/m ²	26 cd/m ²



QU'EST-CE QU'UN HDR-ILMD ?

Ajustage photométrique

CAM1



CAM2



CAM3



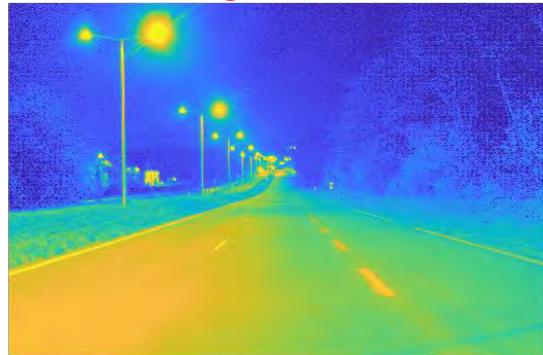
CAM4



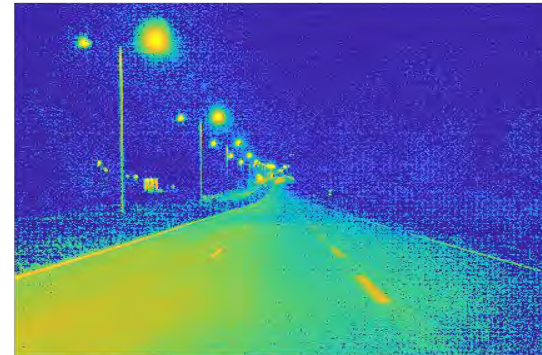
QU'EST-CE QU'UN HDR-ILMD ?

Ajustage photométrique

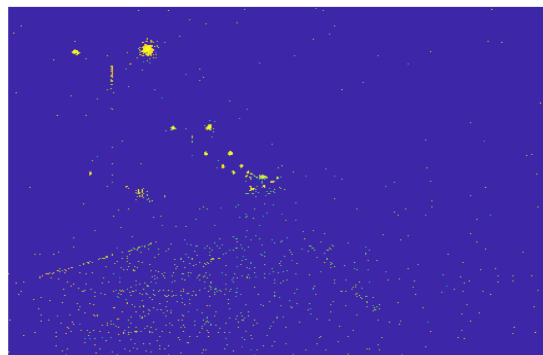
CAM1



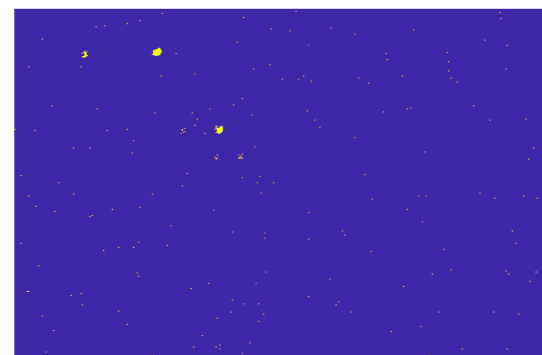
CAM2



CAM3



CAM4



QU'EST-CE QU'UN HDR-ILMD ?

Calibrage géométrique

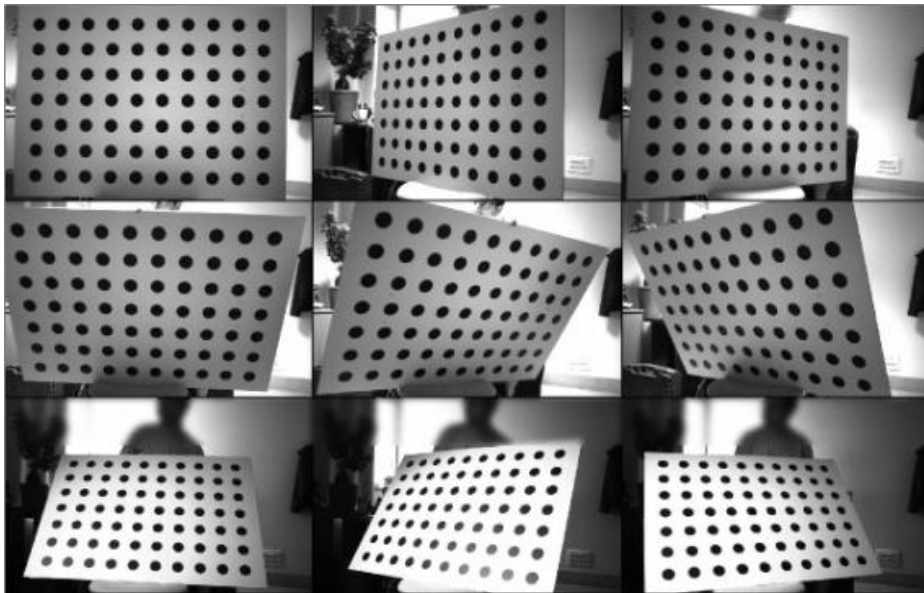


QU'EST-CE QU'UN HDR-ILMD ?

Calibrage géométrique

HDR-ILMD = double système stéréoscopique

→ Utilisation des techniques de calibrage pour réaliser une double rectification d'images



Intrinsic Parameters of Cameras

	CAM1	CAM2	CAM3	CAM4
Focal length [f_u, f_v] in pixels	[2161;2162]	[2155;2156]	[2164;2165]	[2156;2157]
Principal point [u_0, v_0] in pixels	[961;627]	[959;637]	[954;640]	[979;621]

Extrinsic Parameters of Cameras

	CAM1/CAM2	CAM3/CAM4	CAM1/CAM3	CAM2/CAM4
[r_x, r_y, r_z] (mrad)	[2,37;4,32;0,76]	[0,31;-1,63;1,56]	[-4,4;1,12 ;-0,57]	[6,87;4,73;0,22]
[T_x, T_y, T_z] (mm)	[-46,2;0,15;0,88]	[-46,3 ;0,54 ;1,1]	[0,5 ;-45,3;3,3]	[0,38 ;-46,1;0,9]

QU'EST-CE QU'UN HDR-ILMD ?

Calibrage géométrique

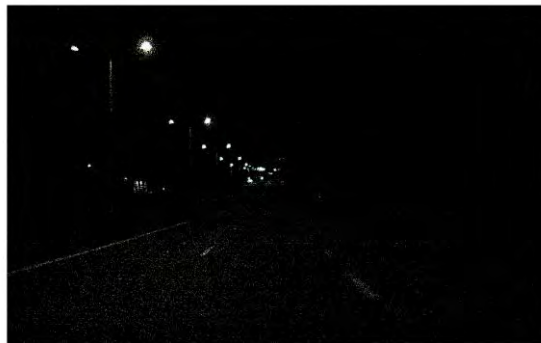
CAM1



CAM2



CAM3



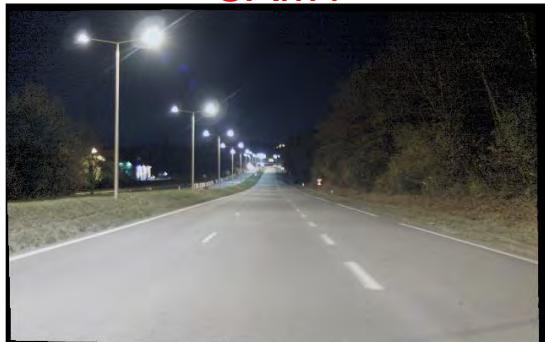
CAM4



QU'EST-CE QU'UN HDR-ILMD ?

