

Evaluation par image du risque rétinien induit par les matrices de LED

D. Brissinger (INRS)

01

Evaluation RLB:
Recommandations

02

Evaluation RLB:
Pratiques

03

Evaluation RLB à partir
d'une image en luminance

Risque lumière bleue pas « chronique »

Ecrans d'ordinateur, smartphone, lumino-thérapie, éclairage « classique »...

- RST 09/2016, QR 147 : « Exposition à la lumière bleue. Quels sont les risques ? »
- RST 09/2020, Grand angle : « Diodes électroluminescentes : quels risques pour les travailleurs exposés à la lumière bleue ? »

• Pas sans risques « chroniques » ou « chronobiologiques »

- Vieillesse accélérée ?... DMLA ?...

→ Risques lumière bleue « photobiologiques » - RLB

- Liés à une exposition 'intense'

Risque lumière bleue « photobiologique »

Problématique:

Complicée parce que au fond de l'œil...

- Pas de mesure directe de ce qui est reçu (→ intensité proportionnelle à ce qui est émis)
- Localisation au point image (pas sur toute la rétine...)
- Mouvement de l'œil (→ cumul de différentes images dans le temps)

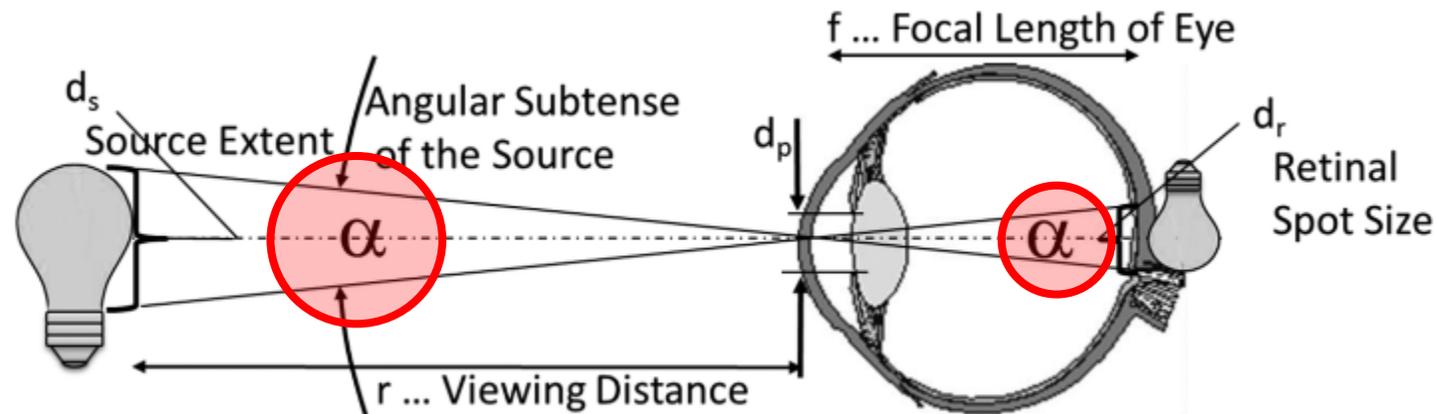


Fig. 3. Imaging of a broad band source on the retina showing the planar angular subtense, α , of the source.

ICNIRP: ON LIMITS OF EXPOSURE TO INCOHERENT VISIBLE AND INFRARED RADIATION, HEALTH PHYSICS 105(1):74-96; 2013

RLB selon le Code du 'w'

LIMITES D'EXPOSITION (LE)

Domaine spectral	Effets du rayonnement	Grandeurs énergétiques calculées	Limites d'exposition (LE)
300 - 700 nm	Yeux : Lésions rétiniennees par effet photochimique	Sources étendues : $\alpha \geq 0,011$ rd $L_{VIS,t} = \sum_{300}^{700} L_{\lambda} B_{\lambda} \Delta\lambda t$ pour $t \leq 10^4$ s $L_{VIS} = \sum_{300}^{700} L_{\lambda} B_{\lambda} \Delta\lambda$ pour $t > 10^4$ s Sources ponctuelles : $\alpha < 0,011$ rd $H_{VIS} = \sum_{300}^{700} E_{\lambda} B_{\lambda} \cdot \Delta\lambda t$ pour $t \leq 10^4$ s $E_{VIS} = \sum_{300}^{700} E_{\lambda} B_{\lambda} \cdot \Delta\lambda$ pour $t > 10^4$ s	$10^6 \text{ J.m}^{-2}.\text{sr}^{-1}$ $10^2 \text{ W.m}^{-2}.\text{sr}^{-1}$ 10^2 J.m^{-2} 10^{-2} W.m^{-2}
380 - 1400 nm	Yeux : Lésions rétiniennees par effet thermique (visible+IR)	$L_{VISIRA} = \sum_{380}^{1400} L_{\lambda} R_{\lambda} \Delta\lambda$	$\frac{5 \cdot 10^4}{\alpha^{1/4}}$ pour $10^{-5} \text{ s} \leq t \leq 10 \text{ s}$ et $0,0017 \text{ rd} \leq \alpha \leq 0,1 \text{ rd}$ (1)

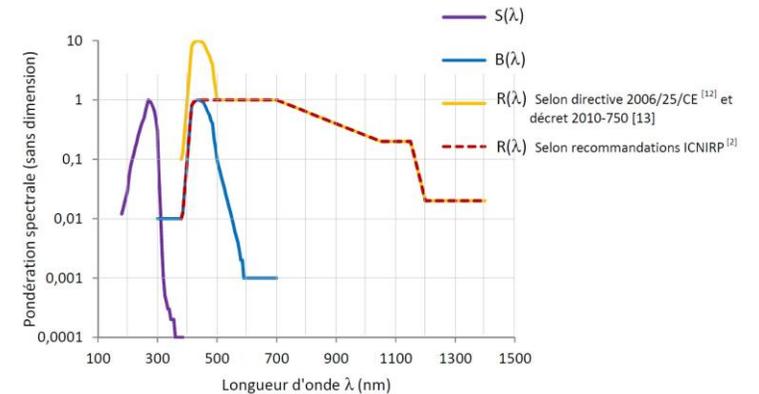
(1) Si $t < 10^{-5}$ s ou $t > 10$ s, LE est calculée en prenant respectivement $t = 10^{-5}$ s ou $t = 10$ s.
 Si $\alpha < 0,0017$ rd ou $\alpha > 0,1$ rd, LE est calculée en prenant respectivement $\alpha = 0,0017$ rd ou $\alpha = 0,1$ rd.
 (2) Si $\alpha < 0,011$ rd ou $\alpha > 0,1$ rd, LE est calculée en prenant respectivement $\alpha = 0,011$ rd ou $\alpha = 0,1$ rd.

S_{λ} , B_{λ} , R_{λ} : efficacités relatives spectrales des rayonnements [3,4]

11mrad = 11mm à 1m

• Avant la généralisation des Leds

$$L_B = \int_{300}^{700} L_{\lambda} \cdot B_{\lambda} \cdot \delta\lambda = \sum_{300}^{700} L_{\lambda} \cdot B_{\lambda} \cdot \Delta\lambda$$



Max = 1 @435-440 nm

RLB selon l'EN 62 471

VLE cohérentes

Tableau 5.4 Résumé des limites d'exposition pour la surface de la peau ou de la cornée
(valeur basée sur l'éclairement énergétique)

Identification du risque	Equation spécifique	Extension des longueurs d'ondes nm	Durée des expositions secondes	Ouverture radian (degré)	LE en éclairement énergétique constant $W m^{-2}$
Lumière bleue - petite source	$E_B = \sum E_\lambda \cdot B(\lambda) \cdot \Delta\lambda$	300 – 700	≤ 100 > 100	$< 0,011$	$100/t$ $1,0$

Tableau 5.5 Résumé des limites d'exposition pour la rétine
(valeurs basées sur l'éclairement énergétique)

Identification du risque	Equation spécifique	Extension des longueurs d'ondes nm	Durée des expositions secondes	Champ de vision radians	LE en luminance énergétique constant $W \cdot m^{-2} \cdot sr^{-1}$
Lumière bleue	$L_B = \sum L_\lambda \cdot B(\lambda) \cdot \Delta\lambda$	300 – 700	0,25 – 10 10-100 100-10000 ≥ 10000	$0,011 \cdot \sqrt{(t/10)}$ 0,011 $0,0011 \cdot \sqrt{t}$ 0,1	$10^6/t$ $10^6/t$ $10^6/t$ 100

