



Bilans d'exposition de la rétine à la lumière bleue

Le logiciel LumExpo

26/03/2019 – Journée AFE Collège Santé

Lumière bleue : Nouvelles Connaissances sur les
Effets sur l'Homme

Christophe Martinsons

Samuel Carré

CSTB
le futur en construction

Qu'est-ce que l'exposition lumineuse ?



- **Cumul énergétique du rayonnement reçu**
 - Bandes spectrales
 - Périodes
- **Sources artificielles ET naturelle**

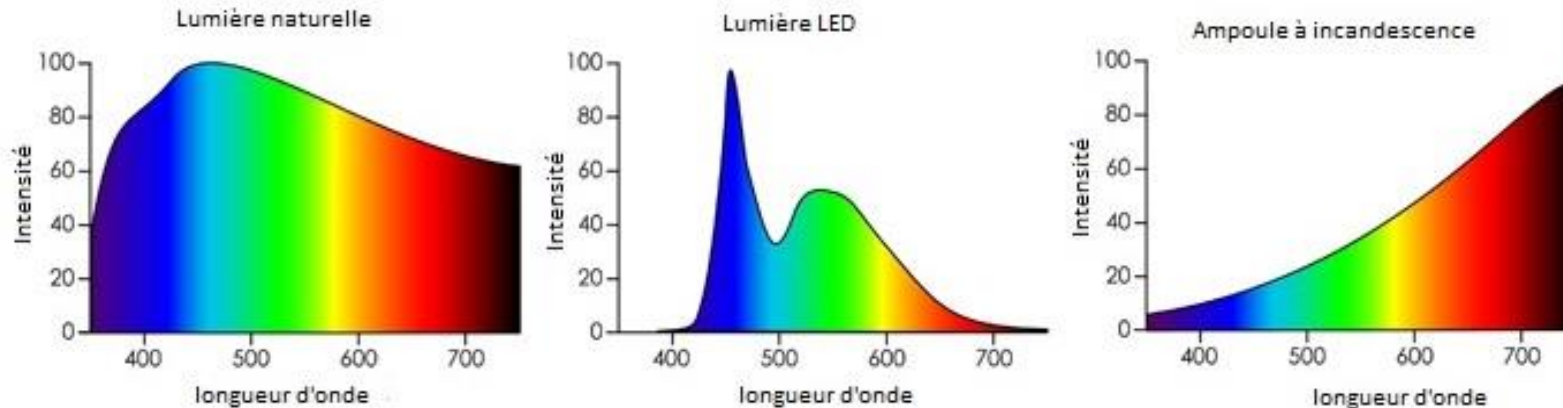
Pourquoi maintenant ?



- **Nouvelles sources artificielles**
- **Les écrans**
- **Les filtres**



Quels changements ?

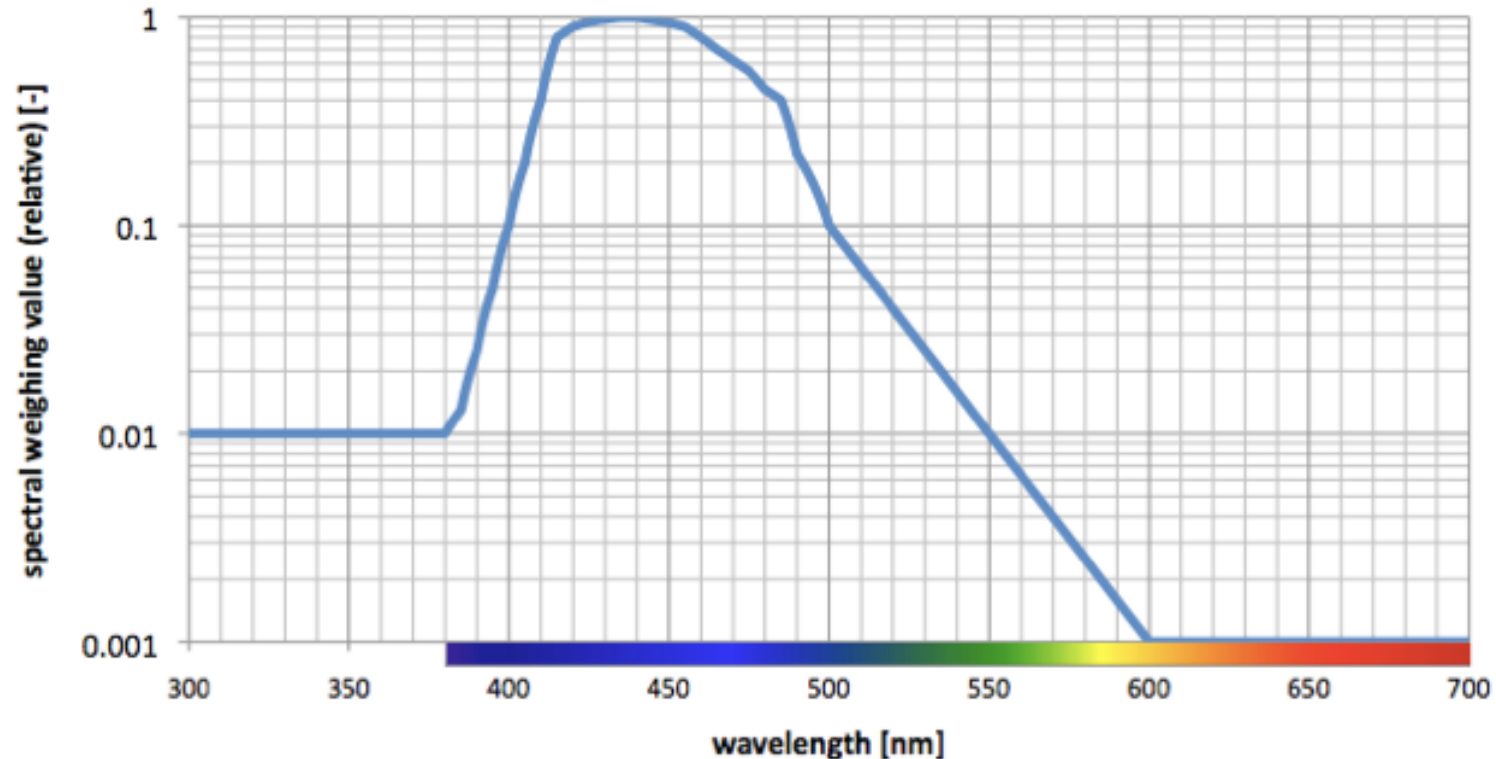


- **Distribution spectrale**
- **Fort développement (éclairage, signalisation, décoration)**
- **Nouveaux usages des écrans**