Calibrage géométrique

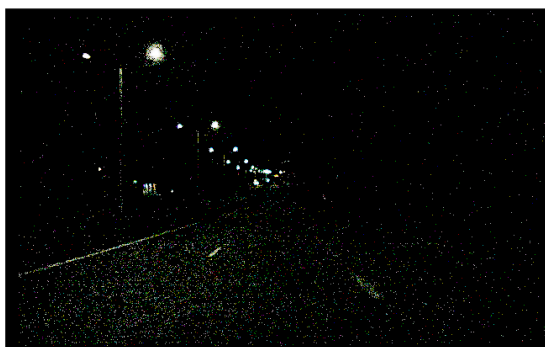
CAM1



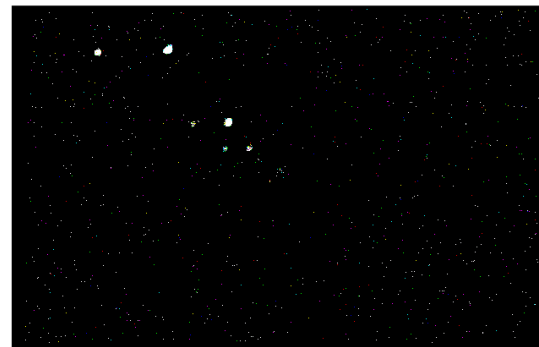
CAM2



CAM3



CAM4



QU'EST-CE QU'UN HDR-ILMD ?

Calibrage géométrique



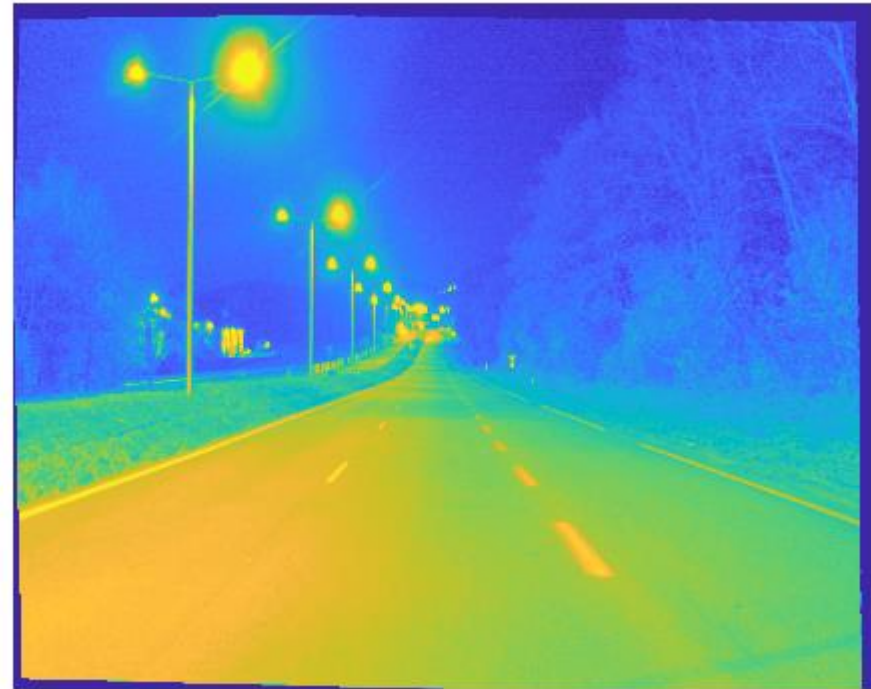
QU'EST-CE QU'UN HDR-ILMD ?

Calibrage géométrique



QU'EST-CE QU'UN HDR-ILMD ?

Fusion HDR



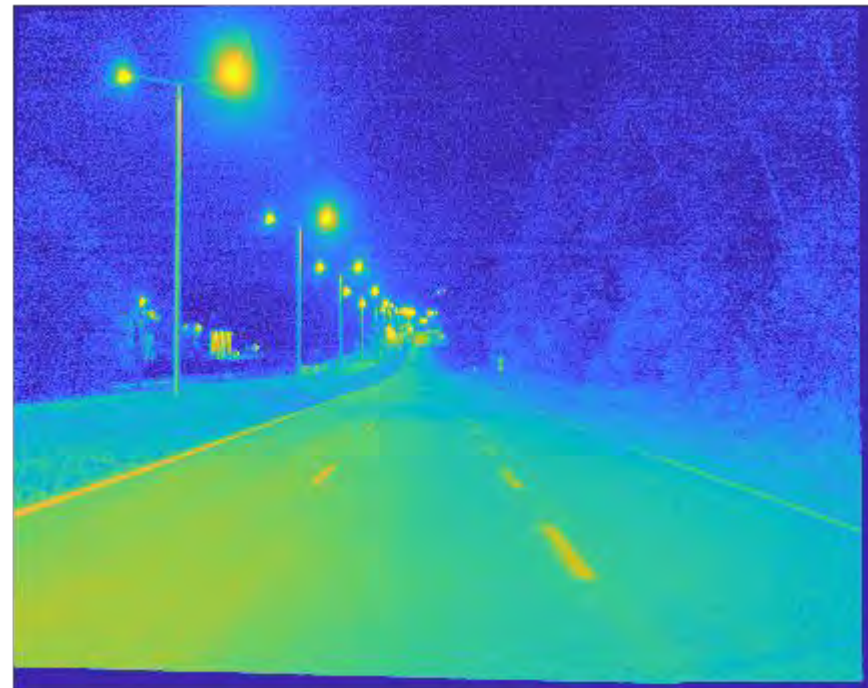
QU'EST-CE QU'UN HDR-ILMD ?

Fusion HDR



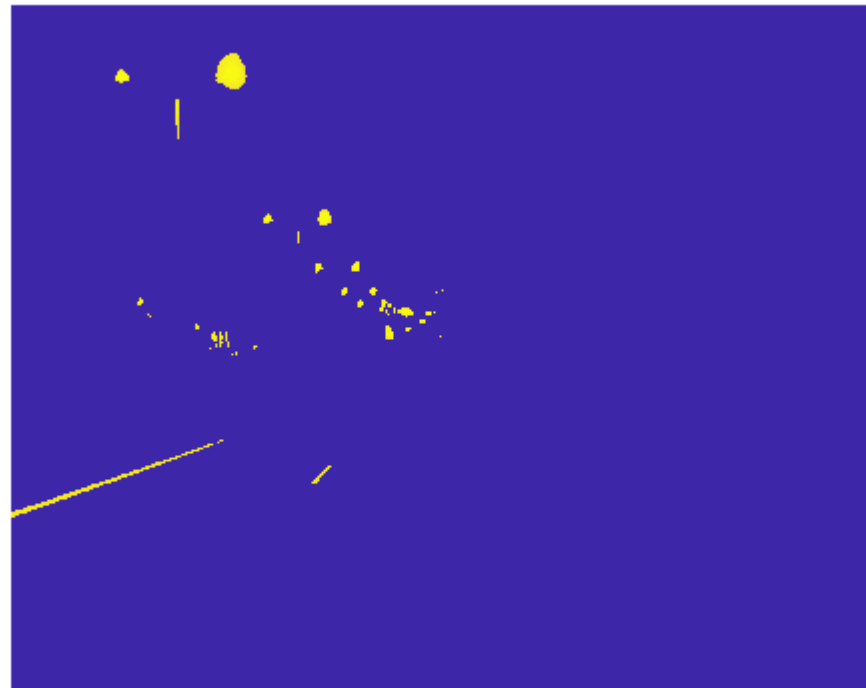
QU'EST-CE QU'UN HDR-ILMD ?