-Définition de groupe de risque

-VLE

→ Identiques au code du W

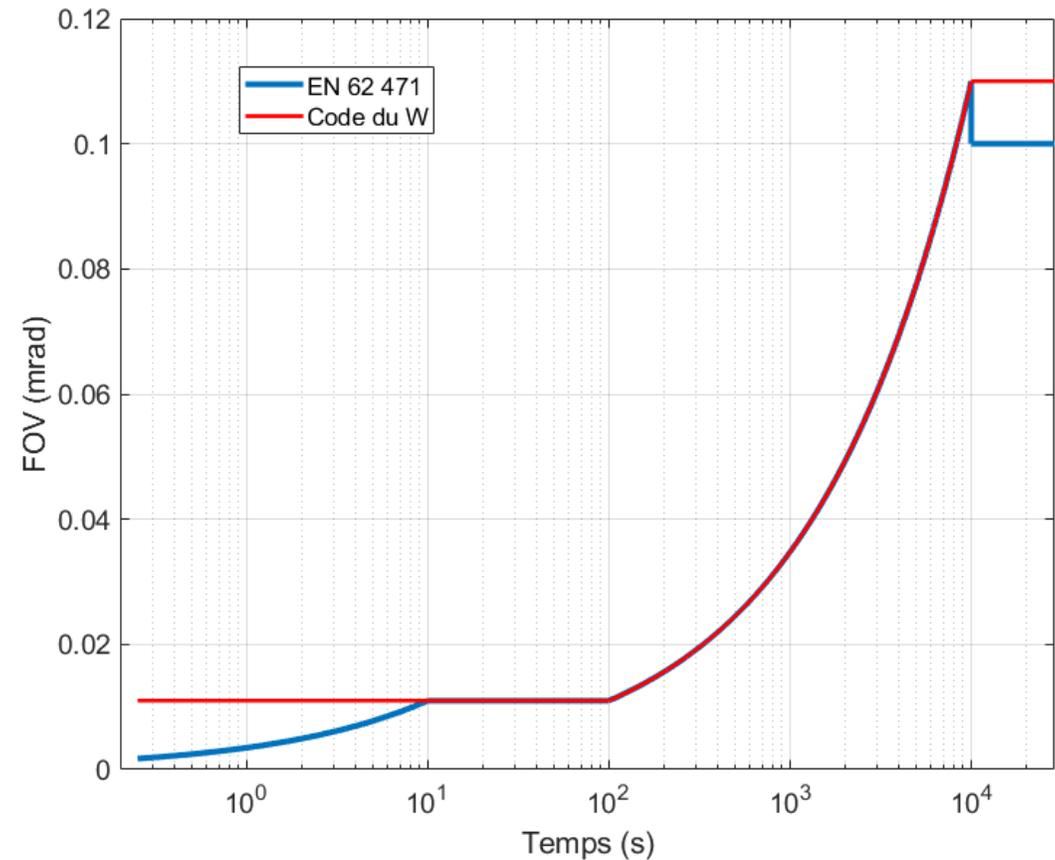
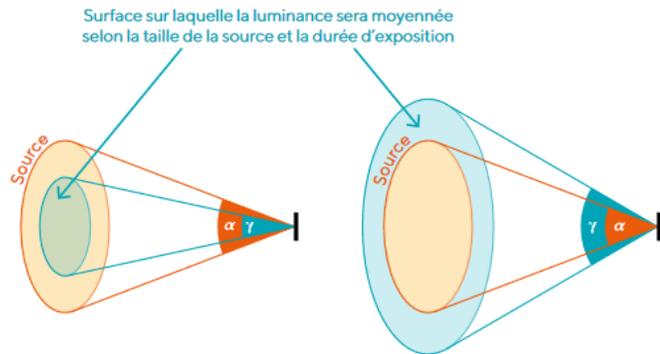
Mais F.O.V varie
au temps très courts

Ecart FOV: 'code du W' Vs 'EN 62471'

Limitation du F.O.V (γ) en fonction du temps d'exposition

- Prise en compte des spécificités de l'œil

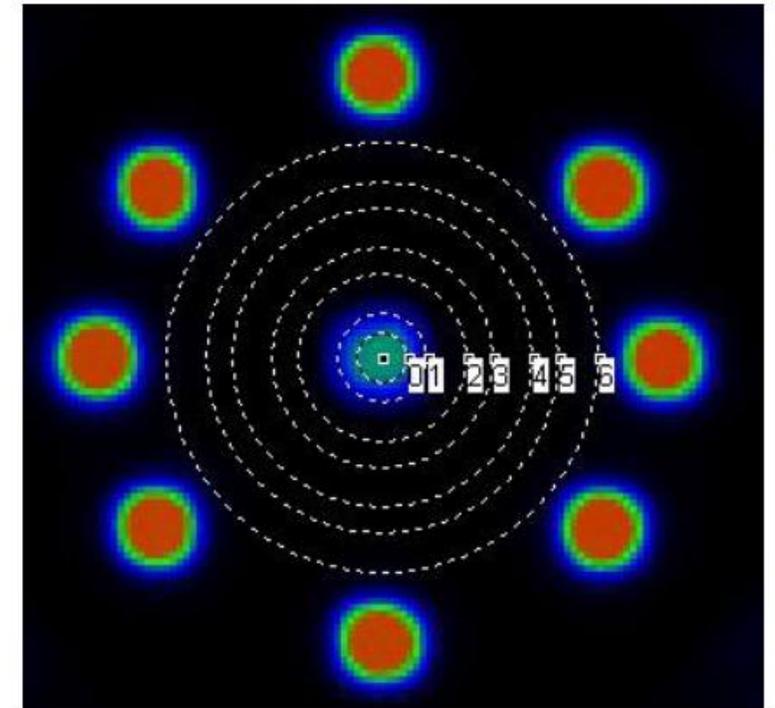
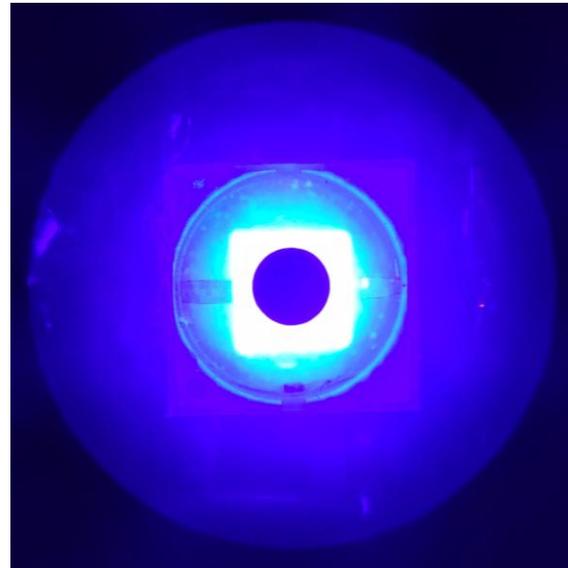
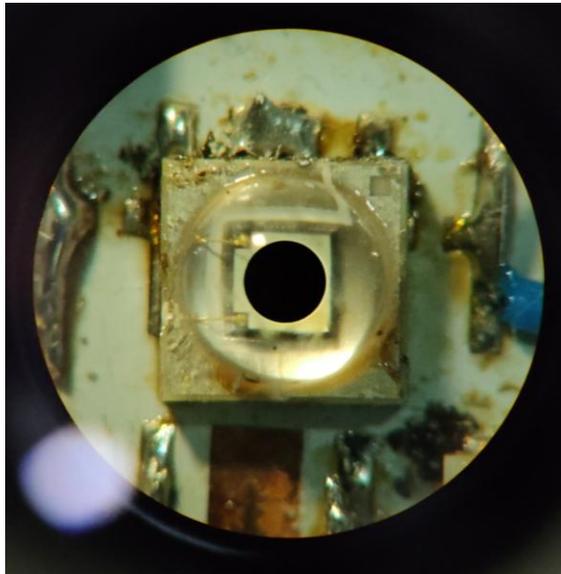
Figure A1 / Représentation des relations possibles entre la taille de la source vue sous un angle α et l'angle d'admission γ à prendre en compte selon la durée d'exposition



Evaluation pratique

Mesure 'luminancemètre' limitée à un angle d'admission (F.O.V)

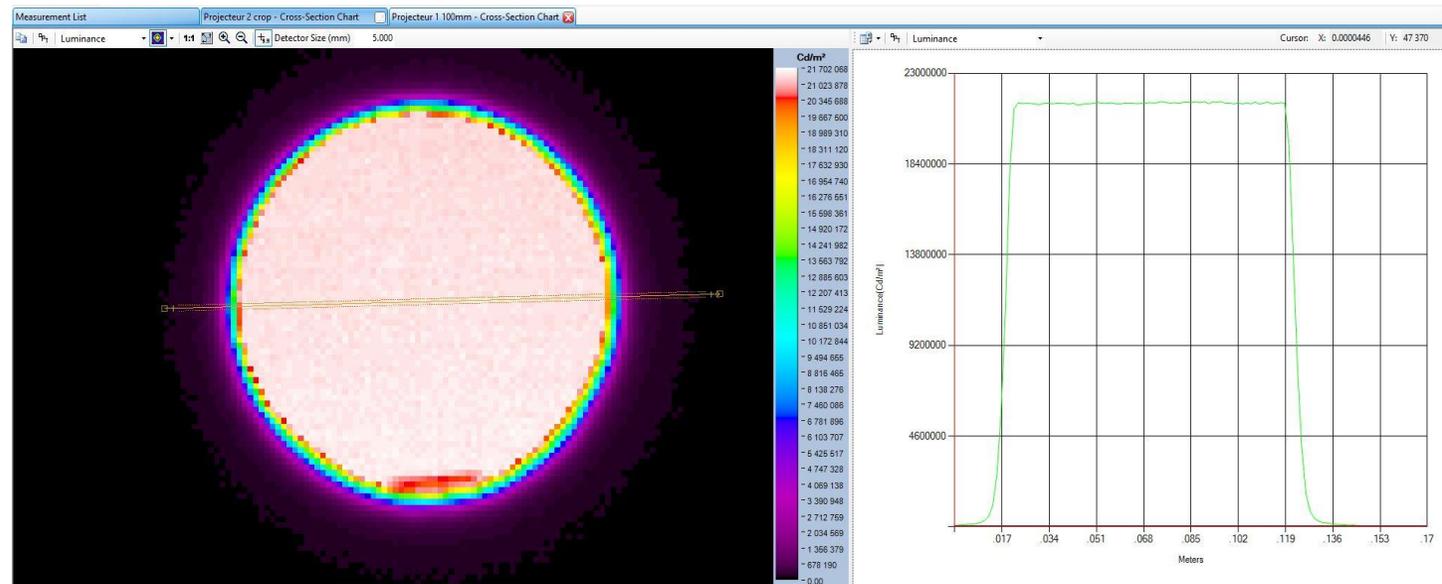
- Limitée à un angle d'admission
- Répétée à différentes distances de la source



Evaluation pratique

Mesure 'vidéoluminancemètre'