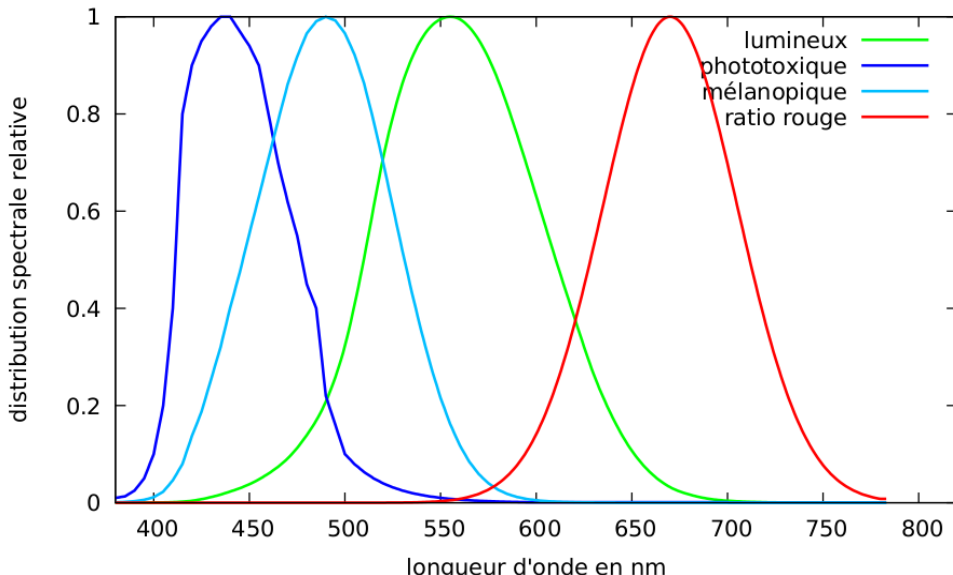
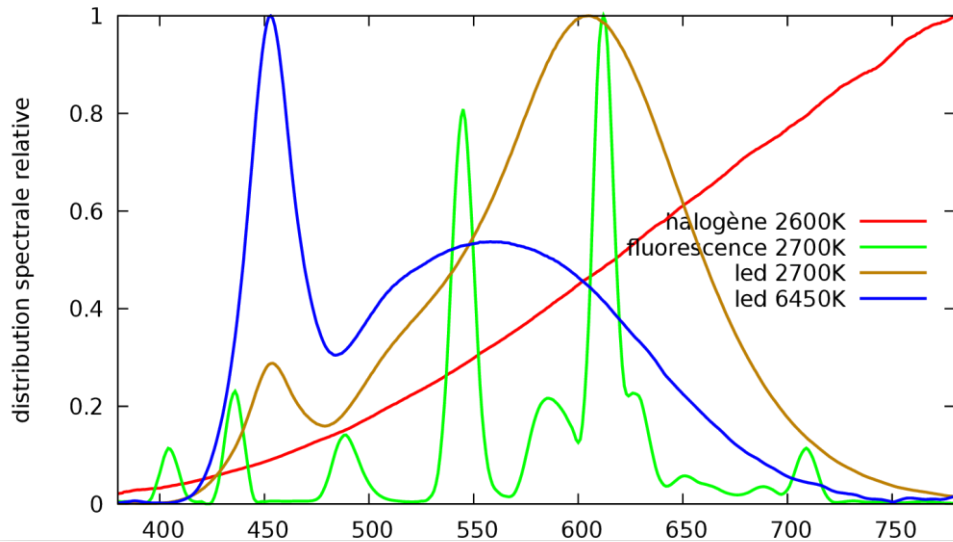
Quel risque ?

Blue-light hazard function



- Risque photobiologique à la lumière bleue (RG0, RG1, RG2)
- Temps d'expositions courts
- Exposition à long terme ?

Quels risques ?



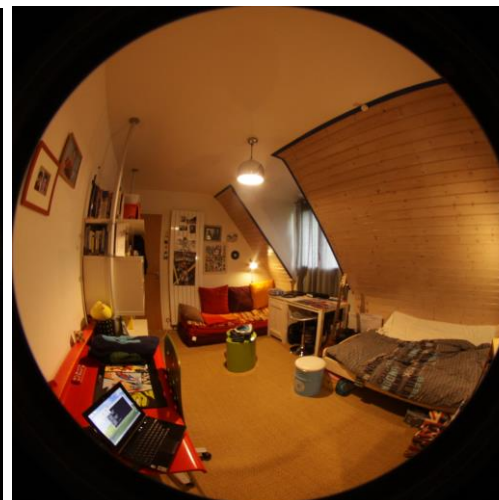
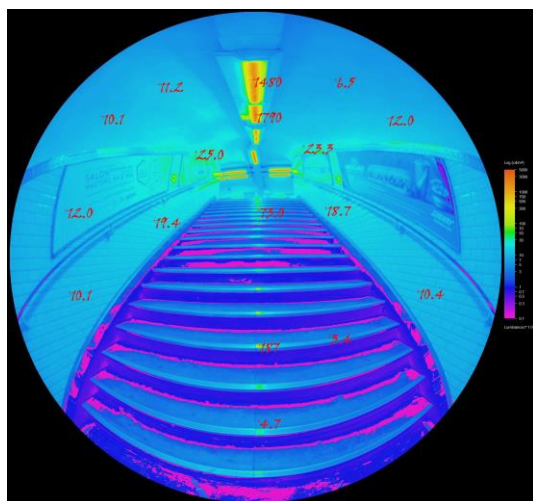
- **Potentiellement plus de bleu**
- **Influence sur les rythmes**
- **Manque de rouge ?**

- **Luminance**



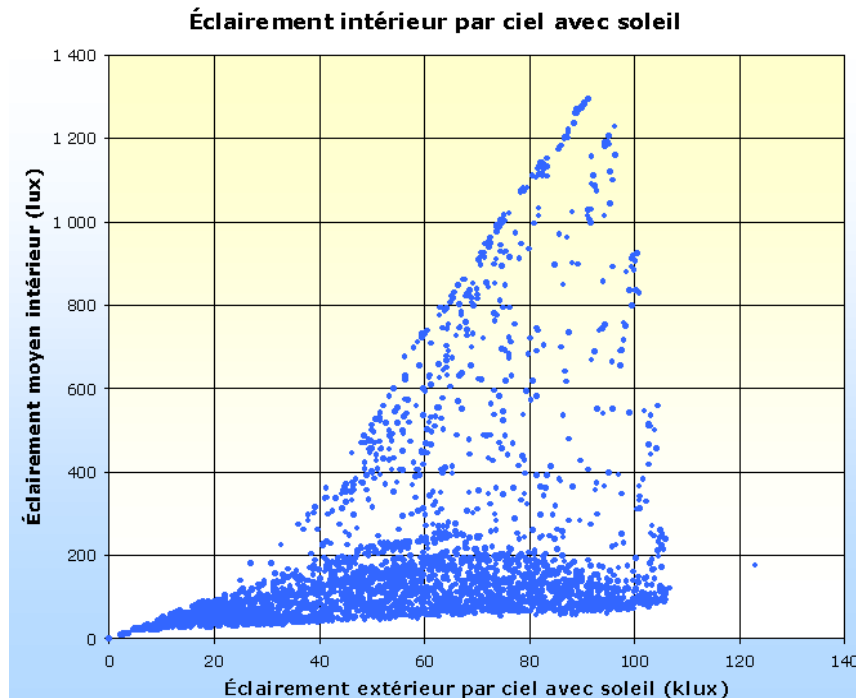
Comment évaluer le niveau d'exposition ?

