

Rapport technique

« EXTERIOR LIGHTING WITH LOW BLUE CONTENT »

IREQ-2014-0077    Diffusion public

André Laperrière

Novembre 2014



« EXTERIOR LIGHTING WITH LOW BLUE CONTENT »

IREQ-2014-0077 Diffusion public

Auteur(s) : André Laperrière

Collaborateur(s) : Chrisnel Blot, Spectralux  
Patrick Martineau, Hydro-Québec

Chargé de projet : « André Laperrière »

Réalisé dans le cadre du projet : Technologies avancées d'éclairage

Requérant : Plateforme Clientèle

Chargé de projet de l'unité d'affaires : Patrick Martineau

Approuvé par :



---

Jocelyn Millette

Chef – Technologie – Services à la clientèle

Institut de recherche d'Hydro-Québec



## **LISTE DES PERSONNES OU GROUPES AYANT ACCÈS AU DOCUMENT**

### **RAPPORT AU COMPLET :**

### **COPIE N°**

Jocelyn Millette - Chef – Technologie – Services à la clientèle	PDF
Michel Dostie – Chef Expertise - Utilisation de l'énergie	PDF
Éric Dumont - Chef Énergétique Bâtiment - LTE	PDF
François Allaire - Chef Énergétique Industrie - LTE	PDF
Pierre Galant - Ressources naturelles Canada	PDF
André Laperrière– LTE	PDF
Patrick Martineau – S.C.U.E. - Hydro-Québec	PDF
Étienne St-Cyr – S.C.U.E. – Hydro-Québec	PDF
Chrisnel Blot – Spectralux	PDF
Bernard Boulet – ASTROLab du Mont-Mégantic	PDF
Pierre Goulet – ASTROLab du Mont-Mégantic	PDF
Sébastien Giguère – ASTROLab du Mont-Mégantic	PDF
Solid State Lighting network (pdf)	PDF



## Summary

---

The city of Los Angeles proceeded to the street light conversion of 140 000 luminaires to LED (light emitting diode) technology. A color temperature of 4 000 K with a tolerance of plus and minus 275 K is still required in the technical specifications (3 725 K to 4 275 K)<sup>1</sup>.

However, on some critical sites such as observatories, specialists recommend to limit light emission for wavelength below 500 nm. In fact, fears are raised for the light emission in wavelength region from 450 to 470 nm.<sup>2</sup>

*« Increasing use of artificial light at night has posed a growing threat to the visibility of the night sky, and will soon encroach on the best of the world's observatory sites. A revolution is now taking place in the rapid acceptance of blue-rich LEDs and other light sources touted as being more energy efficient for outdoor lighting. Many of these sources emit a substantial fraction of their energy in the 400-500 nm range, a spectral region previously spared major impact from the 590nm output of common sodium lamps »<sup>3</sup>*

As an example, on the island of Hawaii where is located the Mauna Kea observatory, LED luminaires with a filter absorbing almost all the light below 500 nm will be installed to replace the Low Pressure Sodium (LPS).<sup>4</sup> The chosen 10 000 LED luminaires reduce the light blue content from a nominal 25% value to less than 2 %<sup>5</sup>.

In the province of Québec, the *Réserve internationale de ciel étoilé du Mont-Mégantic (RICEMM)* and the ASTROLab are also very concerned by the blue content of some luminous source.

---

<sup>1</sup> [http://bsl.lacity.org/downloads/led/municipalities-utilities/Minimum\\_Requirements.pdf](http://bsl.lacity.org/downloads/led/municipalities-utilities/Minimum_Requirements.pdf)

<sup>2</sup> David H. Sliney, Ph.D., ALMOST ALL LAMPS ARE SAFE, BUT SAFETY OF NEW LAMPS IS QUESTIONED, Department of Environmental Health Sciences, Johns Hopkins Bloomberg School of Public Health, Baltimore, MD, USA, PROCEEDINGS of CIE 2014 Lighting Quality and Energy Efficiency, Kuala Lumpur, Malaysia