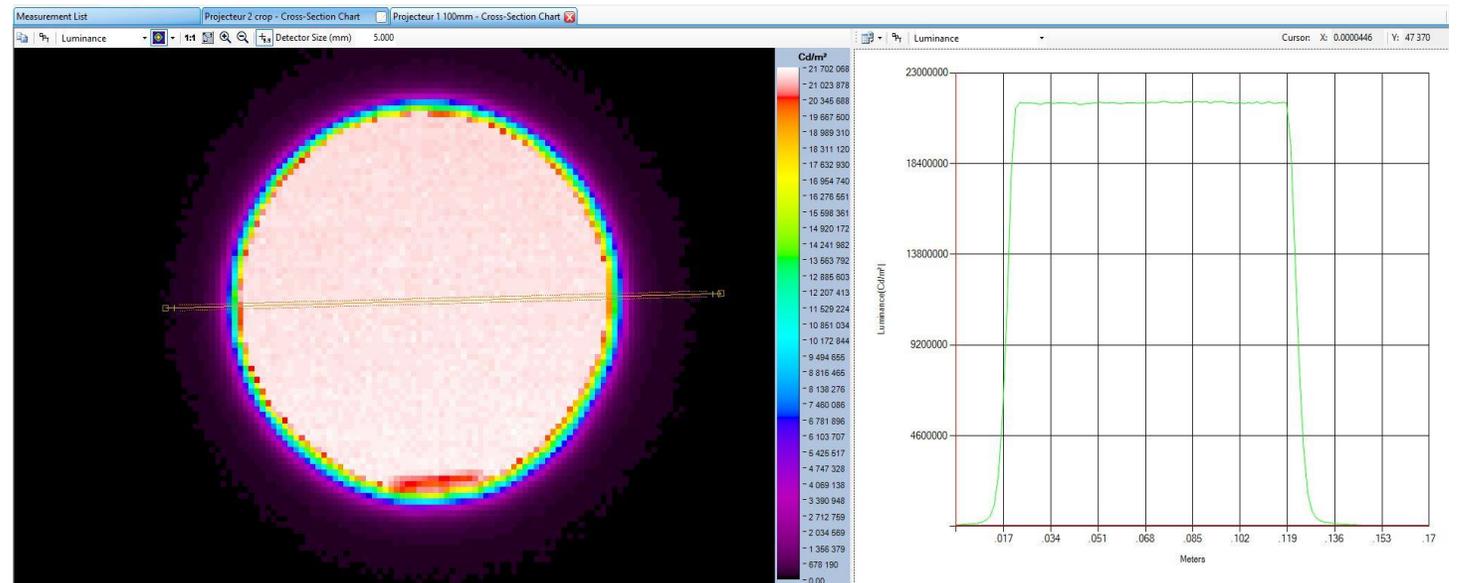
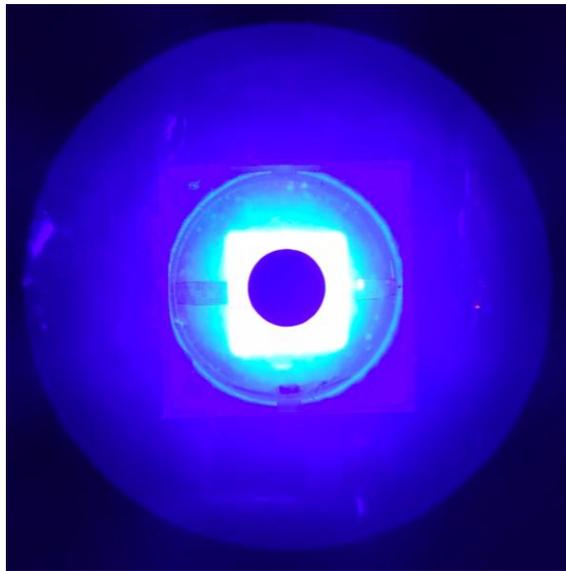
- Une image
- Choix de la zone de mesure



Evaluation pratique (Récap)

Etape 1: Mesure 'luminance'

- En $L\lambda$ ou en L_v souvent

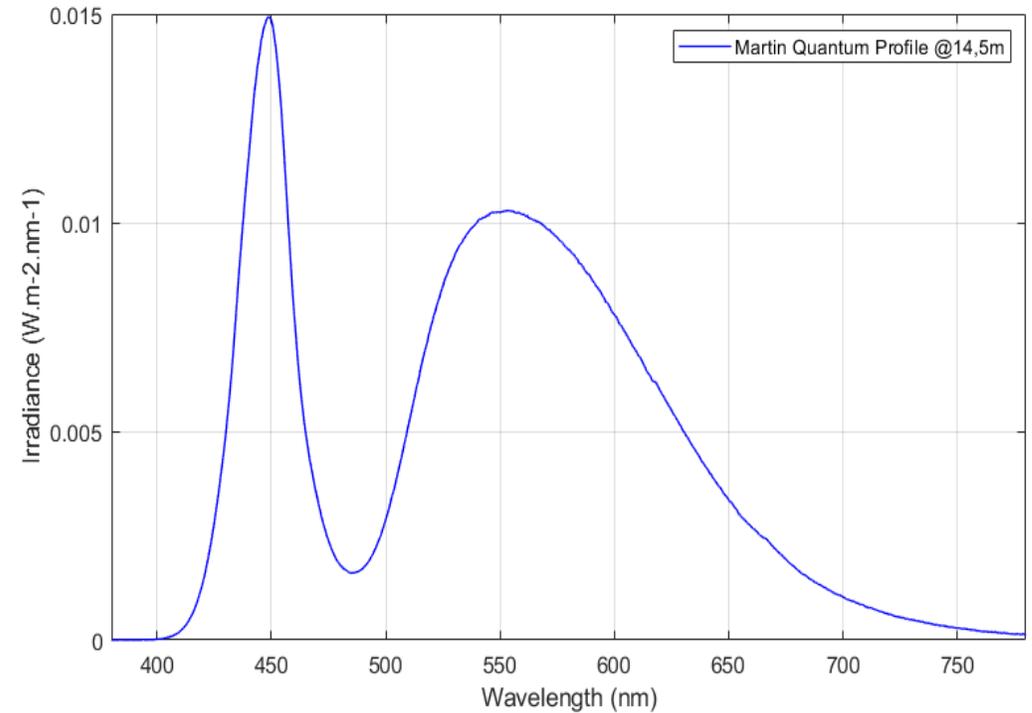


Evaluation pratique

Etape 1: Mesure 'luminance'

- En L_λ ou en L_v
- Passage en L_b
- $K_{Bv} = \frac{E_B}{E_v} = \frac{L_B}{L_v}$

$$L_B = K_{Bv} \cdot L_v = L_v \cdot \frac{E_B}{E_v} = L_v \cdot \frac{\sum_{300nm}^{700nm} E_e(\lambda) \cdot B(\lambda) \cdot \Delta\lambda}{683 \cdot \sum_{380nm}^{780nm} E_e(\lambda) \cdot V(\lambda) \cdot \Delta\lambda}$$



Evaluation pratique

Etape 1: Mesure 'luminance'

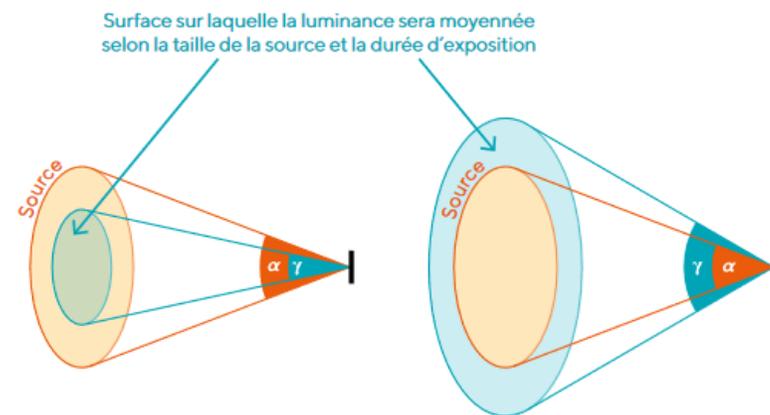
- En L_λ ou en L_v
- Passage en L_b via K_{Bv}

Etape 2: Prise en compte des spécificités de l'œil

- Comparaison de la source au FOV
- Calcul de la luminance dans le cône d'acceptance

$$L_{B(\phi \rightarrow \gamma)} = \frac{L_{B(\phi \rightarrow \alpha)} \cdot S_\alpha}{S_\gamma}$$

Figure A1 / Représentation des relations possibles entre la taille de la source vue sous un angle α et l'angle d'admission γ à prendre en compte selon la durée d'exposition



Evaluation pratique

Etape 1: Mesure 'luminance'

- En L_λ ou en L_v
- Passage en L_b via K_{Bv}

Etape 2: Prise en compte des spécificités de l'œil

- Comparaison de la source au FOV
- Calcul de la luminance dans le cône d'acceptance

Etape 3: Comparaison de la valeur d'exposition obtenue à la VLE

- Calcul d'un indice de risque

$$RLB = \frac{L_B(\gamma)}{VLE}$$

Evaluation pratique

Etape 1: Mesure 'luminance'

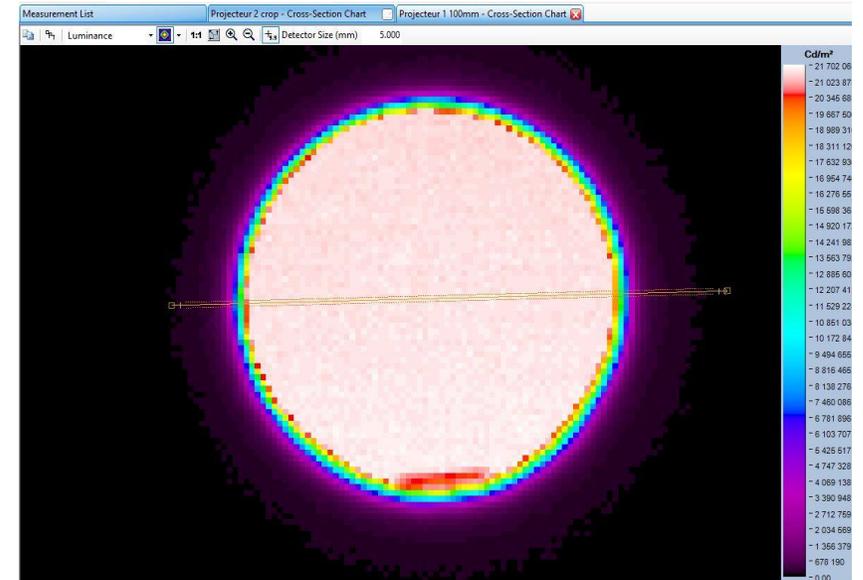
- En L_λ ou en L_v
- Passage en L_b via K_{Bv}

Etape 2: Prise en compte des spécificités de l'œil

- Comparaison de la source au FOV
- Calcul de la luminance dans le cône d'acceptance

Etape 3: Comparaison de la valeur d'exposition à la VLE

- Calcul d'un indice de risque
- $RLB = \frac{L_B(\gamma)}{VLE}$



Evaluation pratique

Etape 1: Mesure 'luminance'