- **Caractérisation spectrale de sources artificielles**
- **Niveaux d'éclairage en fonction des situations**
- **Cartographies en luminance**



Quelles difficultés ?

- Variabilité du point de vue
- Variabilité des situations
- Variabilité des environnements
- Variabilité de l'éclairage naturel



Instrumentation

- + Hypothèses limitées
- Encombrement important
- Représentativité limitée
- Durée limitée

Simulation numérique

- Hypothèses (scénarios, configurations)
- + Comparatifs (types d'éclairage, profils)
- + Modes d'analyses

Approche combinée = Simulation numérique / mesures



Principe de fonctionnement

Calendrier annuel

Project About

Environment Sources Situations Typical days Typical years Analyses Ajouter ... Ajouter ...

typical year

personnel_bureau

Load ... Save Add ... Del

Current month

January

	monday	tuesday	wednesday	thursday	friday	saturday	sunday
w 1							
w 2							
w 3							
w 4							
w 5				1	2	3	4
w 6	5	6	7	8	9	10	11

Journées types


Project About

Environment Sources Situations Typical days Typical years Analyses Ajouter ... Ajouter ...


typical day

bureau_lundi (53)

Load ... Save Add ... Del



[00:00:00]	sommeil
[07:30:00]	brossage_dents
[08:00:00]	petit_dej
[08:20:00]	brossage_dents
[08:30:00]	trajet_voiture
[09:00:00]	travail_de_bureau
[12:30:00]	dejeuner_en_entreprise
[13:30:00]	travail_de_bureau
[18:00:00]	trajet_voiture
[18:30:00]	activite_sportive
[20:30:00]	repas_famille
[21:00:00]	television
[22:30:00]	lecture_chambre
[23:00:00]	sommeil



Add ... Del

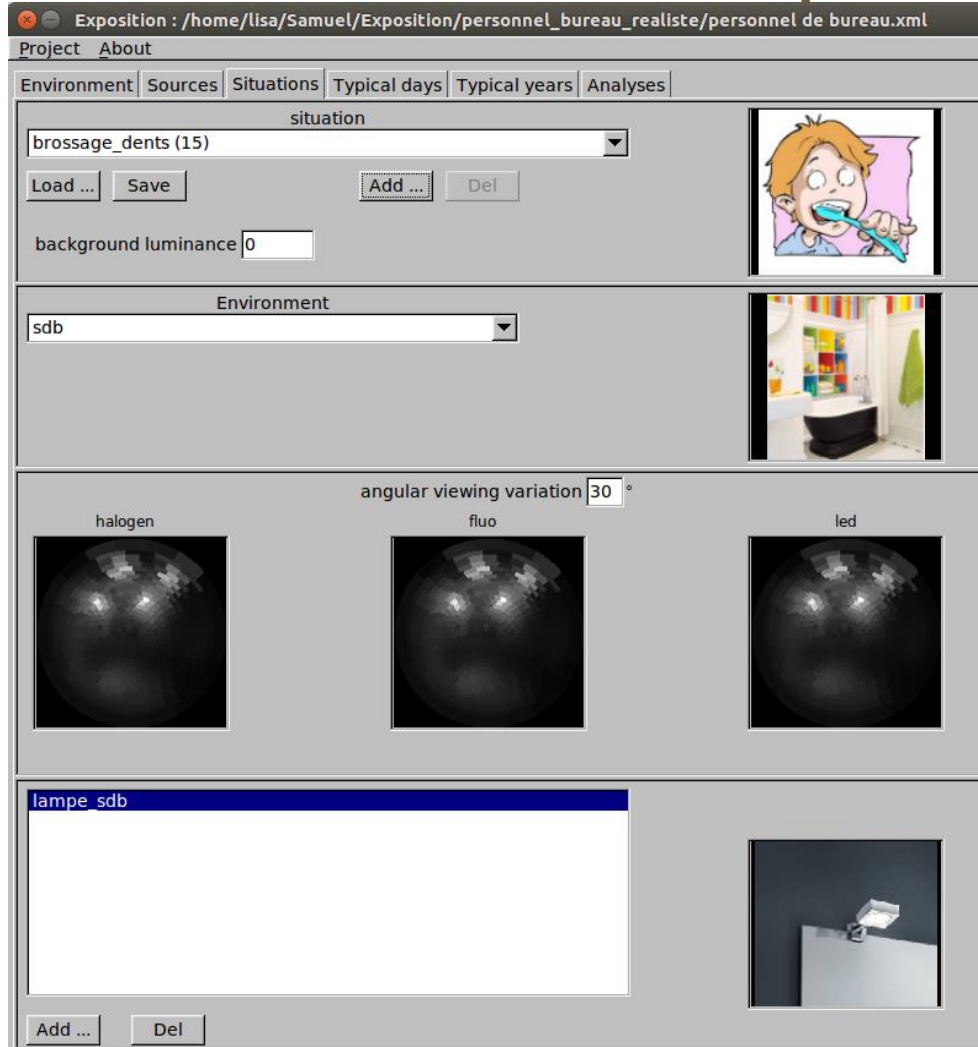
Analyse comparative des sources

The screenshot displays the LumExpo software interface for comparative analysis. The main window is titled "Exposition : /home/lisa/Samuel/Exposition/personnel_bureau_realiste/personnel de bureau.xml". The interface is divided into several sections:

- Source Selection:** A dropdown menu is set to "lampe_sdb (2)". Below it are buttons for "Load ...", "Save", "Add ...", and "Del".
- 3D Model:** A small 3D rendering of a desk lamp is shown in the top right.
- Parameter Grids:** Three columns represent different light technologies: "halogen", "fluorescence", and "LED". Each column has a grid of parameters:
 - halogen:** Illuminance 417 lux, App. Surf. 0.008 m2, Distance 0.8 m, Angular. D. 45°, Angular. P. 0.
 - fluorescence:** Illuminance 417 lux, App. Surf. 0.008 m2, Distance 0.8 m, Angular. D. 45°, Angular. P. 0.
 - LED:** Illuminance 417 lux, App. Surf. 0.008 m2, Distance 0.8 m, Angular. D. 45°, Angular. P. 0.
- Spectral Graphs:** Below each parameter grid is a spectral graph showing the light spectrum. The maximum values are:
 - halogen: max : 3.94844e-05
 - fluorescence: max : 4.96067e-05
 - LED: max : 1.90672e-05
- Colorimetric Data:** At the bottom of each column, CCT, K, CRI, and Melanopic ratio are listed:
 - halogen: CCT 2615 K, CRI 100, Melanopic ratio 0.49
 - fluorescence: CCT 2754 K, CRI 82, Melanopic ratio 0.37
 - LED: CCT 3111 K, CRI 85, Melanopic ratio 0.54