<sup>3</sup> <http://www.iau.org/science/events/1148/>

<sup>4</sup> Ian Corbett, ed., Transactions IAU, Volume XXVIII, Reports on Astronomy 2009-2012, DIVISION XII / COMMISSION 50 PROTECTION OF EXISTING AND POTENTIAL OBSERVATORY SITES

<sup>5</sup> Ron Thiel, Dept of Public Works, traffic Division, Marriage of heaven and Earth: Reconciling Observatory Needs and LED Energy savings for Hawaii Street Lights, 2014 IES Street and Area Lighting Conference, Septembre 14-17 2014

The goal of this study is to address such concern and also for some wildlife location since blue content can also impact this type of environment.<sup>6 7 8</sup> The principle in astronomy can be understood by referring to the Rayleigh law of diffusion<sup>9 10</sup> with  $1/\lambda^4$ ,  $\lambda$  being the wavelength. Light with a wavelength of 450 nm will be diffused three more times within the atmosphere than a wavelength at 600 nm. Recently, few street LED luminaires that are equipped to filter out blue light (less than 2%) were installed in the town of Sherbrooke.

To preserve such type of environment, proper type of light source must be used. Indeed, since 2012, a MLO (« Model Lighting Ordinance ») jointly developed by IES (Illuminating Engineering Society) and IDA (« International Dark Sky Association ») can be used.

Under these rules, several zones exist described by LZ0 to LZ4:

*LZ0: No ambient lighting*

*Areas where the natural environment will be seriously and adversely affected by lighting. Impacts include disturbing the biological cycles of flora and fauna and/or detracting from human enjoyment and appreciation of the natural environment. Human activity is subordinate in importance to nature. The vision of human residents and users is adapted to the darkness, and they expect to see little or no lighting. When not needed, lighting should be extinguished.*

*LZ1 : Low ambient lighting*

*Areas where lighting might adversely affect flora and fauna or disturb the character of the area. The vision of human residents and users is adapted to low light levels. Lighting may be used for safety and convenience but it is not necessarily uniform or continuous. After curfew, most lighting should be extinguished or reduced as activity levels decline.*

---

<sup>6</sup> Bertolotti, L., and M. Salmon. 2005. "Do embedded roadway lights protect sea turtles?" Environmental Management. 36(5): 702-710.

<sup>7</sup> Buchanan, B. W. 1993. Effects of enhanced lighting on the behavior of nocturnal frogs. Animal Behavior. 45: 893-899.

<sup>8</sup> Daniel Lewanzik and Christian C. Voigt, Artificial light puts ecosystem services of frugivorous bats at risk, Journal of Applied Ecology, April 2014, Volume 51, Issue 2, pages 388-394. doi: 10.1111/1365-2664.12206

<sup>9</sup> [http://fr.wikipedia.org/wiki/Diffusion\\_Rayleigh](http://fr.wikipedia.org/wiki/Diffusion_Rayleigh)

<sup>10</sup> [http://fr.wikipedia.org/wiki/Couleur\\_du\\_ciel](http://fr.wikipedia.org/wiki/Couleur_du_ciel)



*LZ2 : Moderate ambient lighting*

*Areas of human activity where the vision of human residents and users is adapted to moderate light levels. Lighting may typically be used for safety and convenience but it is not necessarily uniform or continuous. After curfew, lighting may be extinguished or reduced as activity levels decline.*

*LZ3 : Moderately high ambient lighting*

*Areas of human activity where the vision of human residents and users is adapted to moderately high light levels. Lighting is generally desired for safety, security and/or convenience and it is often uniform and/or continuous. After curfew, lighting may be extinguished or reduced in most areas as activity levels decline.*

*LZ4 : High ambient lighting*

Areas of human activity where the vision of human residents and users is adapted to high light levels. Lighting is generally considered necessary for safety, security and/or convenience and it is mostly uniform and/or continuous. After curfew, lighting may be extinguished or reduced in some areas as activity levels decline.

The ASTROLab region is described as LZ0 and luminaires must be design in such a way:

- i) no upward light emission ;
- ii) control even turn off artificial lighting when not required ;
- iii) minimise the energy in the blue spectrum ;
- iv) provide priority to the nature and not the human.