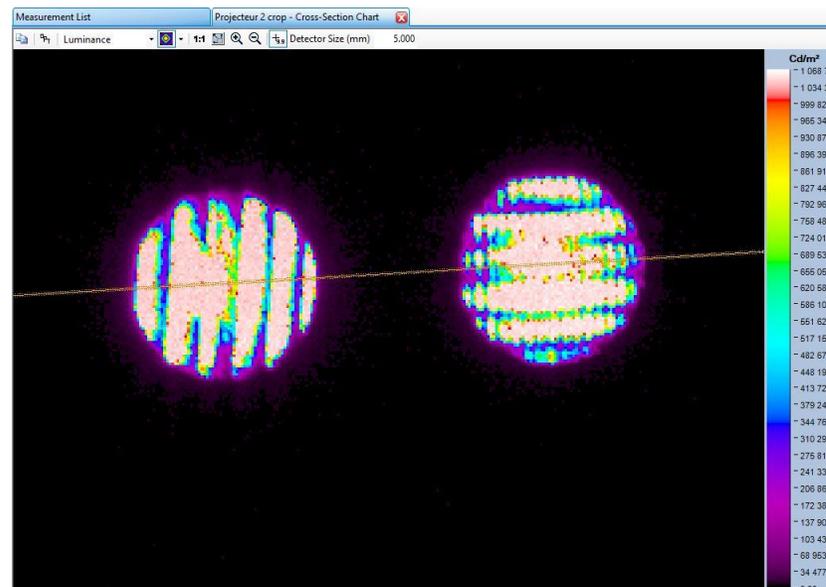
- En L_λ ou en L_v
- Passage en L_b via K_{Bv}

Etape 2: Prise en compte des spécificités de l'œil

- Comparaison de la source au FOV
- Calcul de la luminance dans le cône d'acceptance

Etape 3: Comparaison de la valeur d'exposition à la VLE

- Calcul d'un indice de risque
- $RLB = \frac{L_B(\gamma)}{VLE}$



Evaluation pratique

Etape 1: Mesure 'luminance'

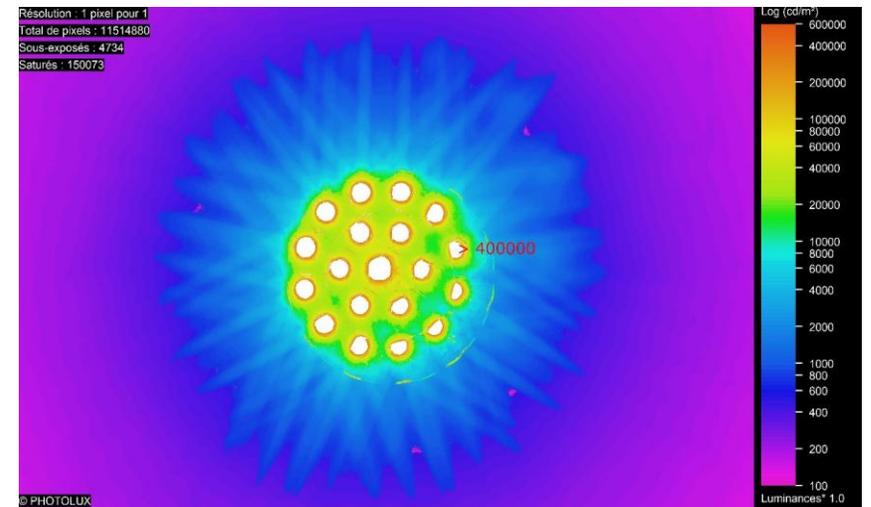
- En L_λ ou en L_v
- Passage en L_b via K_{Bv}

Etape 2: Prise en compte des spécificités de l'œil

- Comparaison de la source au FOV
- Calcul de la luminance dans le cône d'acceptance

Etape 3: Comparaison de la valeur d'exposition à la VLE

- Calcul d'un indice de risque
- $RLB = \frac{L_B(\gamma)}{VLE}$



Evaluation pratique

Etape 1: Mesure 'luminance'

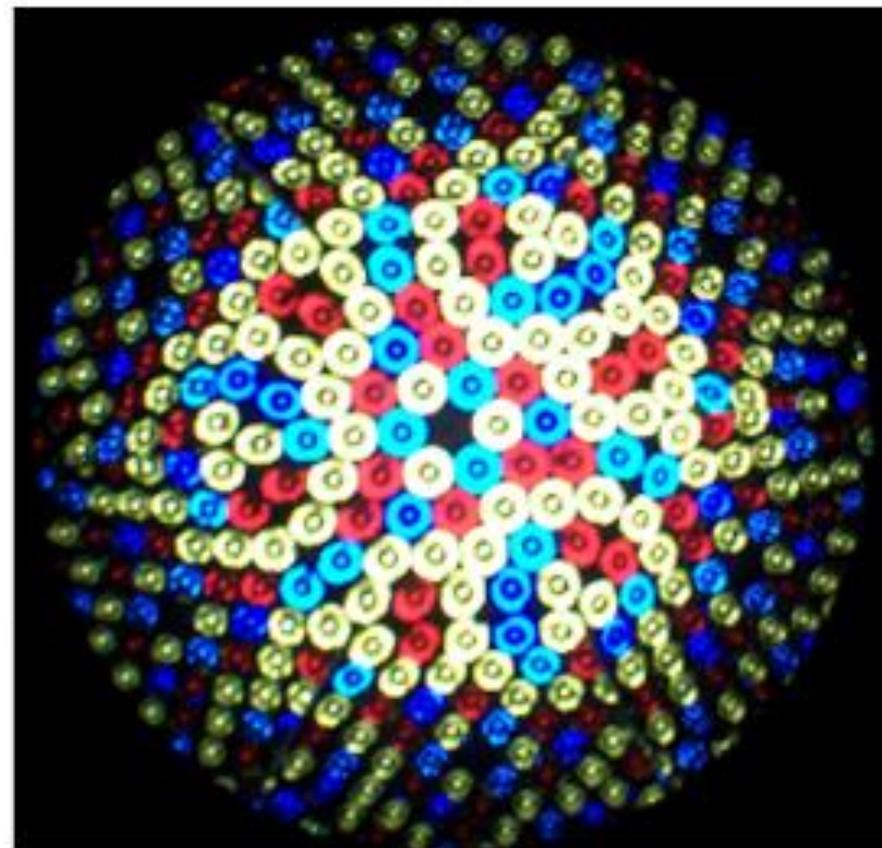
- En L_λ ou en L_v
- Passage en L_b via K_{Bv}

Etape 2: Prise en compte des spécificités de l'œil

- Comparaison de la source au FOV
- Calcul de la luminance dans le cône d'acceptance

Etape 3: Comparaison de la valeur d'exposition à la VLE

- Calcul d'un indice de risque
- $RLB = \frac{L_B(\gamma)}{VLE}$



Evaluation pratique

Etape 1: Mesure 'luminance'

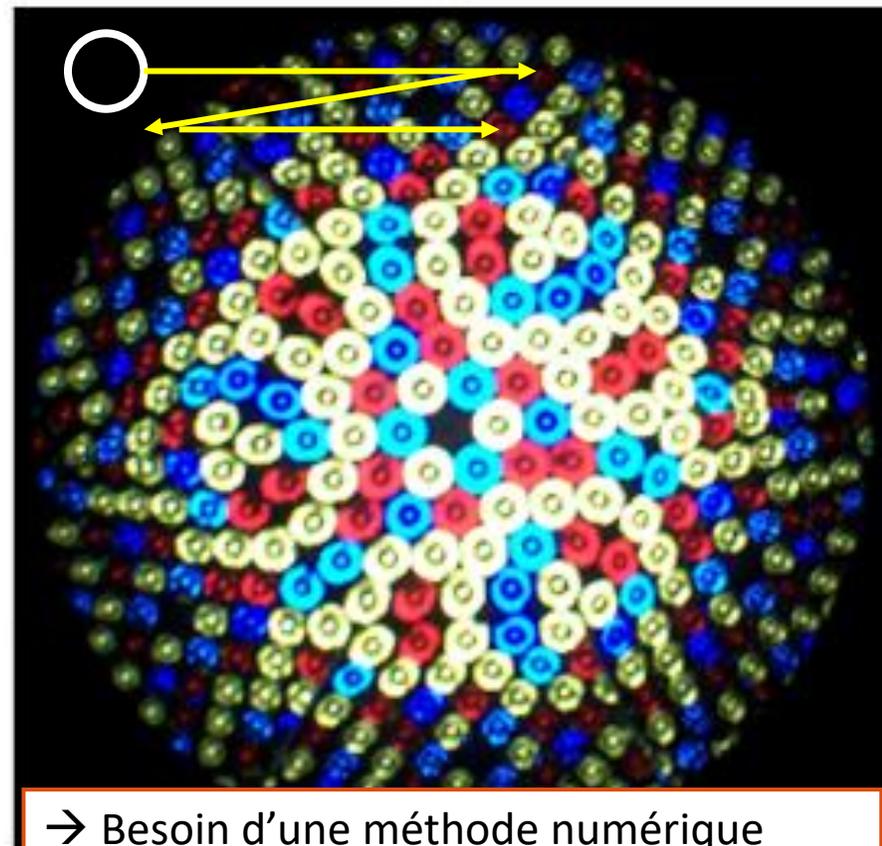
- En L_λ ou en L_v
- Passage en L_b via K_{Bv}

Etape 2: Prise en compte des spécificités de l'œil

- Comparaison de la source au FOV
- Calcul de la luminance dans le cône d'acceptance

Etape 3: Comparaison de la valeur d'exposition à la VLE

- Calcul d'un indice de risque
- $RLB = \frac{L_B(\gamma)}{VLE}$



→ Besoin d'une méthode numérique pour évaluer les différentes associations

Mesure de la luminance visible L_v

Mesure d'une image obtenue en luminance:

- UGRmètre
 - Objectif fisheye
 - inadapté pour une bonne résolution des petites sources (Leds)



Mesure de la luminance visible Lv

Mesure d'une image obtenue en luminance:

- UGRmètre
 - Objectif fisheye
→ inadapté pour une bonne résolution des petites sources (Leds)
- Solution:
 - Même type d'appareil avec un objectif 'macro'
 - Canon Mark ii EOS 6D
 - Obj. Canon Macro EF 100mm



Mesure de la luminance visible Lv

Mesure d'une image obtenue en luminance:

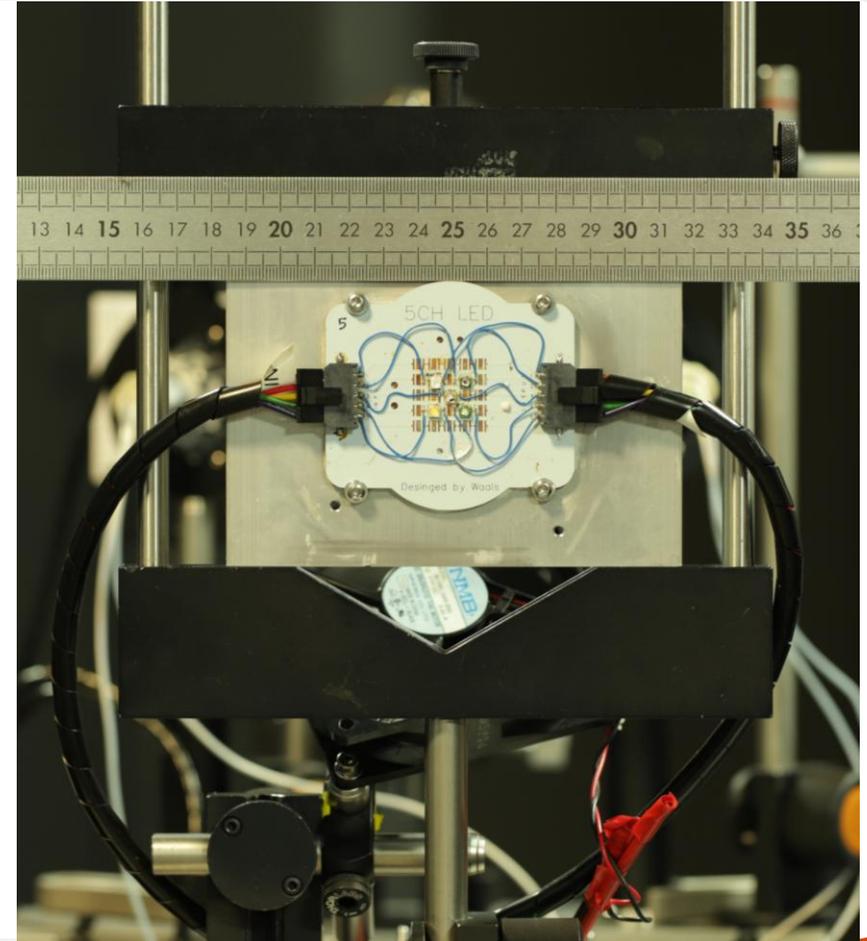
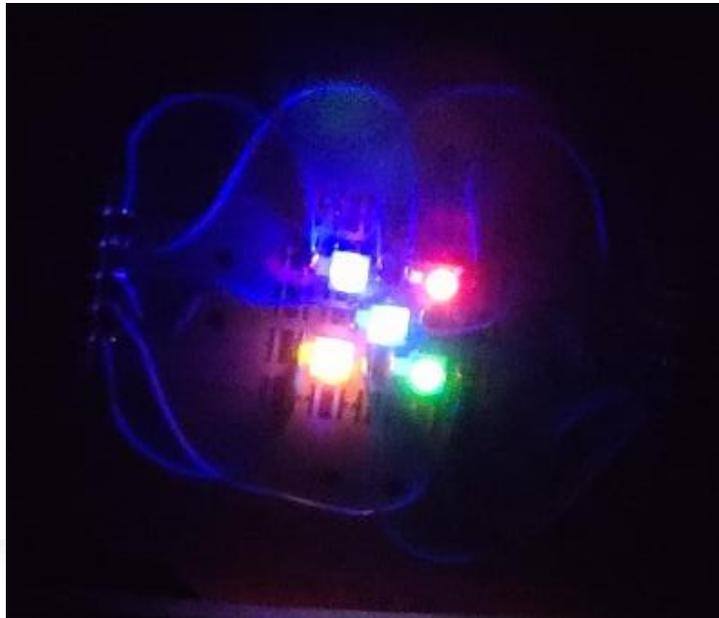
- UGRmètre
 - Objectif fisheye
→ inadapté pour une bonne résolution des petites sources (Leds)
- Solution:
 - Même type d'appareil avec un objectif 'macro'
 - Canon Mark ii EOS 6D
 - Obj. Canon Macro EF 100mm
- Appareil de référence Luminancemètre CS 1000 Konica Minolta
 - Lv (Cd.m-2)



Echantillons « maîtrisés »: Matrice de Leds

5 matrices avec différentes associations de Leds:

- Allumage individuel
- Différents blancs / bleu / couleurs

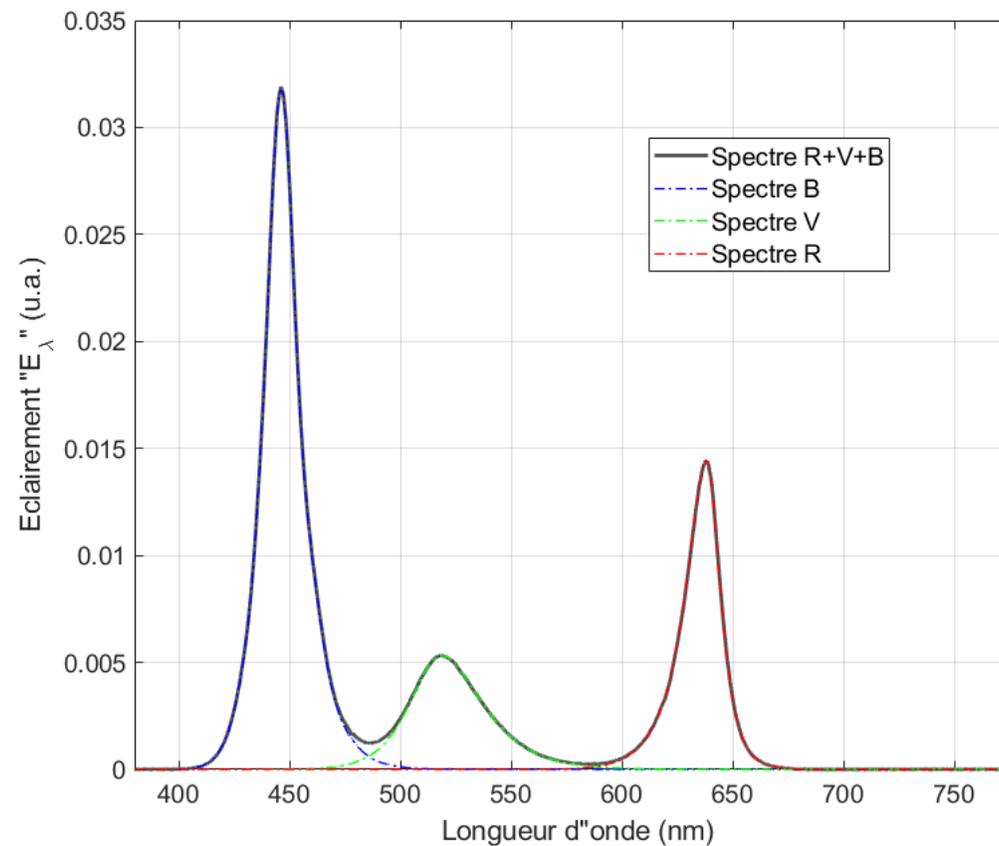


Matrice de Leds

Vérification de l'allumage individuel:

- Evaluation Leds individuelles et groupées
 - Même configuration de mesure
 - Superposition 'parfaite'
 - 31 combinaisons

- Validé!



Premières mesures

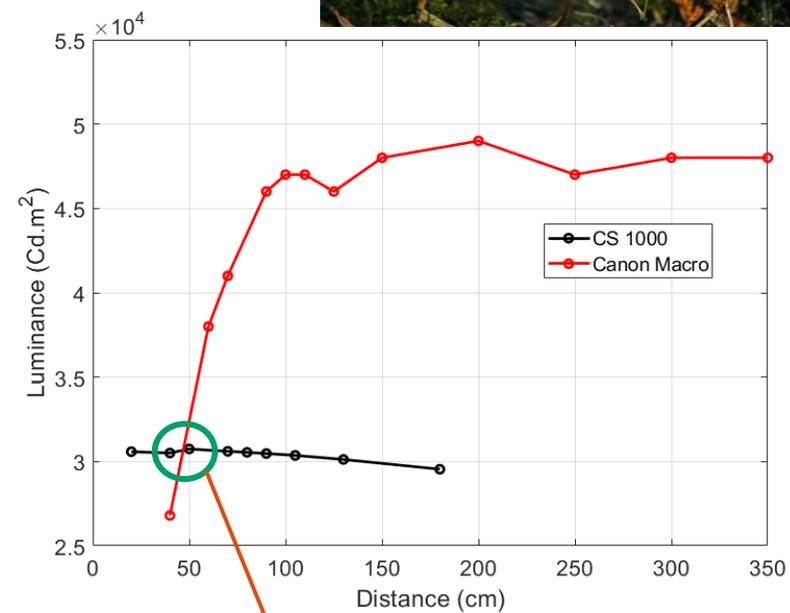
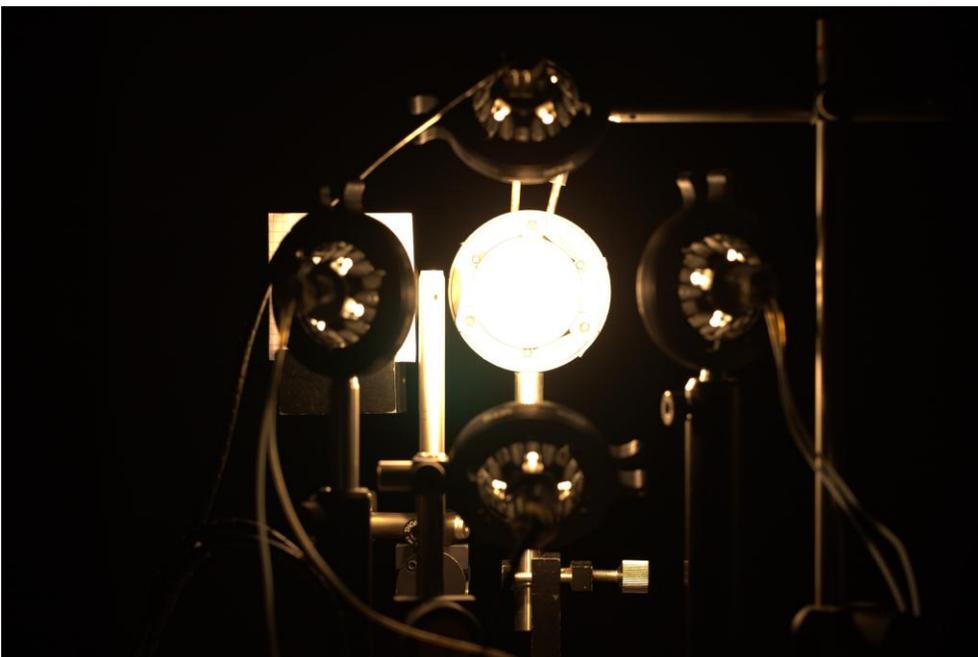
Non concluantes!.