- 3 technologies / hypothèses
- Mesures
- Cartographies de luminance
- Spectre et colorimétrie

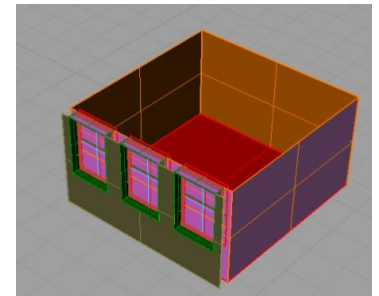
Description des situations



- **environnement**
- **Variation du regard**
- **Liste des sources**

Séquenceur

- **Éclairage naturel suivant les environnements**
 - Ciel paramétrique
 - Climat lumineux local (RT 2012)
 - Modèles de ciel + soleil (Perraudeau, Pérez)
 - Composition spectrale (Chain, Tourasse)
 - Locaux types (occupation, regard)
 - Simulation d'éclairage, œil virtuel
- **Éclairage artificiel suivant la situation**
 - 3 configurations
 - Éclairement et cartographie de luminance



Scénarios de vie étudiés pour l'Anses

employé de bureau

travailleur de nuit

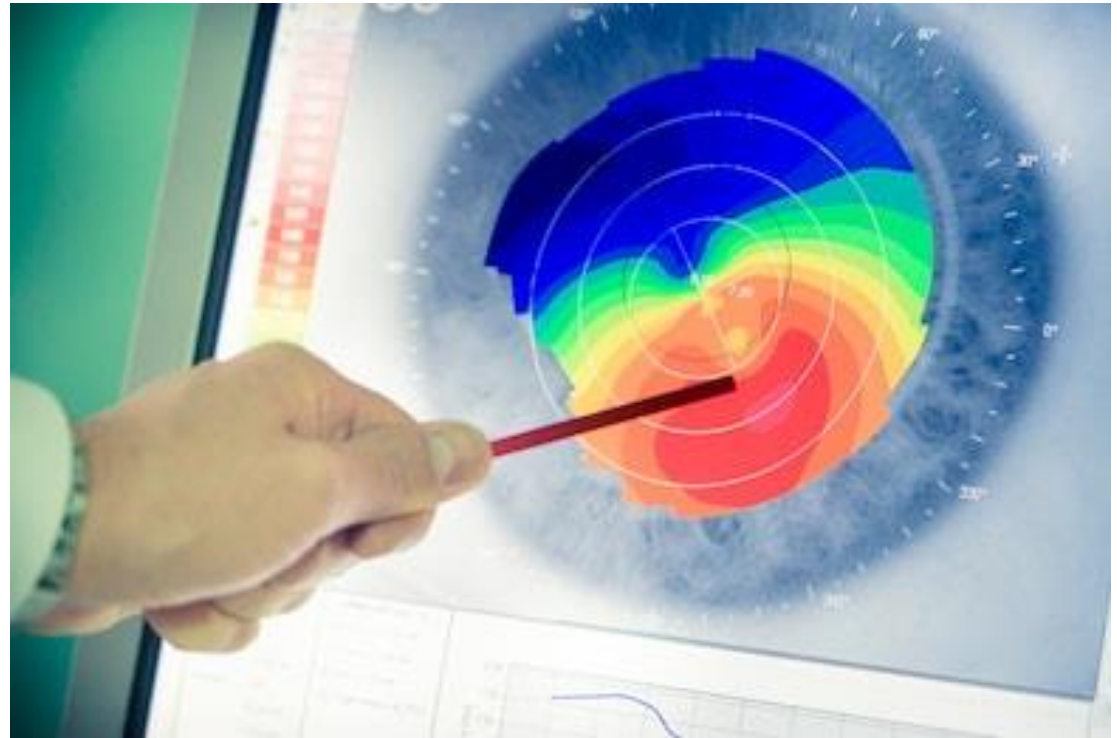
enfant en maternelle

adolescent

personne âgée

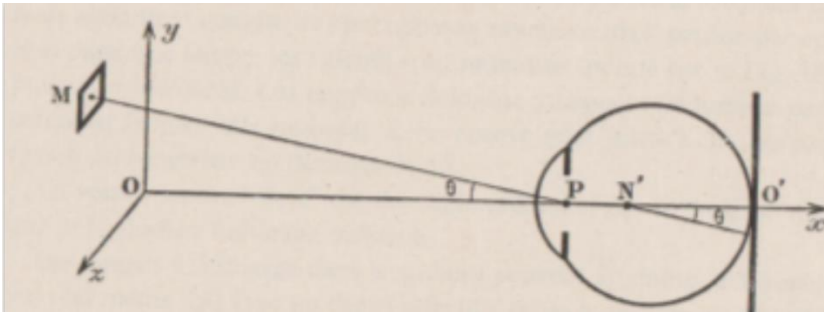
Sur la cornée

- **Évolution journalière**
- **Par bandes spectrales**
- **Année complète**
- **Saisons lumineuses**
- **Bilan moyen journalier**
- **Bilan moyen 2 heures avant le coucher**
- **Bilan moyen 2 heures après le lever**

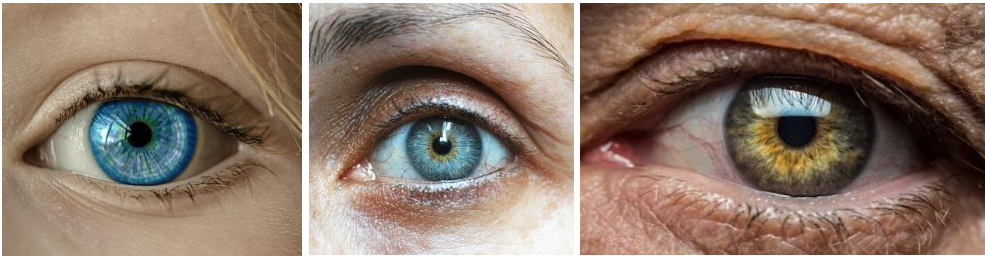


Sur la rétine :