Fusion HDR



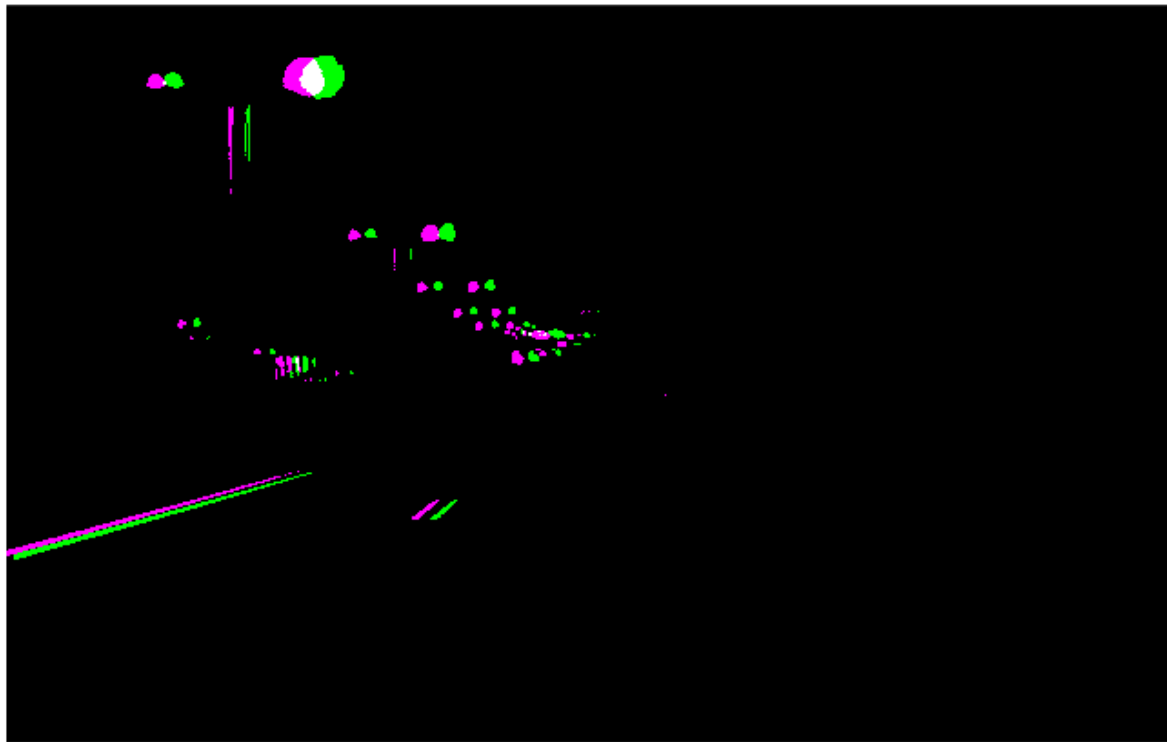
QU'EST-CE QU'UN HDR-ILMD ?

Fusion HDR



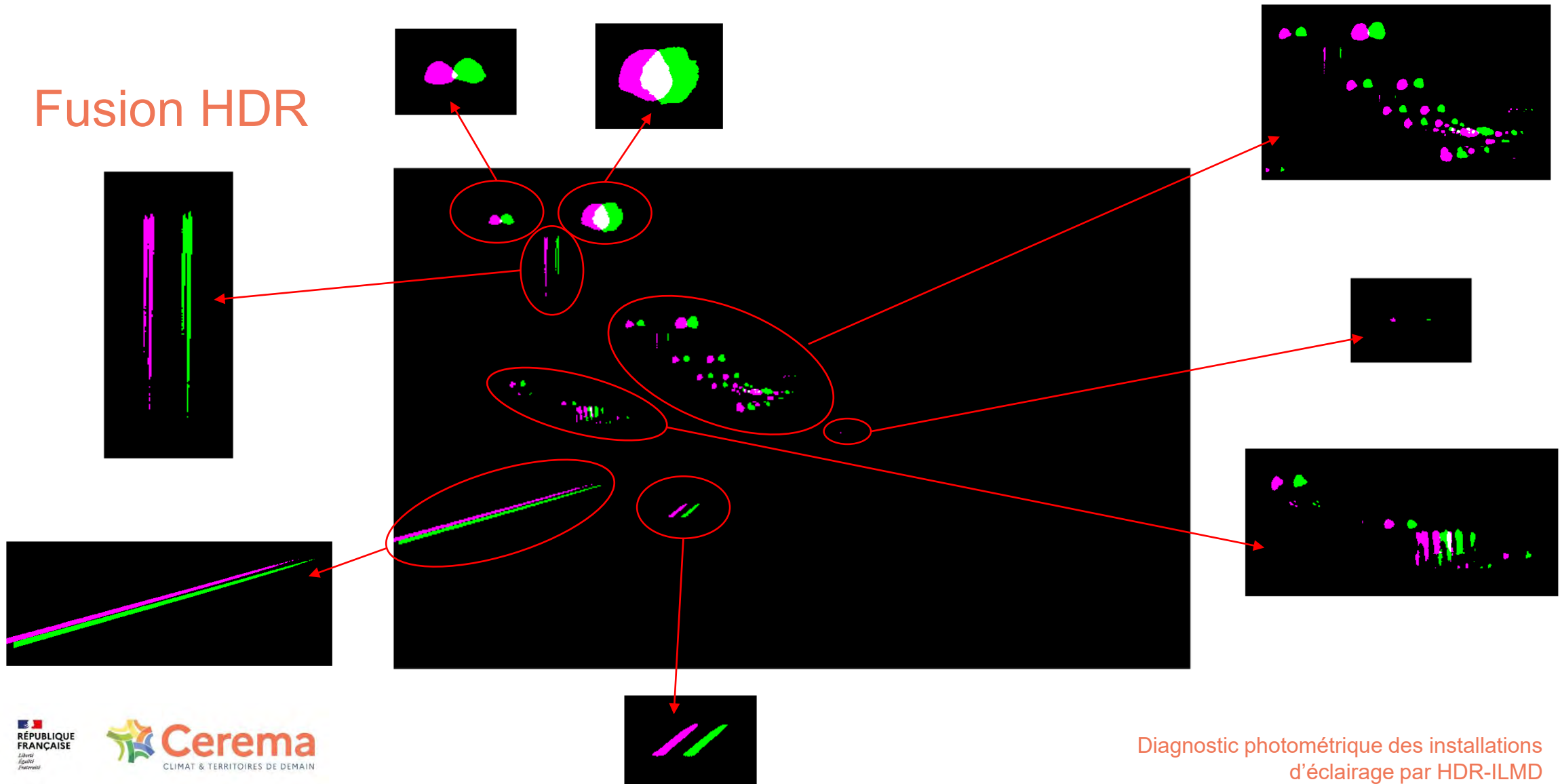
QU'EST-CE QU'UN HDR-ILMD ?