→ **Variations en fonction de la position**
-distance de l'appareil/source!...



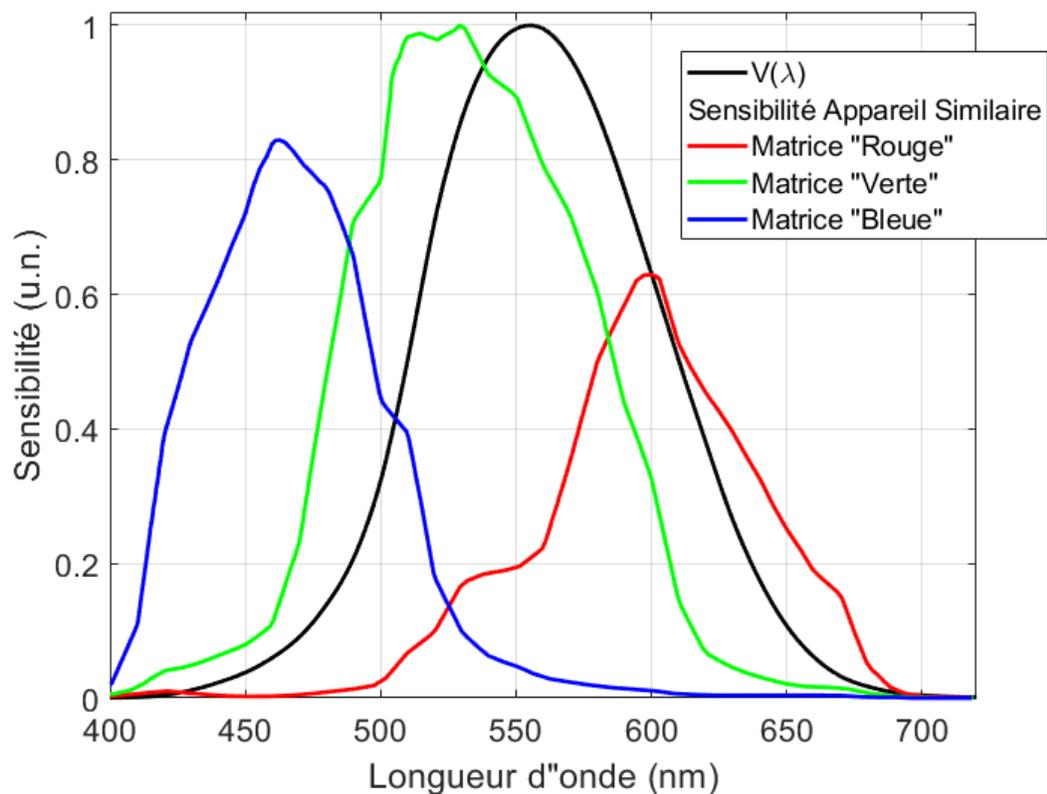
Premières mesures

Vérification fonctionnement/étalonnage



Distance
d'étalonnage (?)

Etalonnage 'maison' pour travailler au-delà de 1m



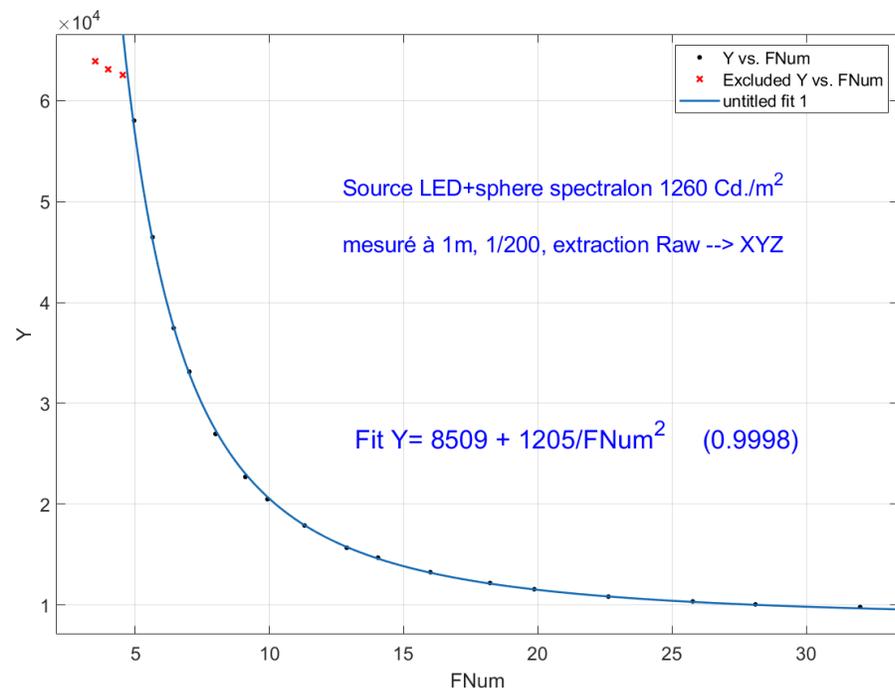
→ Dans un premier temps, choix de travailler avec le canal 'vert'

→ Amélioration possible Comb. RVB

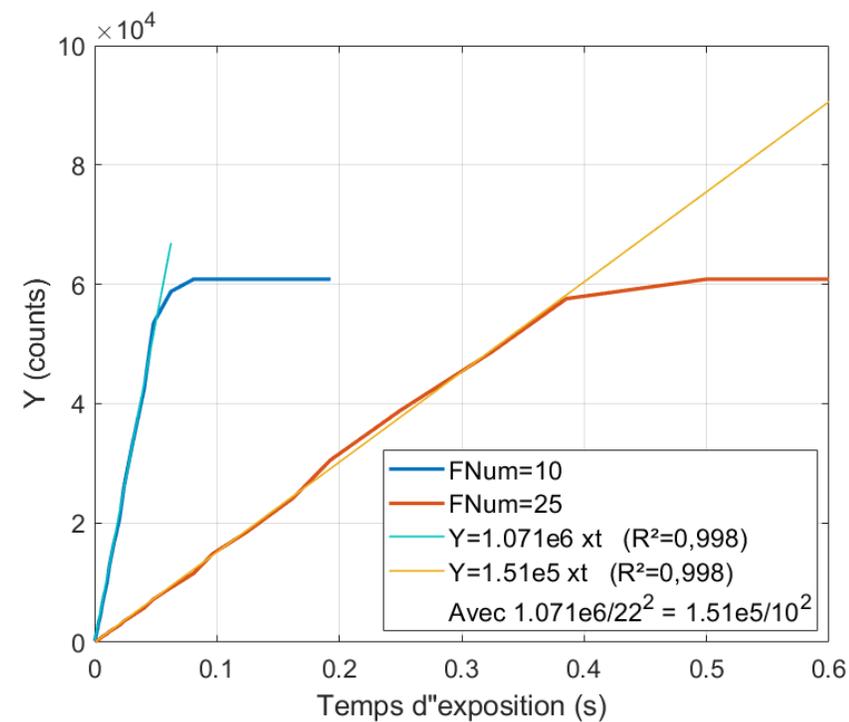
→ Extraction 'raw' des images

Etalonnage 'maison' pour travailler au-delà de 1m

Variation en fonction de l'ouverture



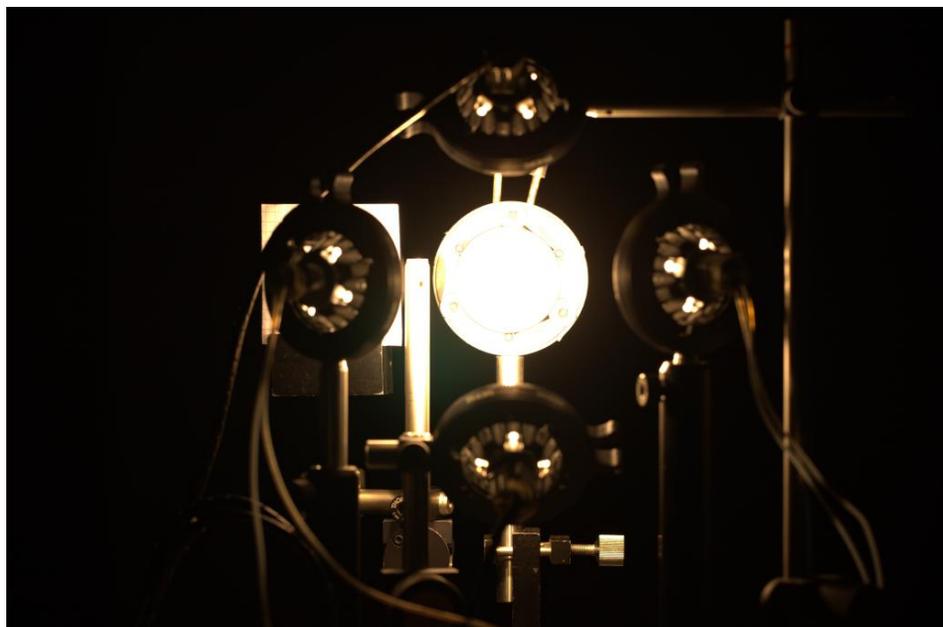
Variation en fonction du temps de pose



$$\text{Mesure} = \text{Bruit} + \text{Luminance} \times \text{temps} / F_{\text{Num}}^2$$