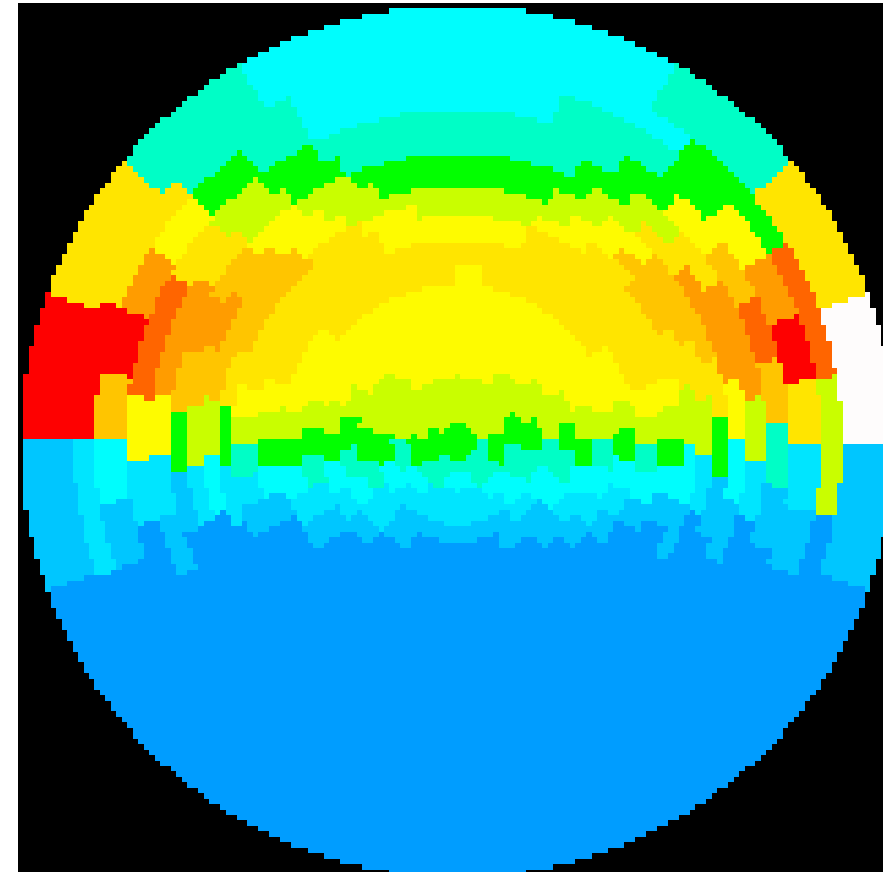
- **Modèle optique de l'œil humain (Y. Le Grand)**



- **Modèle d'ouverture pupillaire (A. Watson)**



Cartographie des doses rétiniennes





Exemple de résultats

Scénario :

Employé de bureau habitant Paris

Vacances en Normandie et sur la Côte d'Azur

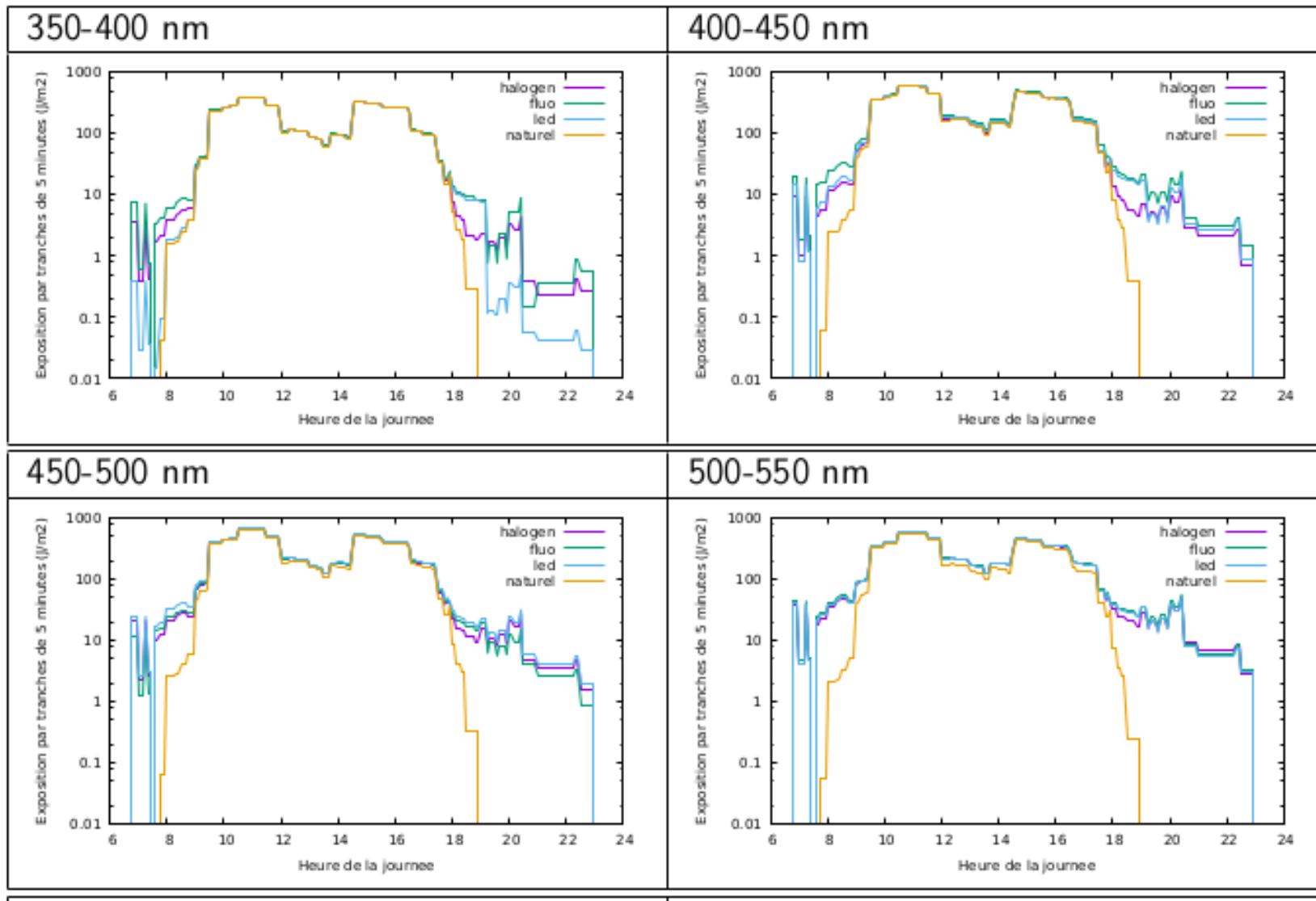
Activités de loisirs diverses, intègre des semaines de congés (sur la Côte d'Azur, en Normandie)

Diversité des fins de semaine (ensoleillé, pluvieux, courses).