Fusion HDR



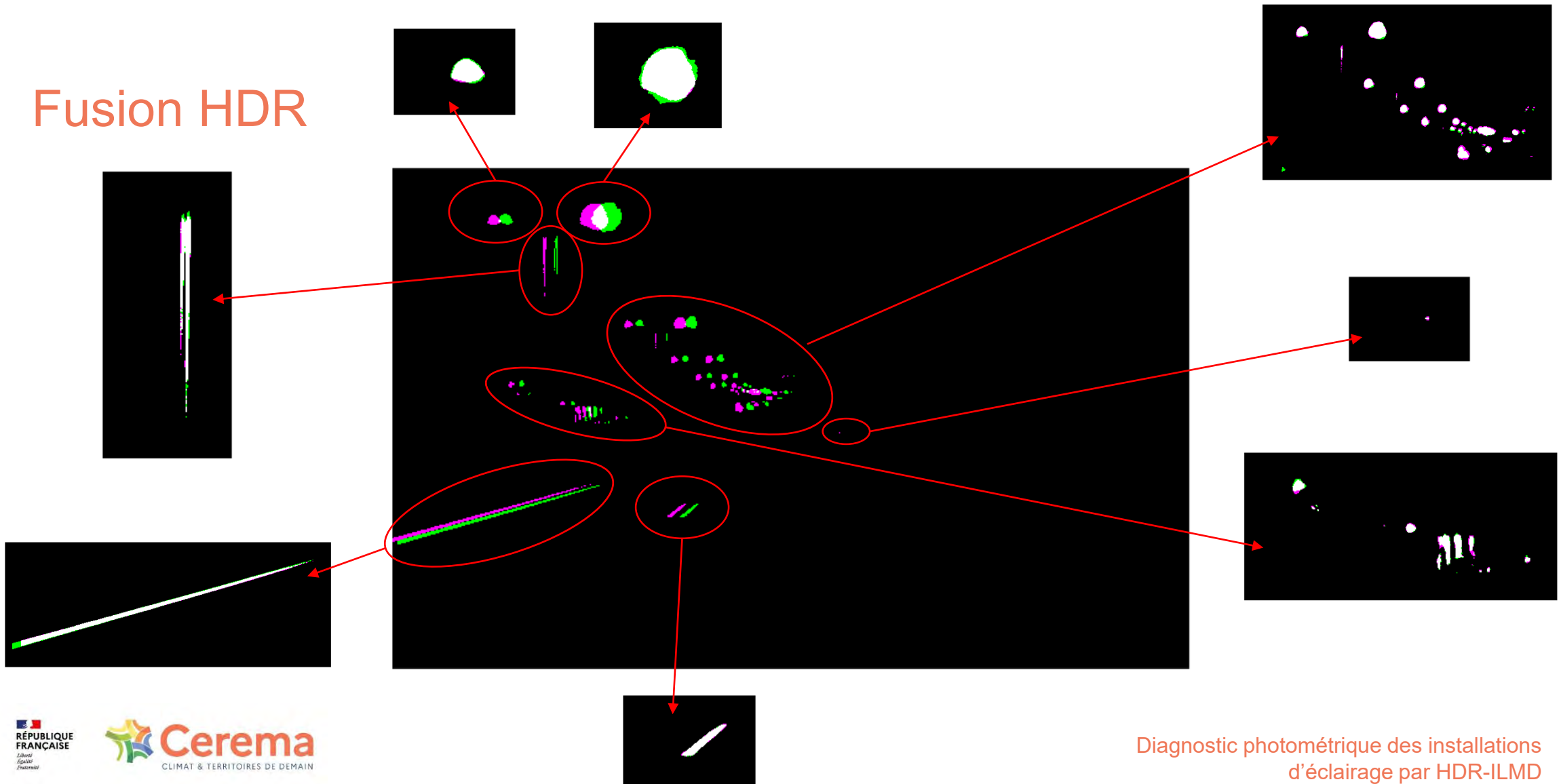
QU'EST-CE QU'UN HDR-ILMD ?

Fusion HDR



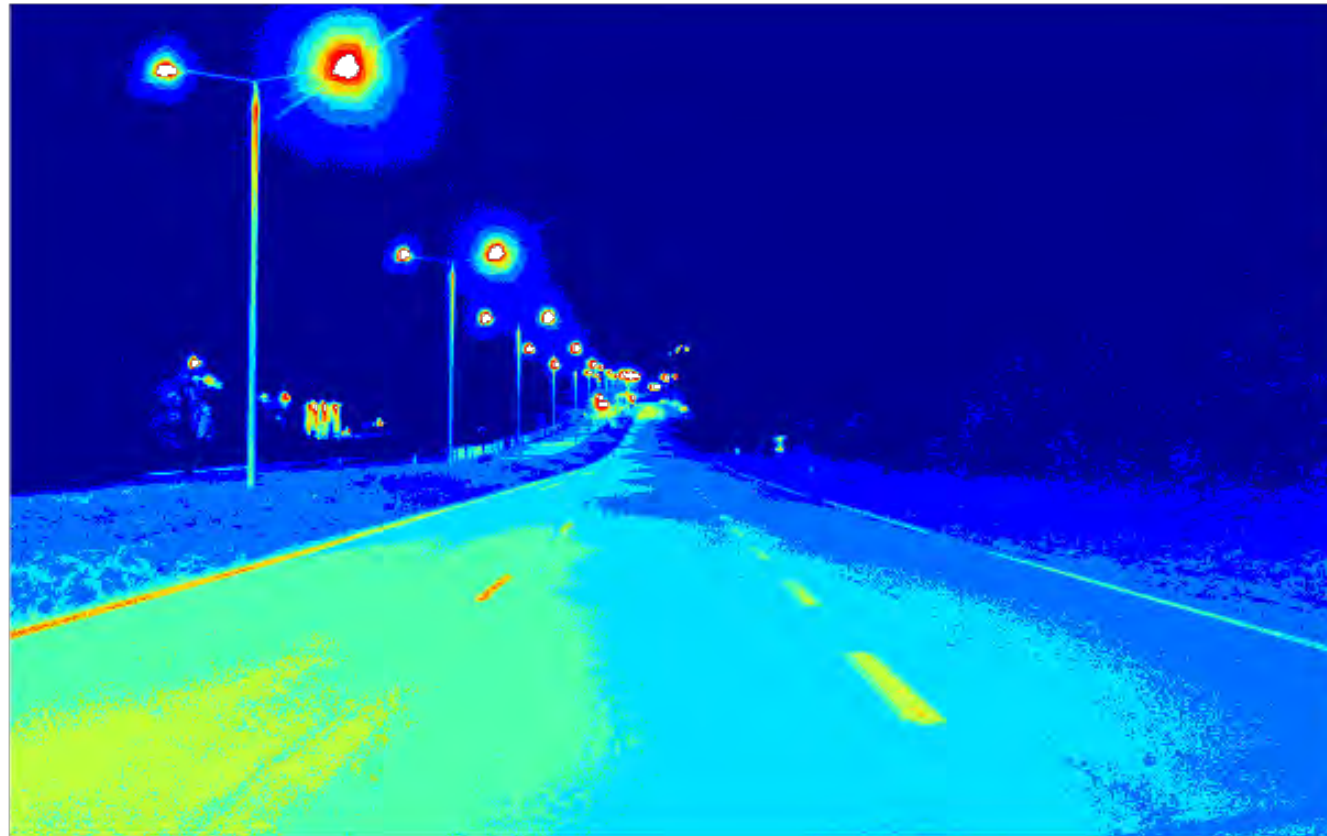
QU'EST-CE QU'UN HDR-ILMD ?

Fusion HDR



QU'EST-CE QU'UN HDR-ILMD ?

Fusion HDR



Luminance in cd/m^2

$14.46 < L$

$6.43 < L < 14.46$

$3.75 < L < 6.43$

$2.41 < L < 3.75$

$1.61 < L < 2.41$

$1.07 < L < 1.61$

$0.69 < L < 1.07$

$0.40 < L < 0.69$

$0.18 < L < 0.40$

$0.00 < L < 0.18$

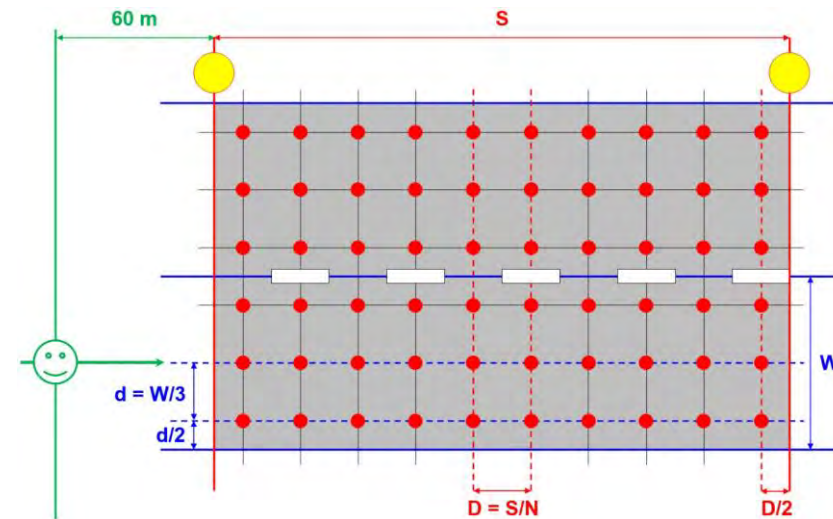
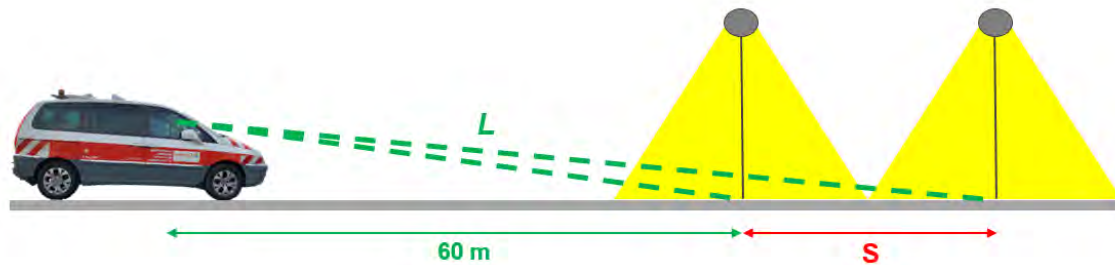
Diagnostic photométrique