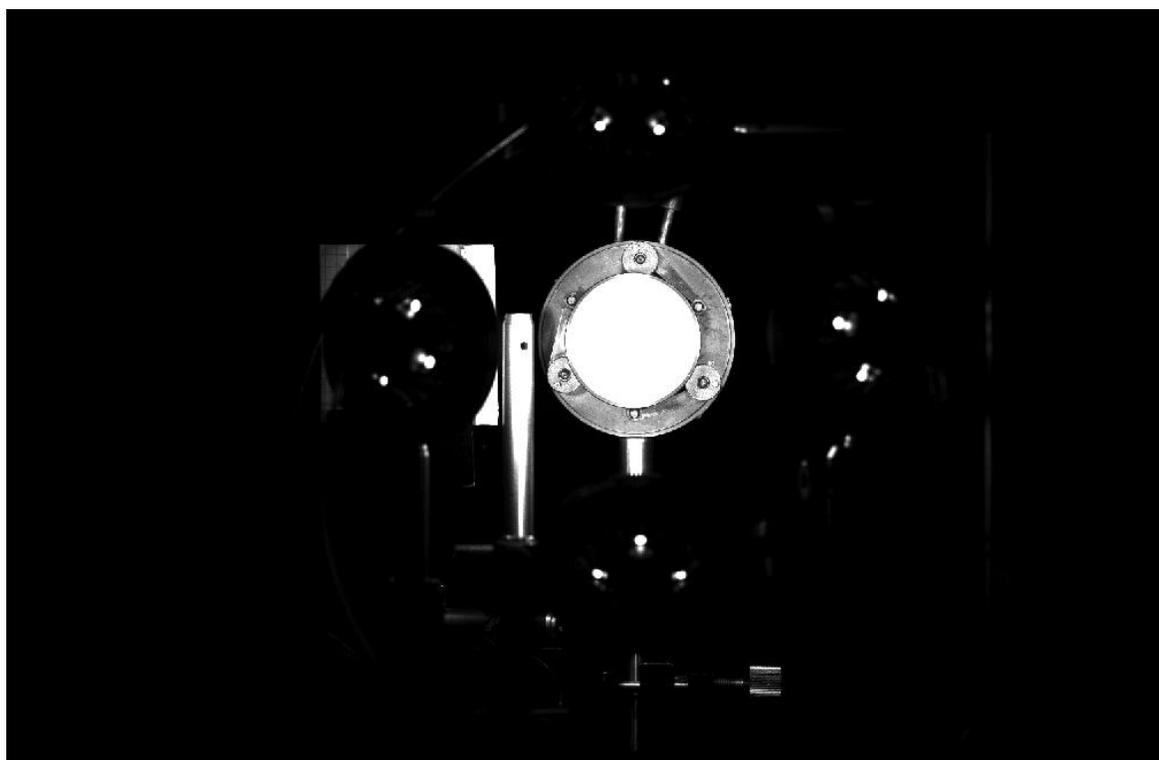
Etalonnage 'maison' pour travailler au-delà de 1m

Luminance (Cd.m-2) = a x (Mesure – Bruit) x Fnum² / temps

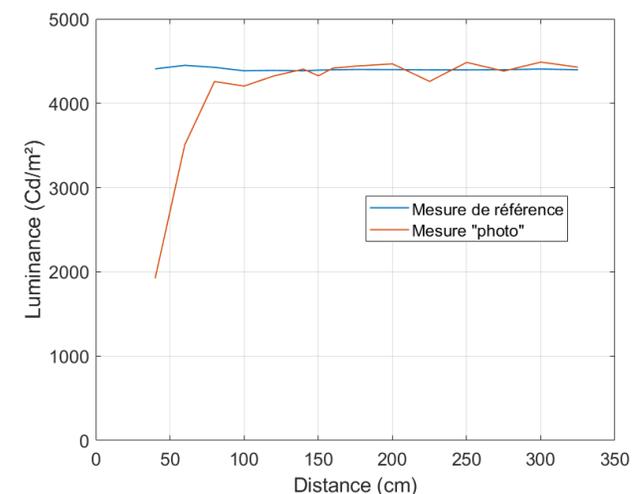


Etalonnage 'maison' pour travailler au-delà de 1m

$$\text{Luminance (Cd.m-2)} = a \times (\text{Mesure} - \text{Bruit}) \times F_{\text{num}}^2 / \text{temps}$$



	T (%)	Mesure (10^8 cts)	Mesure (Cd.m-2)	Mesure CS1000 (Cd.m-2)	écart relatif (%)
NDØ	100	126,2	79543,0	79037	0,6
ND16	5,61	7,14	80219,1	78877	1,7
ND64	1,7	2,04	75635,1	78824	4,0
ND100	0,88	1,03	73772,9	78717	6,3
ND1000	0,06	0,082	86140,0	78520	9,7



Secondes mesures

En cours d'analyse!...

- Chaque pixel son Lv, chaque pixel son Kbv...

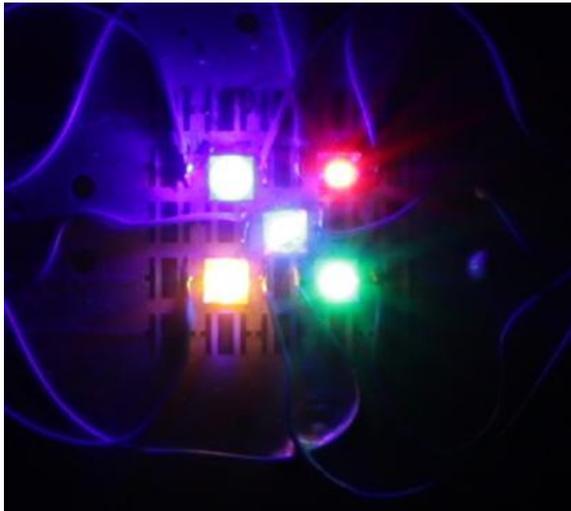


Image en couleur

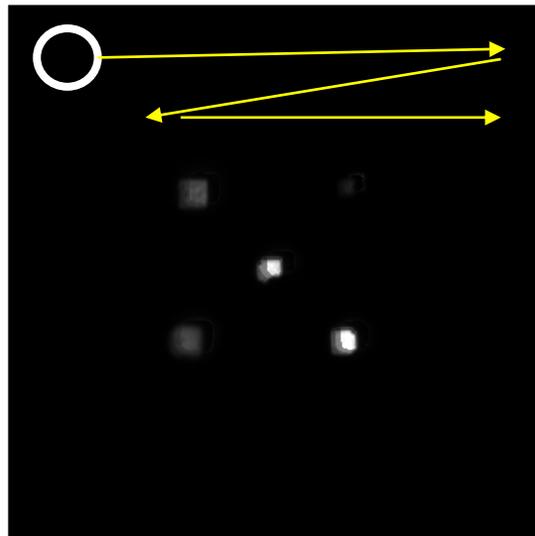


Image en luminance

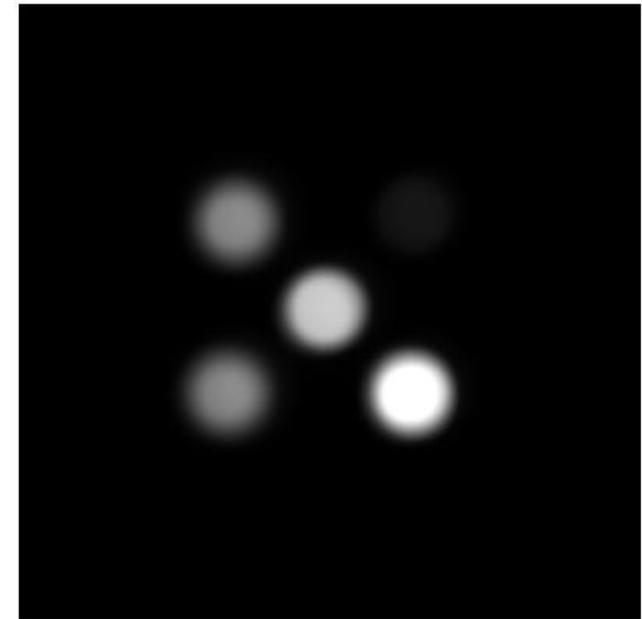


Image en luminance
Après la prise en
compte du F.O.V

Work in progress!....

Autre cas d'étude

Etalonné en
luminance

Utilisation
Kbv / pixel

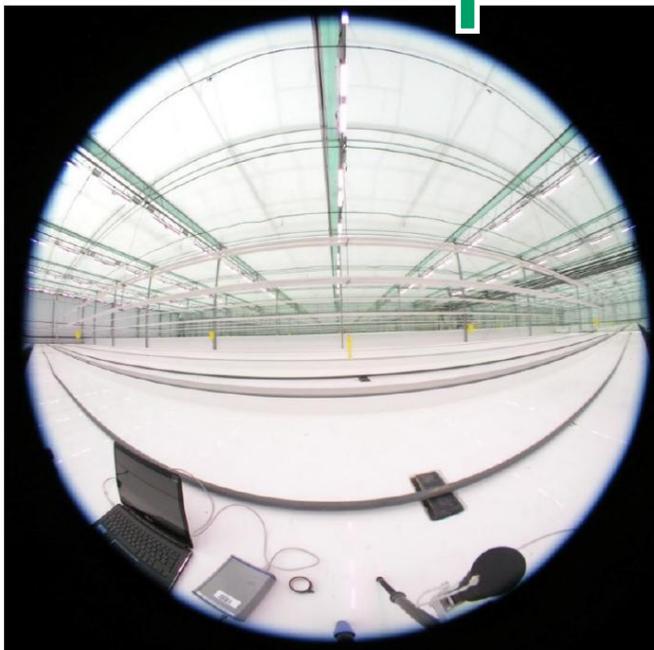


Figure 8 : photographie du poste de travail obtenue avec un objectif fisheye

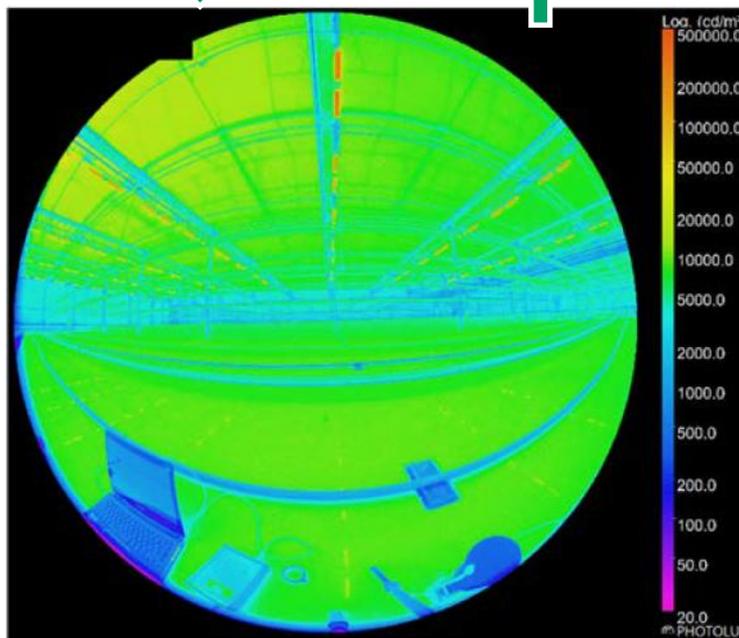


Figure 10 : Cartographie en luminance lumineuse (Cd.m^{-2}) de la répartition des sources mesurées au poste de travail