Exemple d'un lundi typique

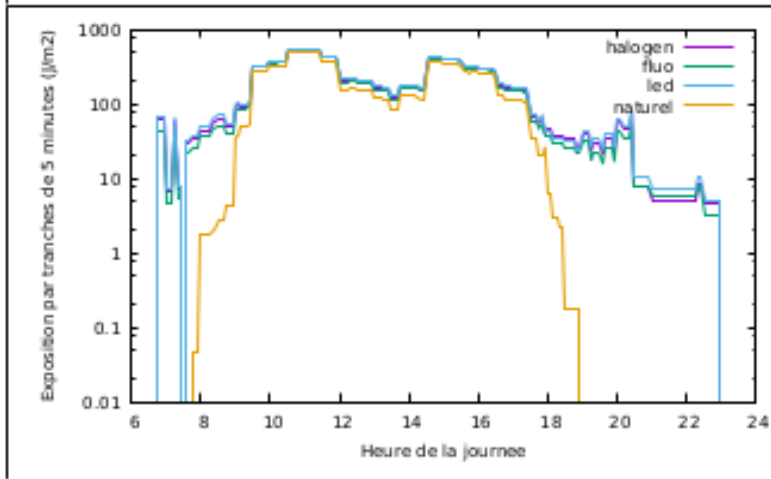
Heure début	Situation	Environnement	Couleur halogène	Couleur fluorescence	Couleur LED	Couleur LED froide
[00:00:00]	sommeil	black room	-	-	-	-
[06:45:00]	bain	sdb	2600 K	2750 K	3100 K	6400 K
[07:00:00]	petit dej	cuisine	2600 K	2750 K	2950 K	6400 K
[07:15:00]	brossage dents	sdb	2600 K	2750 K	3100 K	6400 K
[07:20:00]	habillage	chambre enfant	2600 K	2750 K	3100 K	6400 K
[07:30:00]	trajet à pied	extérieur	-	-	-	-
[07:35:00]	trajet métro	black room	2600 K	3850 K	3800 K	6400 K
[08:00:00]	travail de bureau	bureau	2600 K	3850 K	3850 K	6400 K
[12:30:00]	dejeuner en entreprise	restaurant	2600 K	3850 K	3900 K	6400 K
[14:00:00]	travail de bureau	bureau	2600 K	3850 K	3850 K	6400 K
[17:30:00]	trajet métro	black room	2600 K	3850 K	3800 K	6400 K
[17:55:00]	trajet à pied	exterieur	-	-	-	-
[18:00:00]	activite sportive	gymnase	2600 K	5850 K	6000 K	6400 K
[19:15:00]	trajet à pied	extérieur	-	-	-	-
[19:20:00]	trajet métro	black room	2600 K	3850 K	3800 K	6400 K
[19:35:00]	trajet à pied	extérieur	-	-	-	-
[19:40:00]	bain	sdb	2600 K	2750 K	3100 K	6400 K
[19:55:00]	activites domestiques	cuisine	2600 K	2750 K	2950 K	6400 K
[20:30:00]	repas famille	salon	2600 K	2900 K	2950 K	6400 K
[21:00:00]	télévision	salon	4400 K	5700 K	7550 K	7550 K
[22:30:00]	lecture chambre	chambre enfant	2600 K	2750 K	3100 K	6400 K
[23:00:00]	sommeil	black room	-	-	-	-