Although LZ0 is similar to the situation *RICEMM*, protection of the night sky was not done according to the MLO, but with its own regulations and environmental areas.

Table S-1 presents the cumulative spectral power density energy as a function of the wavelength and the light source type. Values are ranked from low to high for a wavelength value of 500 nm.

Two LED luminaires of 1 807 K and 1 912 K show a cumulative spectral power density of 1 % with wavelength below 500 nm. These values are well below the high pressure sodium (HPS) value of 9%. However, the efficiency in lumens per watt is about the same for these two LED luminaires than the HPS.

Figure S-2 shows the percentage of the cumulative spectral power density as a function of the correlated color temperature (K). A linear relationship ( $R^2 = 0,88$ ) is given by the following equation:

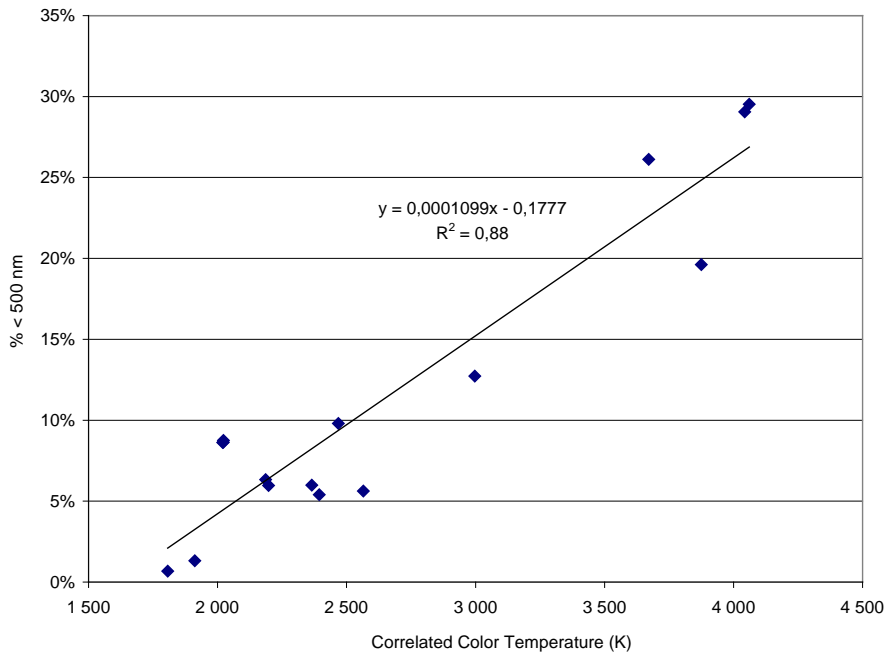
$$\% < 500 \text{ nm} = 0,0001099 \times (\text{Correlated Color Temperature}) - 0,1777$$