DIAGNOSTIC PHOTOMÉTRIQUE

Méthodologie de mesures

HDR-ILMD embarqué dans un véhicule en mouvement



DIAGNOSTIC PHOTOMÉTRIQUE

Positionnement de la grille de mesures

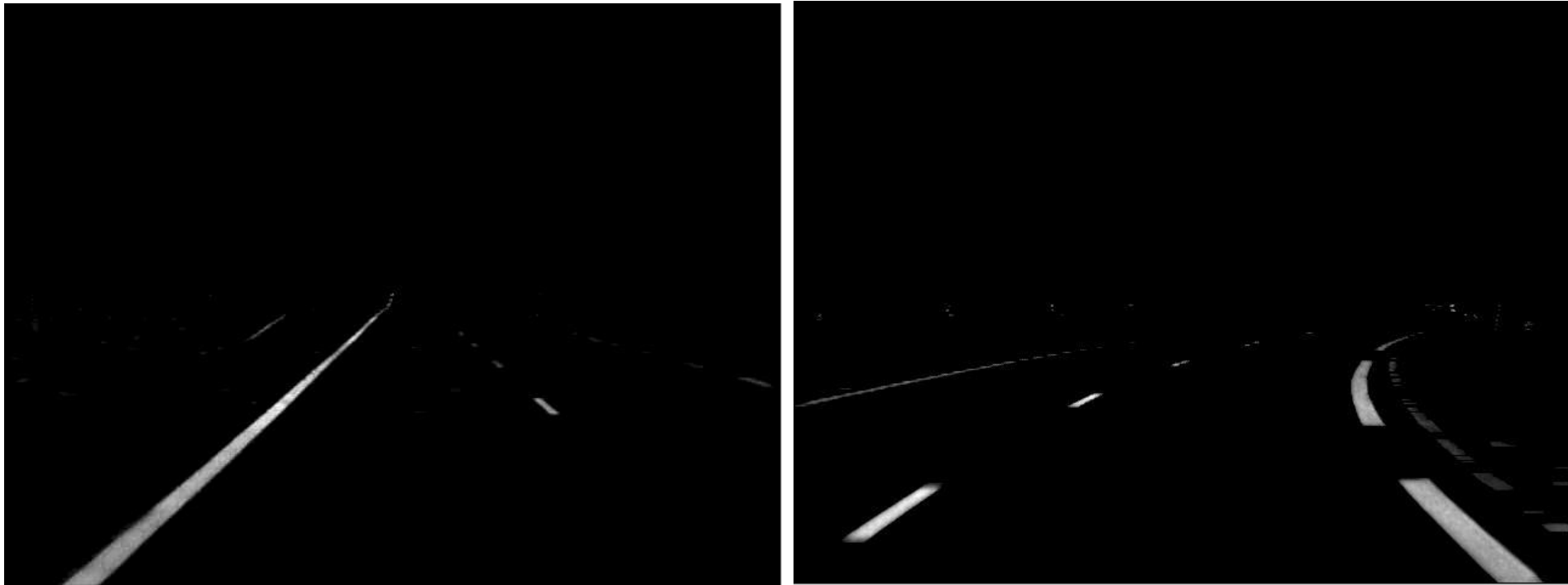
Extraction de marquages



DIAGNOSTIC PHOTOMÉTRIQUE

Positionnement de la grille de mesures

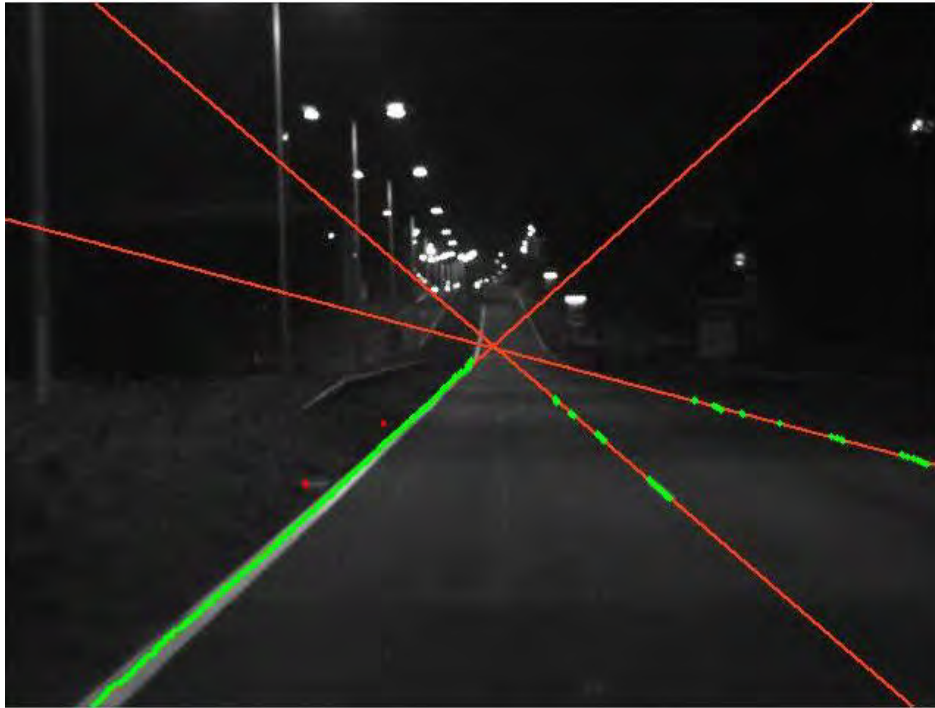
Extraction de marquages



DIAGNOSTIC PHOTOMÉTRIQUE

Positionnement de la grille de mesures

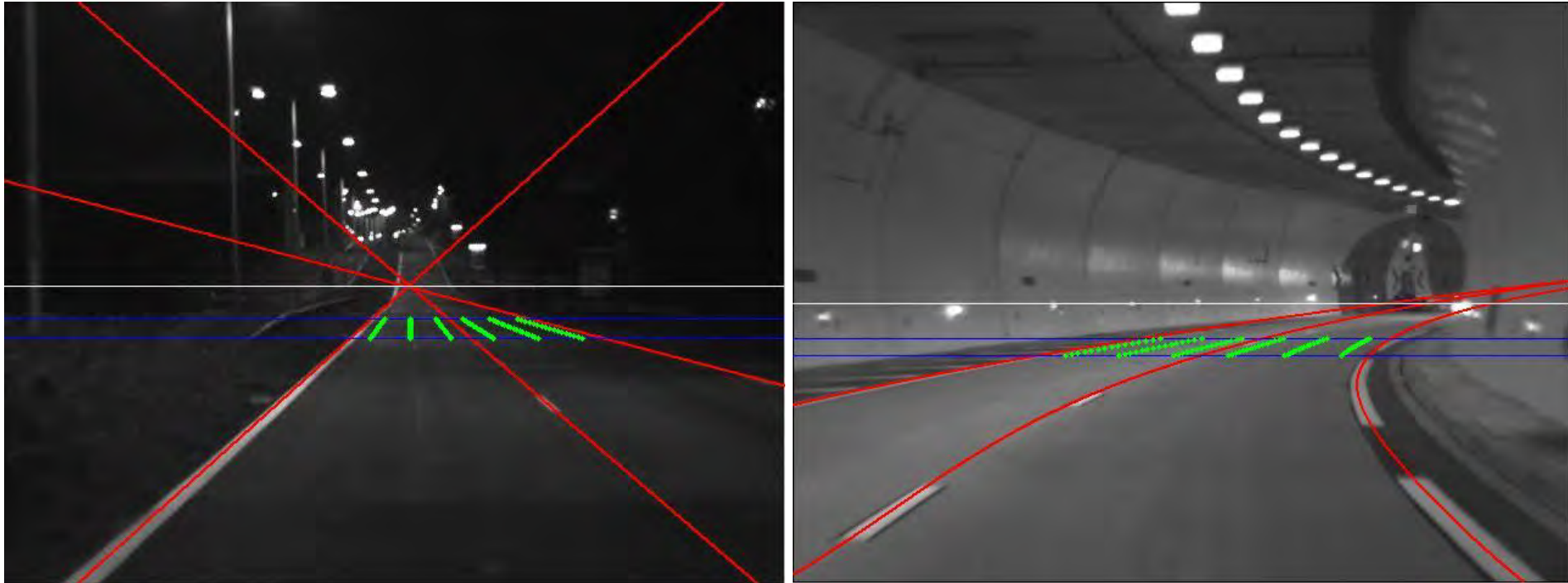
Fitting robuste