Eclairements cornéens au cours d'une journée moyenne en hiver

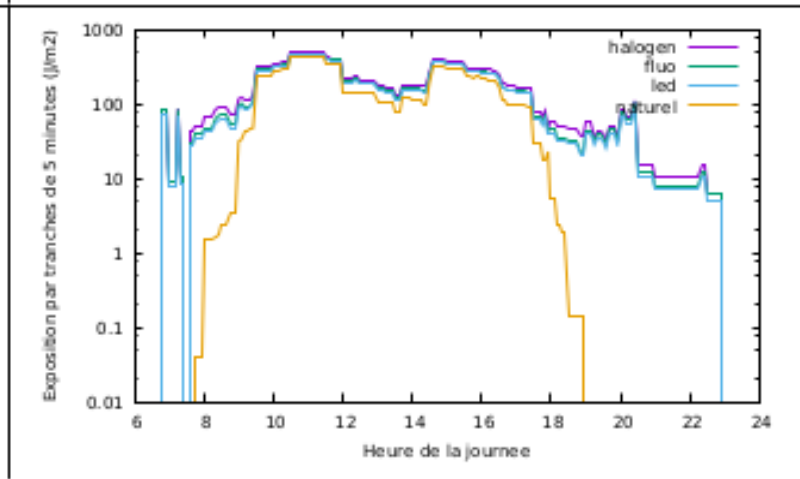


Eclairements cornéens au cours d'une journée moyenne en hiver

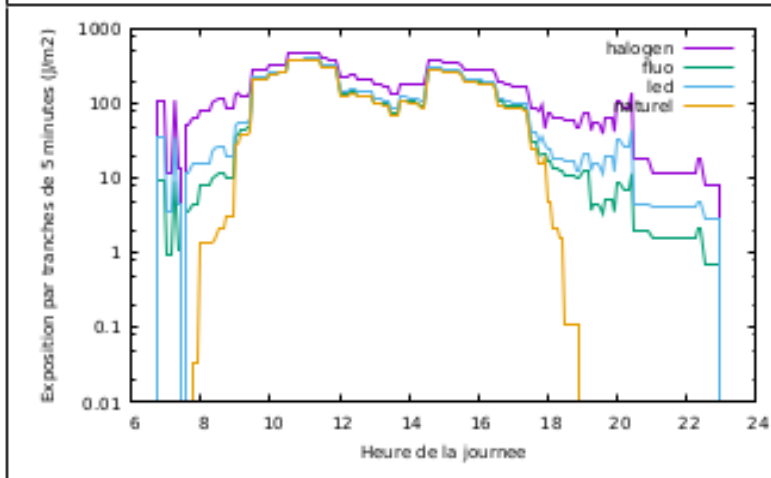
550-600 nm



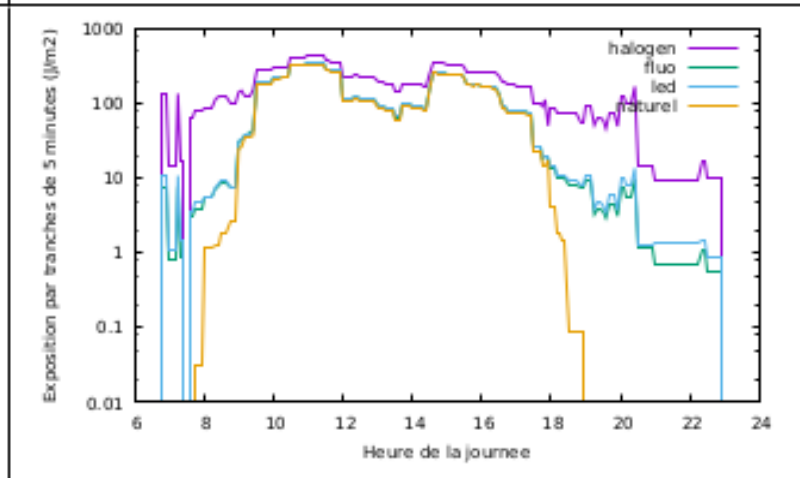
600-650 nm



650-700 nm

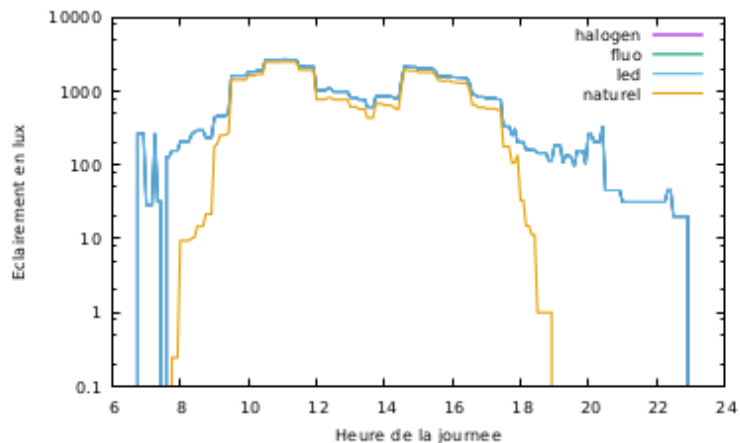


700-750 nm

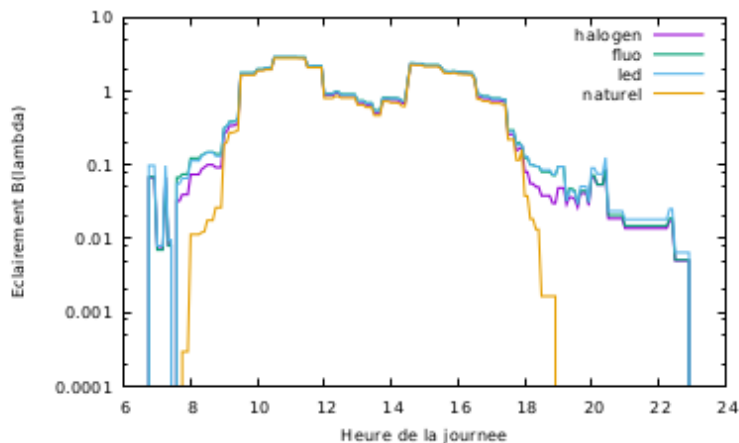


Eclairages cornéens au cours d'une journée moyenne en hiver

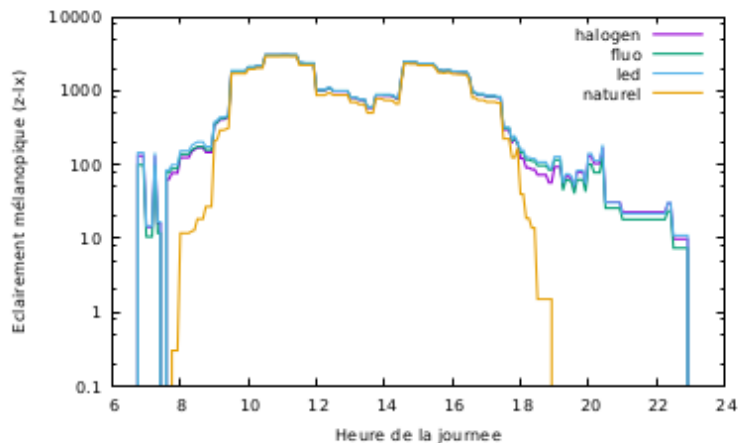
éclairage



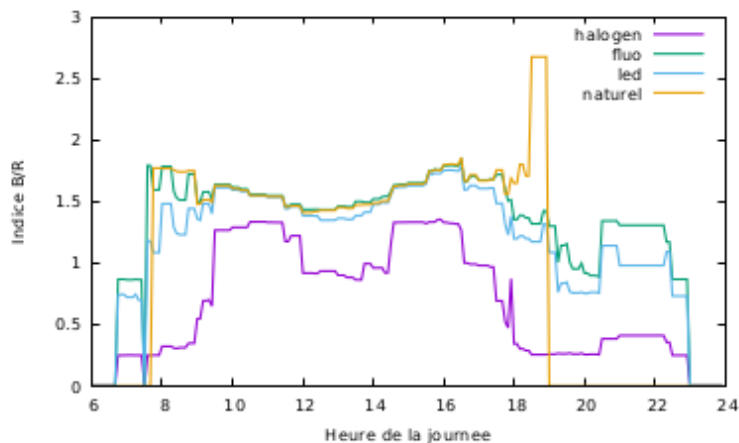
pondération par $B(\lambda)$



pondération mélanopique



ratio bleu/rouge



Exposition cornéenne cumulée sur 2 h en début de journée en hiver

1.6.1.2 - Bilan 2 heures après le lever

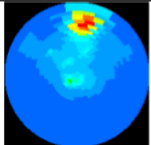
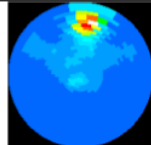
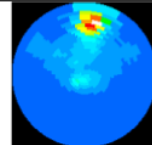
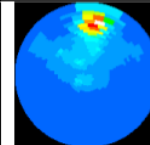
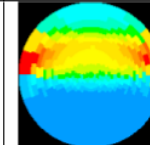
Catégorie	halogène	fluorescence	led	led (pire cas)	naturel seul
énergétique visible	8.2 Wh/m ²	6.7 Wh/m ²	6.8 Wh/m ²	6.8 Wh/m ²	5.6 Wh/m ²
b. [350 400]	605 mWh/m ²	620 mWh/m ²	591 mWh/m ²	591 mWh/m ²	589 mWh/m ²
b. [400 450]	906 mWh/m ²	974 mWh/m ²	922 mWh/m ²	989 mWh/m ²	855 mWh/m ²
b. [450 500]	1.01 Wh/m ²	1.01 Wh/m ²	1.05 Wh/m ²	1.18 Wh/m ²	906 mWh/m ²
b. [500 550]	964 mWh/m ²	993 mWh/m ²	971 mWh/m ²	1.03 Wh/m ²	771 mWh/m ²
b. [550 600]	922 mWh/m ²	862 mWh/m ²	955 mWh/m ²	928 mWh/m ²	653 mWh/m ²
b. [600 650]	970 mWh/m ²	898 mWh/m ²	851 mWh/m ²	754 mWh/m ²	567 mWh/m ²
b. [650 700]	1.02 Wh/m ²	546 mWh/m ²	633 mWh/m ²	574 mWh/m ²	504 mWh/m ²
b. [700 750]	1.04 Wh/m ²	479 mWh/m ²	486 mWh/m ²	462 mWh/m ²	447 mWh/m ²
b. [750 800]	1.07 Wh/m ²	412 mWh/m ²	407 mWh/m ²	402 mWh/m ²	396 mWh/m ²
dose lumineuse	1385 lx.h	1385 lx.h	1385 lx.h	1385 lx.h	1014 lx.h
dose phototoxique	1.31 Wh/m ²	1.37 Wh/m ²	1.37 Wh/m ²	1.52 Wh/m ²	1.21 Wh/m ²
dose mélanopique	1434 z-lx.h	1429 z-lx.h	1471 z-lx.h	1606 z-lx.h	1239 z-lx.h
ratio Bleu/Rouge	0.97	1.60	1.51	1.82	1.66