**Tableau S-1: % cumulative power spectral density for two wavelengths**

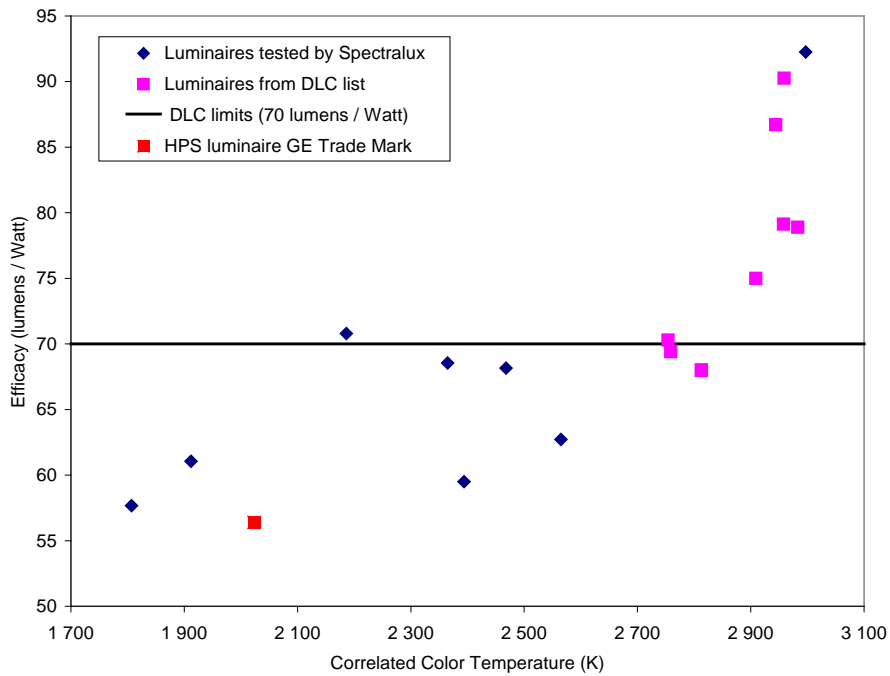
Test no.	Technology	K	440 nm	500 nm
SPD L1403058	1 807 K - DEL	1 807	0%	1%
SPD L1311292	1 912 K - DEL	1 912	0%	1%
SPD L1312032	2 394 K - DEL	2 394	1%	5%
SPD L1312033	2 565 K - DEL	2 565	1%	6%
SPD L1403059	2198 K - DEL	2 198	2%	6%
SPD L1312042	2 365 K - DEL	2 365	3%	6%
SPD L1312122	2 186 K - DEL	2 186	2%	6%
SPD L1011043	2020 K - HPS	2 020	2%	9%
SPD L1011044	2022 K - HPS	2 022	2%	9%
SPD L1011045	2023 K - HPS	2 023	2%	9%
SPD L1311282	2 468 K - DEL	2 468	3%	10%
SPD L1312123	2 997 K - DEL	2 997	3%	13%
SPD L1301162	3875 K - DEL	3 875	4%	20%
SPD L1407223	3 671 K - MV	3 671	23%	26%
SPD L1407224	4 043 K - MV	4 043	26%	29%
SPD L1407225	4 061 K - MV	4 061	26%	30%

DEL technology provides several options based on required criteria such as reducing the blue content. Some DEL luminaires can reduce the cumulative spectral power density to a value less than 1% below 500 nm as shown in Table S-1. It is noteworthy that for a given color temperature, LED technology emits less than Mercury Vapour (MV) technology and High Pressure sodium (HPS).

However, the luminous efficacy in lumens per watt is decreased by reducing the blue content. Figure S-2 shows the luminous efficacy in lumens per watt as a function of the color temperature. All technology data on the plot are LED technology except the red dot from HPS technology. The minimum criterion of 70 lumens per Watt from the DLC (Design Light Consortium) is shown with a line.



**Figure S-1: % cumulative below 500 nm and Correlated Color Temperature**



**Figure S-2: Luminous efficacy versus Correlated Color Temperature**

Computer simulations were performed to compare LED low Correlated Color Temperature with HPS technology using DiaLux software.