DIAGNOSTIC PHOTOMÉTRIQUE

Positionnement de la grille de mesures

Positionnement automatique de la grille



DIAGNOSTIC PHOTOMÉTRIQUE

Positionnement de la grille de mesures

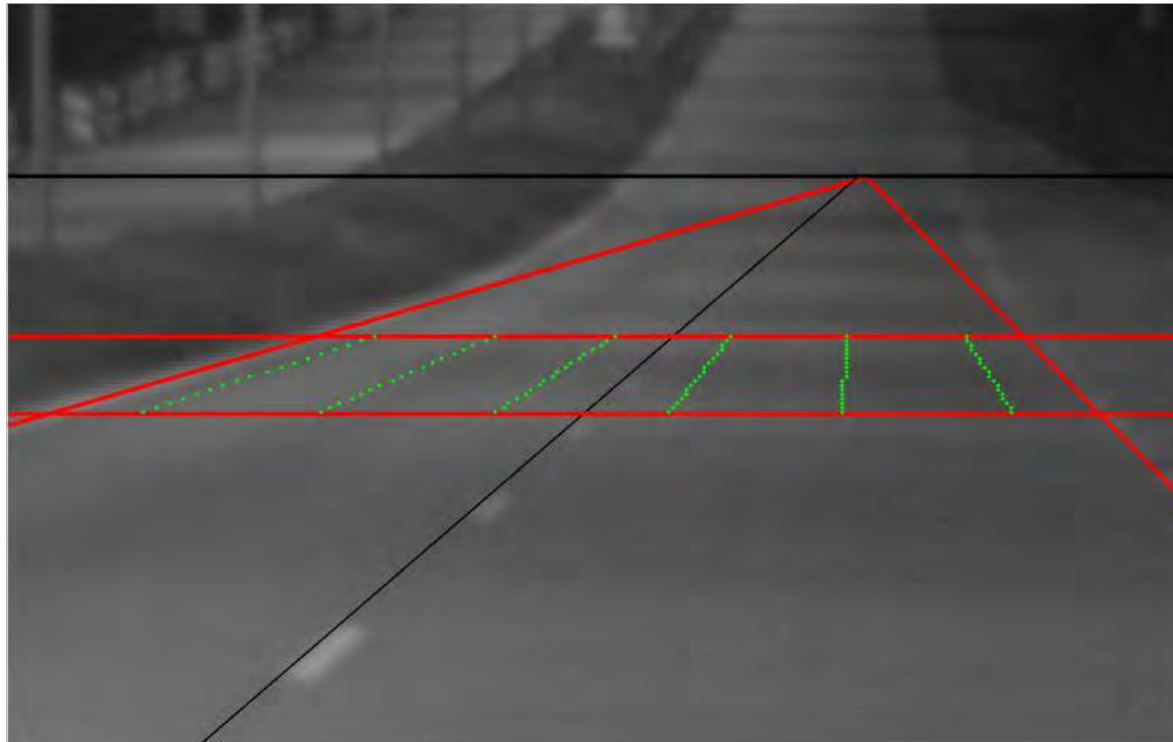
Positionnement automatique de la grille



DIAGNOSTIC PHOTOMÉTRIQUE

Positionnement de la grille de mesures

Positionnement automatique de la grille



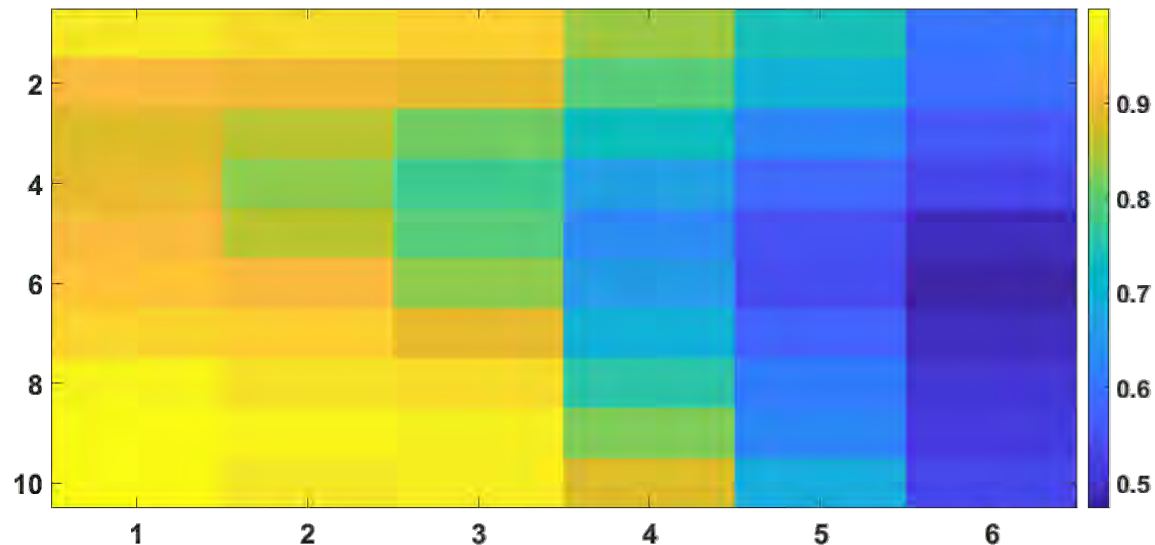
DIAGNOSTIC PHOTOMÉTRIQUE

Performances photométriques de l'installation d'éclairage