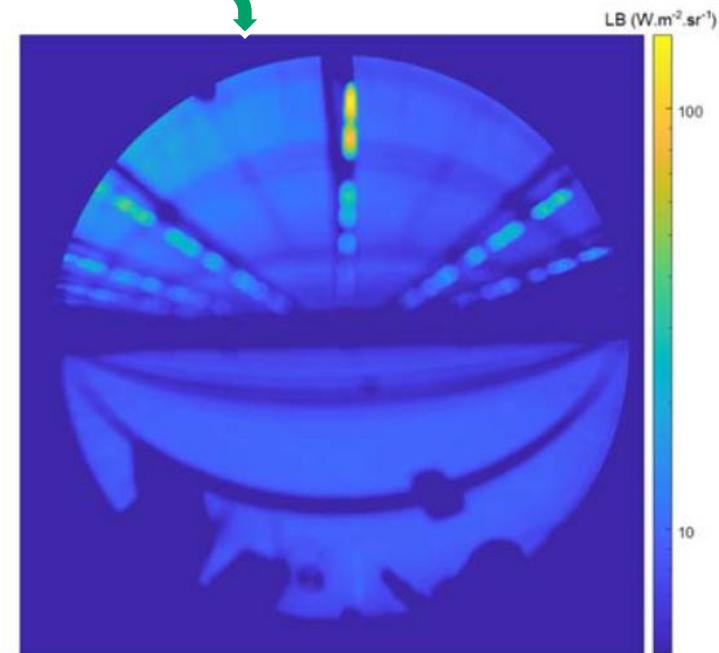


Figure 11 : répartition des sources observées au poste de travail en unité de risque lumière bleue

Autre cas d'étude

Prise en compte du paramètre œil
+ division par la VLEP (IR=VE/VLEP)

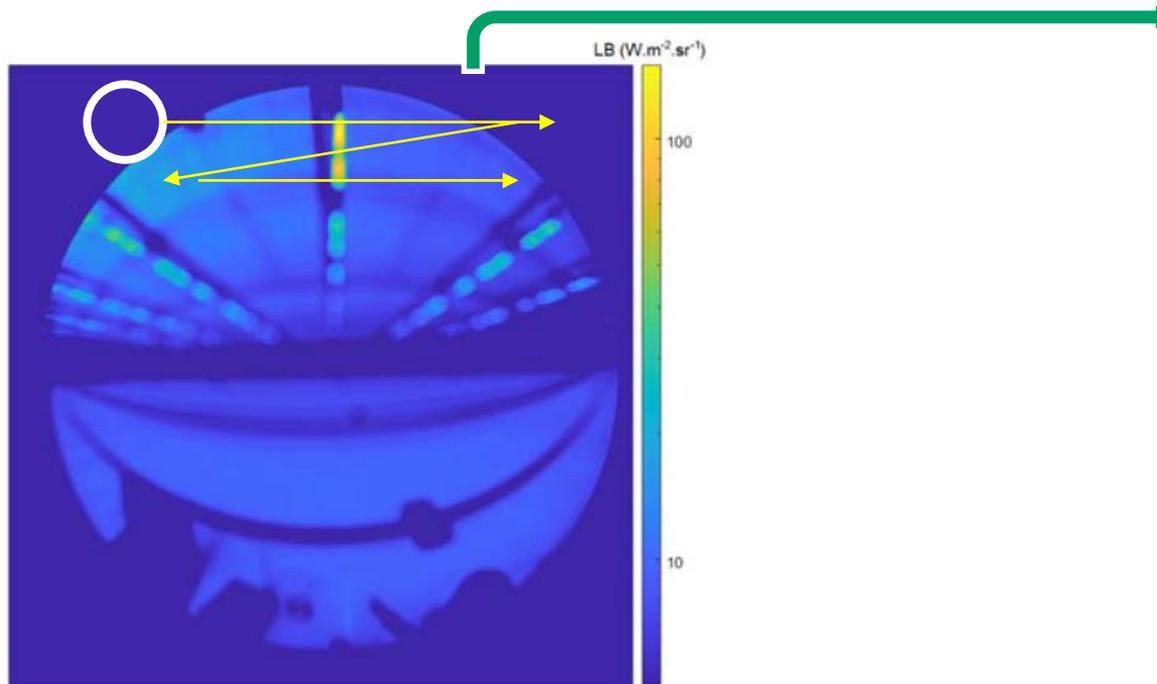


Figure 11 : répartition des sources observées au poste de travail en unité de risque lumière bleue

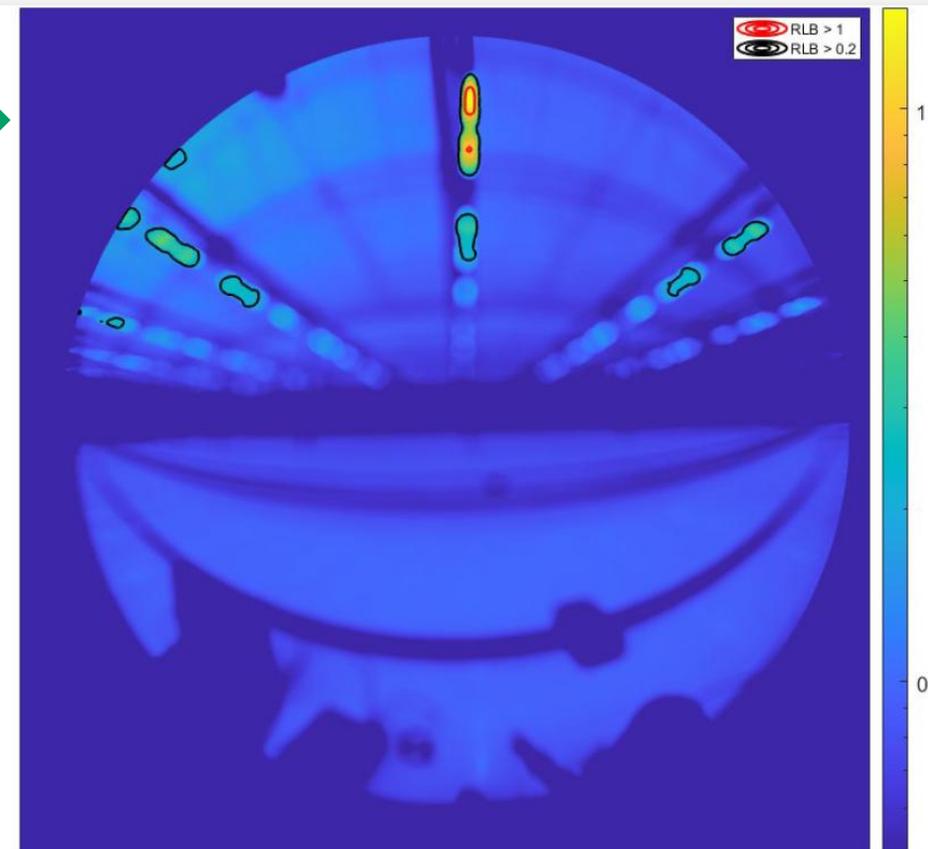


Figure 12 : Valeur de l'indice de risque lumière bleue (RLB) mesuré au poste de travail (pour une durée d'exposition égale à 10 000 s)

Synthèse

Description d'une méthode d'évaluation du RLB par image étalonnée en luminance

- Méthode répond aux besoins des prescriptions d'évaluation
- Besoin d'un matériel 'étalonné' pour la réalisation des images
- Prise en compte numérique du cône d'acceptance
 - Réduit le nombre de mesures nécessaires
 - Facilite l'identification de la configuration 'pire risque'



Merci de votre attention

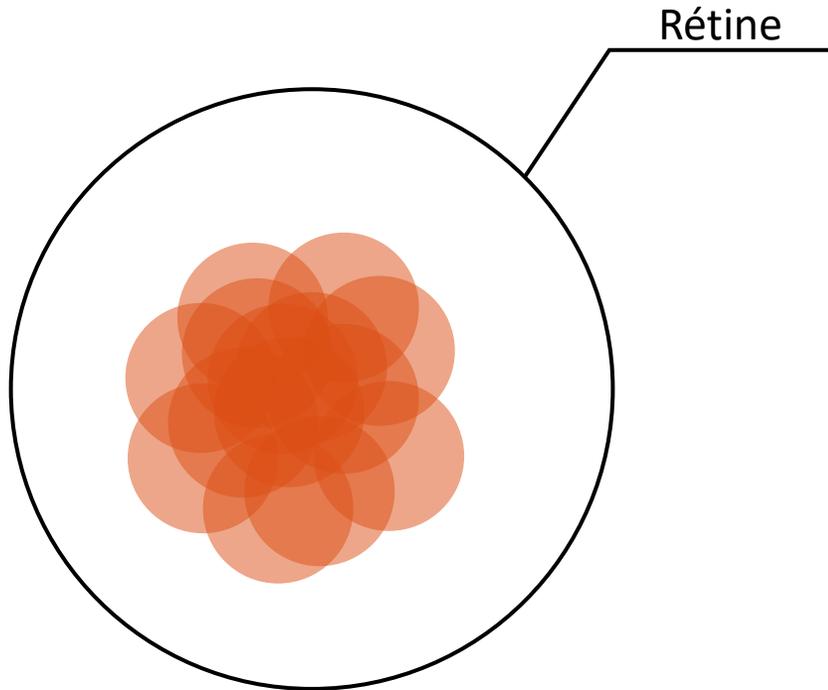


Notre métier,
rendre le vôtre plus sûr

www.inrs.fr

Mouvements de l'oeil:

Source « étendues »



- Source « ponctuelles »