Exposition cornéenne cumulée sur 2 h en fin de journée en hiver

1.6.1.3 - Bilan 2 heures avant le coucher

Catégorie	halogène	fluorescence	led	led (pire cas)	naturel seul
énergétique visible	374 mWh/m ²	176 mWh/m ²	202 mWh/m ²	194 mWh/m ²	0 mWh/m ²
b. [350 400]	1 mWh/m ²	3 mWh/m ²	0 mWh/m ²	0 mWh/m ²	0 mWh/m ²
b. [400 450]	11 mWh/m ²	18 mWh/m ²	16 mWh/m ²	24 mWh/m ²	0 mWh/m ²
b. [450 500]	20 mWh/m ²	14 mWh/m ²	24 mWh/m ²	41 mWh/m ²	0 mWh/m ²
b. [500 550]	40 mWh/m ²	36 mWh/m ²	33 mWh/m ²	41 mWh/m ²	0 mWh/m ²
b. [550 600]	33 mWh/m ²	34 mWh/m ²	45 mWh/m ²	43 mWh/m ²	0 mWh/m ²
b. [600 650]	66 mWh/m ²	53 mWh/m ²	46 mWh/m ²	29 mWh/m ²	0 mWh/m ²
b. [650 700]	78 mWh/m ²	9 mWh/m ²	25 mWh/m ²	10 mWh/m ²	0 mWh/m ²
b. [700 750]	68 mWh/m ²	4 mWh/m ²	8 mWh/m ²	2 mWh/m ²	0 mWh/m ²
b. [750 800]	75 mWh/m ²	0 mWh/m ²	2 mWh/m ²	0 mWh/m ²	0 mWh/m ²
dose lumineuse	59 lx.h	59 lx.h	59 lx.h	59 lx.h	0 mlx.h
dose phototoxique	23 mWh/m ²	25 mWh/m ²	31 mWh/m ²	52 mWh/m ²	0 mWh/m ²
dose mélanopique	39 z-lx.h	31 z-lx.h	39 z-lx.h	57 z-lx.h	0 mz-lx.h
ratio Bleu/Rouge	0.37	1.21	0.95	2.80	0.00

Doses d'exposition rétinienne cumulées sur une journée moyenne en hiver

Catégorie	halogène (seul)	fluorescence (seul)	led (seul)	led (pire cas)	naturel (seul)
énergétique visible	428 mJ/cm ²	181 mJ/cm ²	180 mJ/cm ²	194 mJ/cm ²	254 mJ/cm ²
b. [350 400]	2 mJ/cm ²	5 mJ/cm ²	0 mJ/cm ²	0 mJ/cm ²	25 mJ/cm ²
b. [400 450]	7 mJ/cm ²	22 mJ/cm ²	8 mJ/cm ²	20 mJ/cm ²	37 mJ/cm ²
b. [450 500]	15 mJ/cm ²	21 mJ/cm ²	27 mJ/cm ²	44 mJ/cm ²	40 mJ/cm ²
b. [500 550]	28 mJ/cm ²	37 mJ/cm ²	32 mJ/cm ²	40 mJ/cm ²	35 mJ/cm ²
b. [550 600]	44 mJ/cm ²	33 mJ/cm ²	48 mJ/cm ²	44 mJ/cm ²	30 mJ/cm ²
b. [600 650]	63 mJ/cm ²	46 mJ/cm ²	41 mJ/cm ²	29 mJ/cm ²	26 mJ/cm ²
b. [650 700]	83 mJ/cm ²	5 mJ/cm ²	15 mJ/cm ²	11 mJ/cm ²	23 mJ/cm ²
b. [700 750]	101 mJ/cm ²	4 mJ/cm ²	4 mJ/cm ²	2 mJ/cm ²	20 mJ/cm ²
b. [750 800]	115 mJ/cm ²	5 mJ/cm ²	0 mJ/cm ²	0 mJ/cm ²	18 mJ/cm ²
dose lumineuse	164 lx.h				128 lx.h
dose phototoxique	15 mJ/cm ²	31 mJ/cm ²	26 mJ/cm ²	49 mJ/cm ²	53 mJ/cm ²
dose mélanopique	141 z-lx.h	122 z-lx.h	138 z-lx.h	163 z-lx.h	155 z-lx.h
ratio bleu/rouge	0.53	1.77	2.04	2.81	1.60
énergétique visible M	43 mJ/cm ²	19 mJ/cm ²	19 mJ/cm ²	20 mJ/cm ²	101 mJ/cm ²
b. [350 400]	0 mJ/cm ²	0 mJ/cm ²	0 mJ/cm ²	0 mJ/cm ²	9 mJ/cm ²
b. [400 450]	0 mJ/cm ²	2 mJ/cm ²	1 mJ/cm ²	2 mJ/cm ²	14 mJ/cm ²
b. [450 500]	1 mJ/cm ²	2 mJ/cm ²	2 mJ/cm ²	4 mJ/cm ²	16 mJ/cm ²
b. [500 550]	3 mJ/cm ²	3 mJ/cm ²	3 mJ/cm ²	4 mJ/cm ²	13 mJ/cm ²
b. [550 600]	4 mJ/cm ²	3 mJ/cm ²	5 mJ/cm ²	4 mJ/cm ²	12 mJ/cm ²
b. [600 650]	6 mJ/cm ²	5 mJ/cm ²	4 mJ/cm ²	3 mJ/cm ²	10 mJ/cm ²
b. [650 700]	8 mJ/cm ²	0 mJ/cm ²	1 mJ/cm ²	1 mJ/cm ²	9 mJ/cm ²
b. [700 750]	9 mJ/cm ²	0 mJ/cm ²	0 mJ/cm ²	0 mJ/cm ²	8 mJ/cm ²
b. [750 800]	10 mJ/cm ²	0 mJ/cm ²	0 mJ/cm ²	0 mJ/cm ²	7 mJ/cm ²
dose lumineuse M	17 lx.h				51 lx.h
dose phototoxique M	1 mJ/cm ²	3 mJ/cm ²	2 mJ/cm ²	5 mJ/cm ²	21 mJ/cm ²
dose mélanopique M	9.7 z-lx.h	10 z-lx.h	11 z-lx.h	17 z-lx.h	60 z-lx.h
ratio bleu/rouge M	0.29	1.50	1.20	2.73	1.54
cartographie					

Valeur maximale sur la surface rétinienne

Valeur moyenne sur la surface rétinienne

**Part phototoxique de l'éclairage
artificiel vs. naturel**

**Analyse de la
cartographie de
l'exposition rétinienne**

**Comparatifs entre sources
d'éclairage artificiel**

**Identification des zones
rétiniennes les plus
exposées**

**Contribution des écrans à
l'exposition rétinienne**

**Efficacité des dispositifs de
filtrages des sources**

**Efficacité des verres de protections
ophtalmiques**

Association française de l'éclairage - Collège Santé de l'AFE - 26 mars 2019



CSTB
le futur en construction