Luminance moyenne (L_{moy}) : 0,77 cd/m²

Uniformité générale (U_0) : 0,62

Uniformité longitudinale (U_l) : 0,74



DIAGNOSTIC PHOTOMÉTRIQUE

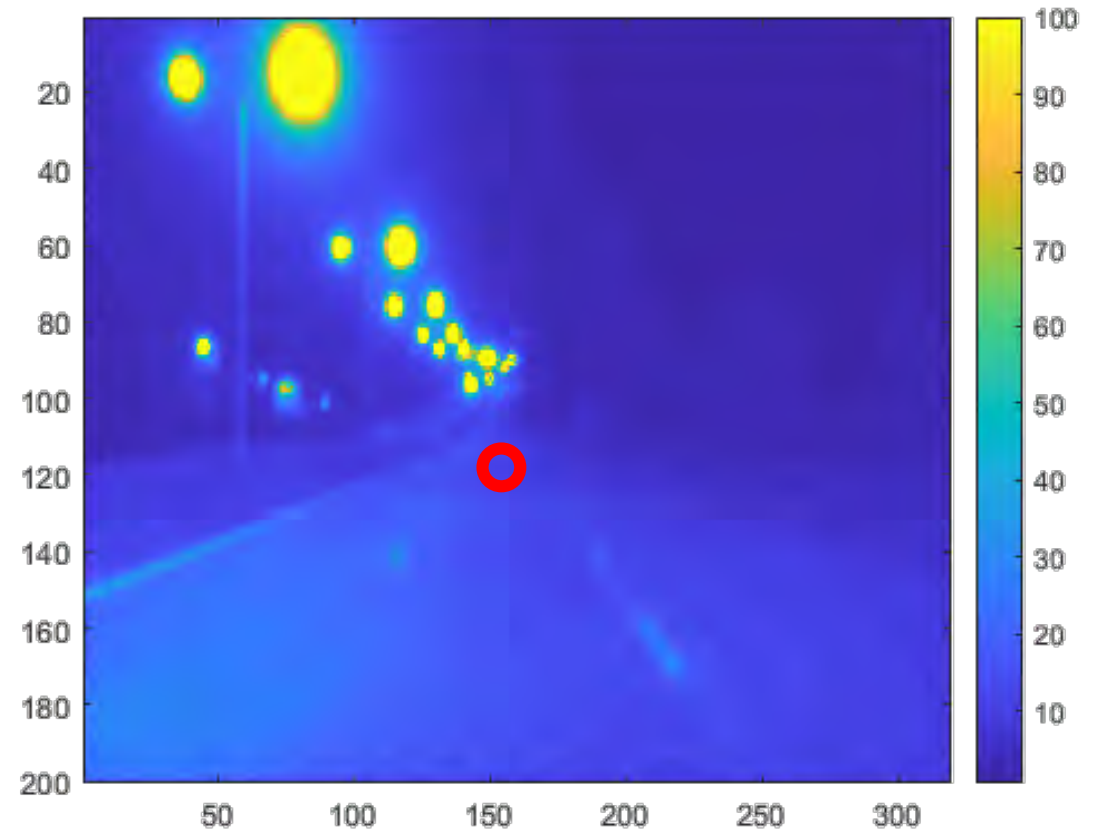
Performances photométriques de l'installation d'éclairage

Luminance moyenne (L_{moy}) : 0,77 cd/m²

Uniformité générale (U_0) : 0,62

Uniformité longitudinale (U_l) : 0,74

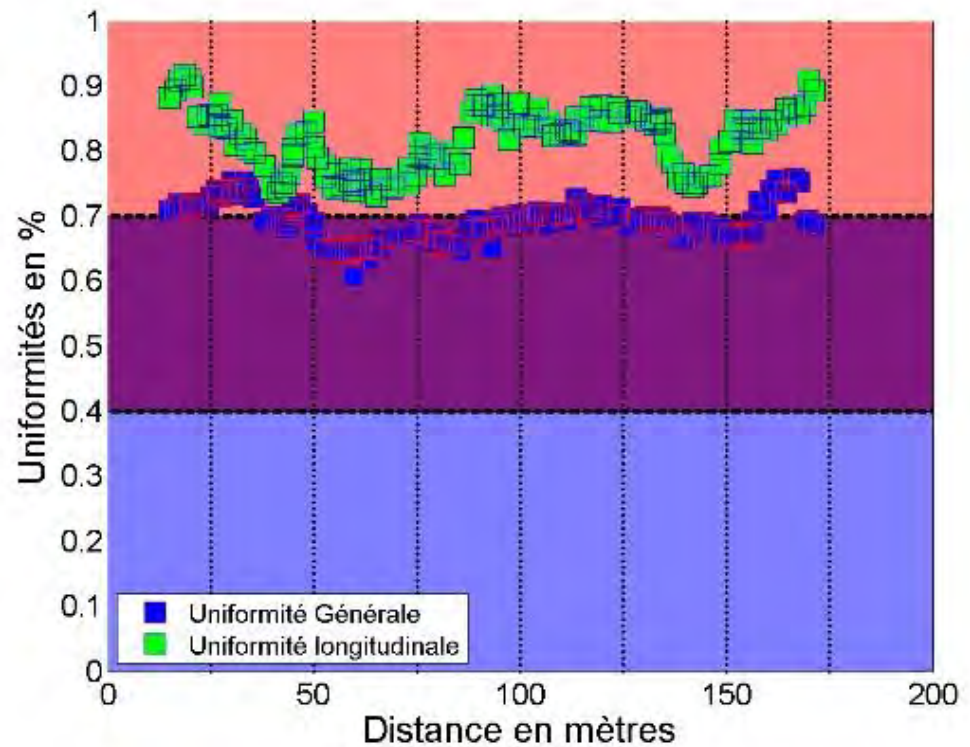
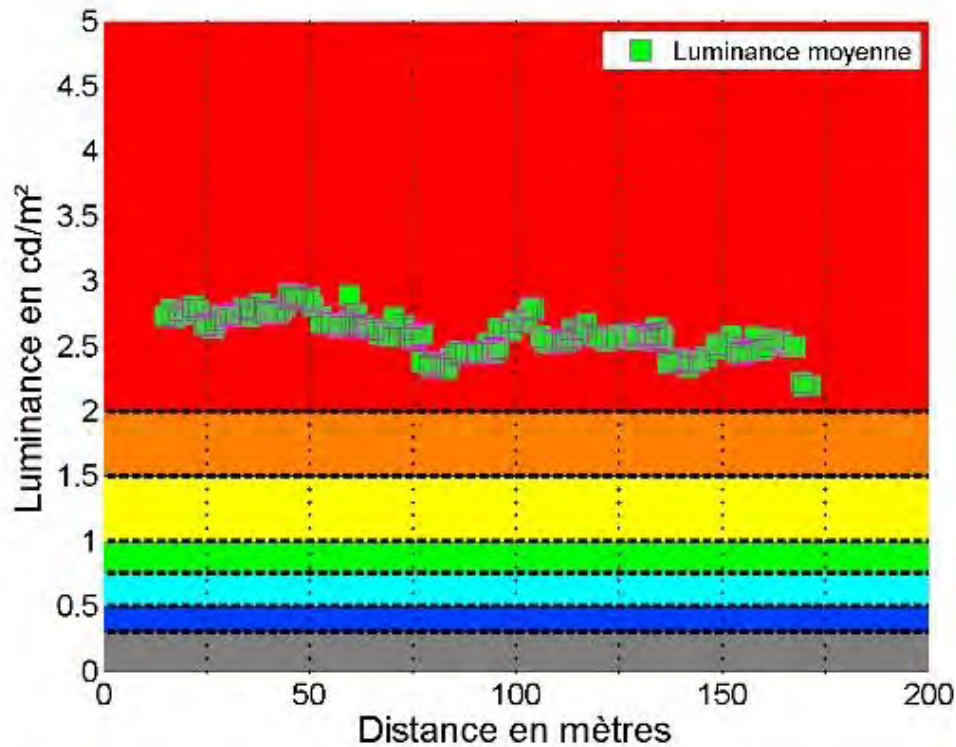
Threshold Increment (TI) : 11 %



Diagnostic photométrique des installations
d'éclairage par HDR-ILMD

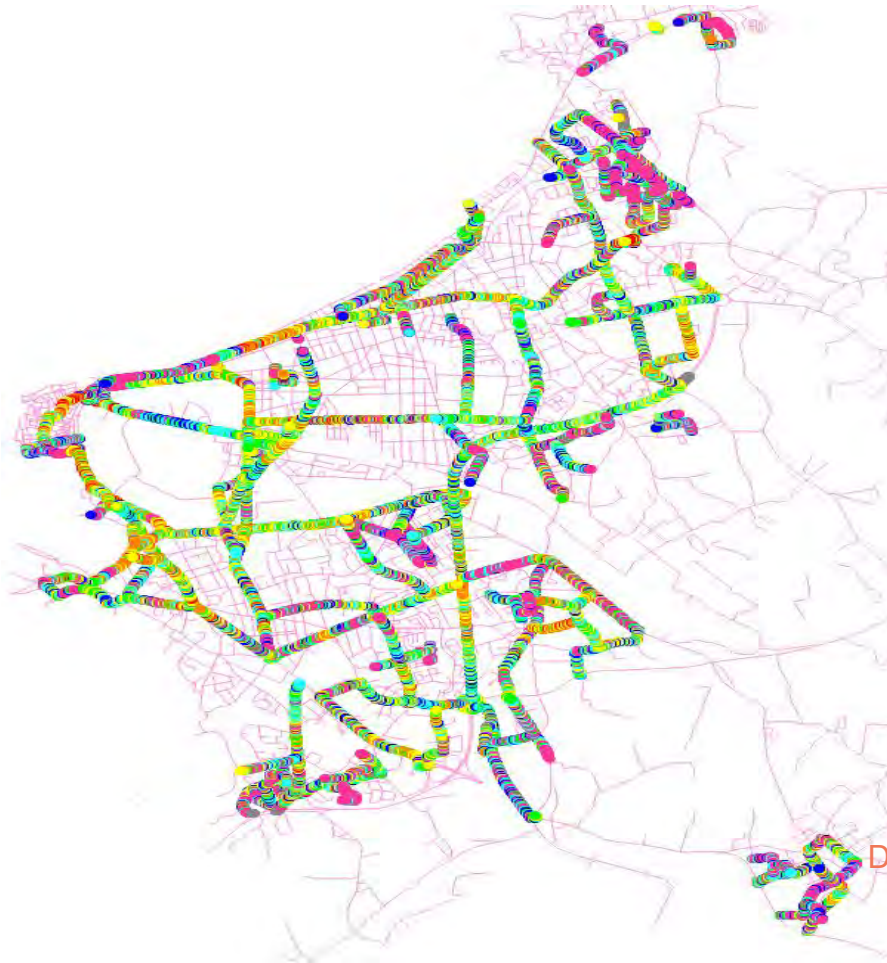
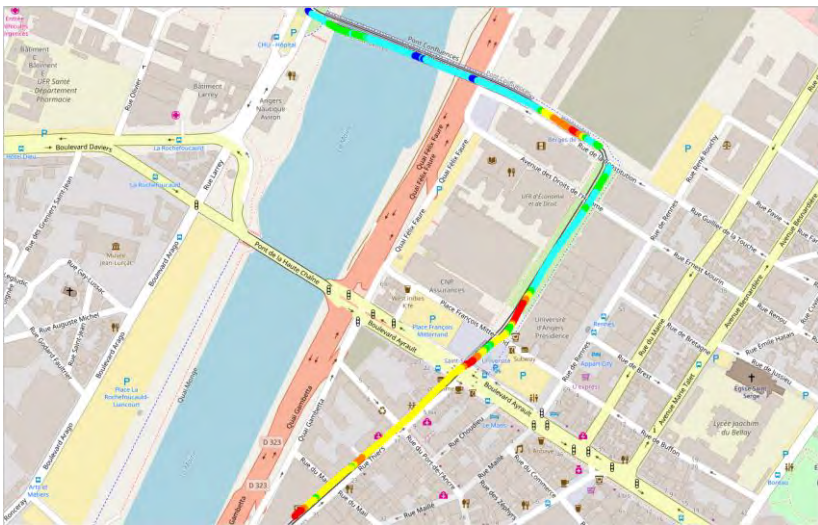
DIAGNOSTIC PHOTOMÉTRIQUE

Performances photométriques des installations d'éclairage



DIAGNOSTIC PHOTOMÉTRIQUE

Performances photométriques des installations d'éclairage



- M1 > 2
- M2 > 1.5
- M3 > 1
- M4 > 0.75
- M5 > 0.5
- M6 > 0.3
- Peu lumineux > 0.1
- HS < 0.1

DIAGNOSTIC PHOTOMÉTRIQUE

Performances photométriques des installations d'éclairage



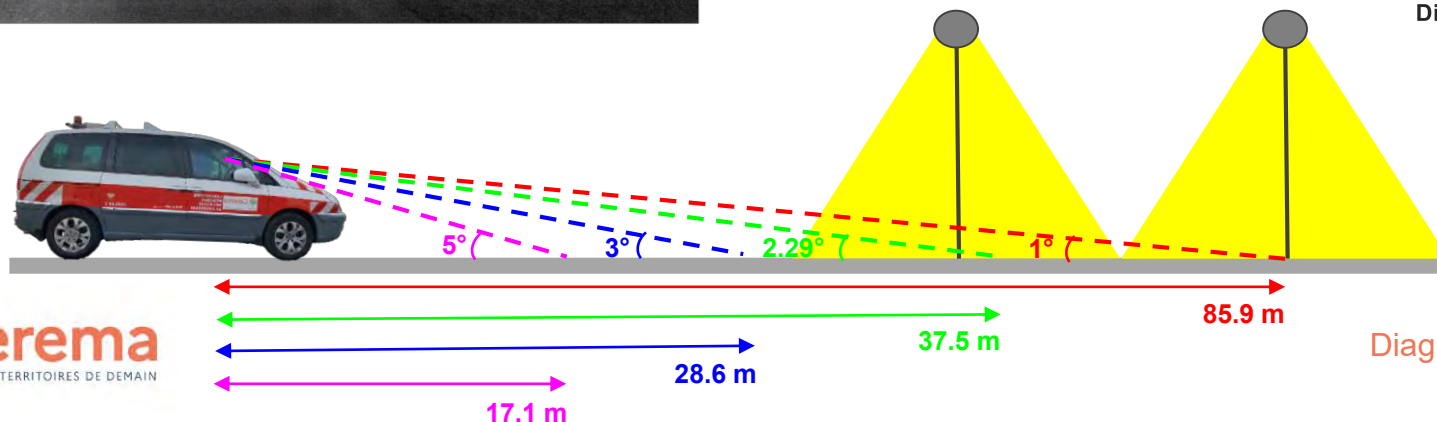
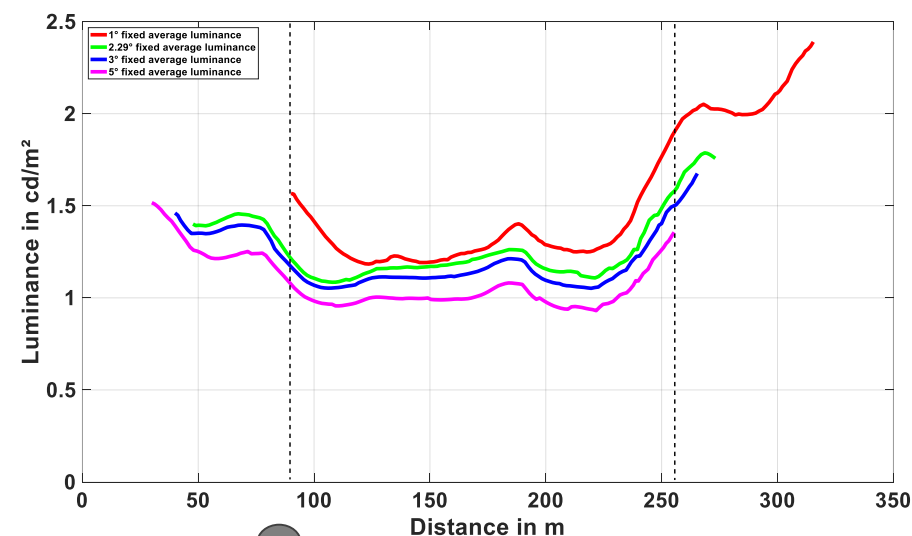
Taux de sur éclairage	41 %
Taux de juste éclairage	38 %
Taux de sous éclairage	21 %

Recherche et Perspectives



RECHERCHE ET PERSPECTIVES

Intégrer les différences d'observation entre usagers





Merci de votre attention