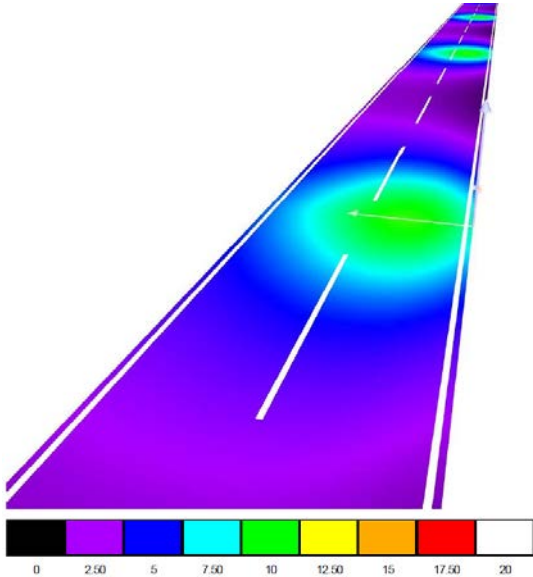


Figure S-3 : Éclairage technologie DEL basse température 1 912 K

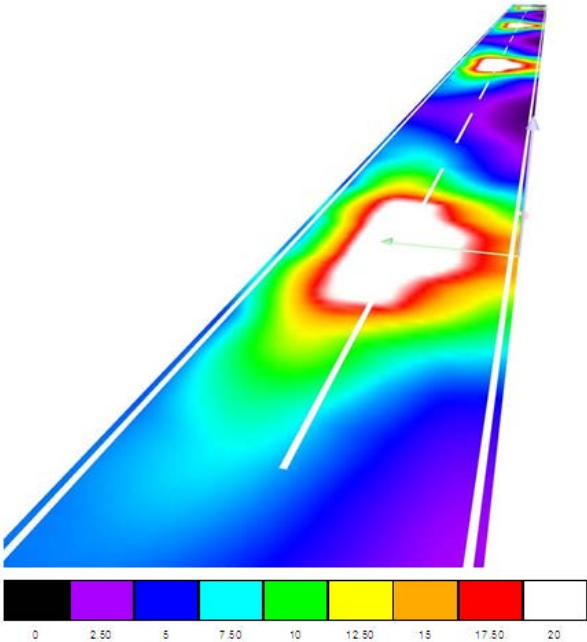


Figure S-4 : Éclairage technologie HPS

**Tableau S-2: Light computer simulation results  
(Maintenance factor 0,7)**

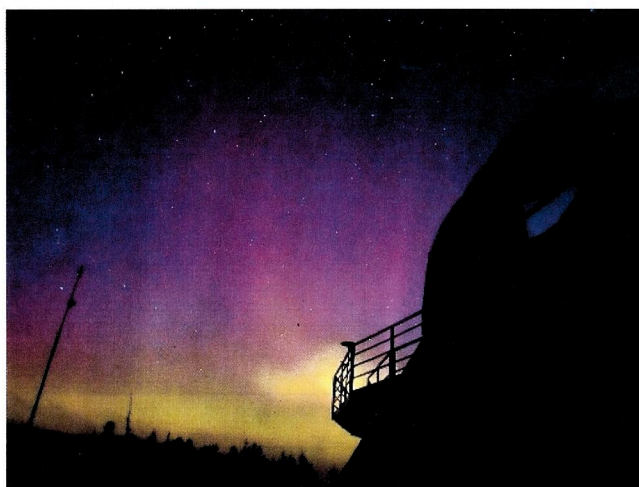
Mesures	Philips - Lumec	Philips - Lumec	HPS	IES RP-8
Photométrie Test	S1311282m-R1	S1307092	S1005121m	
Correlated Color Temperature ( K)	1 912 K	3 829 K	2 023 K	
Power (Watts)	73,8	69,1	130	
Initial luminous flux t=0 (lumens)	4420	6 033	7 405	
Luminous efficacy t = 0 (lumens /Watt)	60,0	87,4	57,0	
Mean illuminance (lux)	<b>4,02</b>	<b>6,6</b>	<b>7,9</b>	≥ 4,0
Maximum illuminance (lux)	10	15	28	
Minimum illuminance (lux)	1,09	1,83	1,05	
$E_{\text{mean}}/E_{\text{min}}$	<b>3,7</b>	<b>3,6</b>	<b>7,5</b>	≤ 6,0
$L_{\text{v max}}/L_{\text{mean}}$ (B)	<b>0,2</b>	<b>0,3</b>	<b>0,3</b>	≤ 0,4
BUG rating	B1UOG2	B1UOG1	B2U1G2	
$E_{\text{mean}}/\text{Watt}$ (lux/Watt)	0,054	0,096	0,073	

Table S-2 shows two lanes local street results. The 4 lux IES RP-8 requirement is met using LED low correlated color temperature although the illuminance per input electric energy (lux per Watt) is lower than HPS technology. In fact, LED luminaires can be design to better match the power level to the required lighting levels to meet the required lighting levels of local streets.

Several configurations were examined showing the great versatility of LED technology evolving very fast. This report demonstrates that the LED already outperforms traditional technologies used for outdoor lighting (HPS, MV), and, in terms of energy efficiency and quality of color rendering. Moreover, for the same color temperature, it has been shown that the energy emitted by the LED in the 500 nm is lower than that emitted by the same technology (HPS, MV).

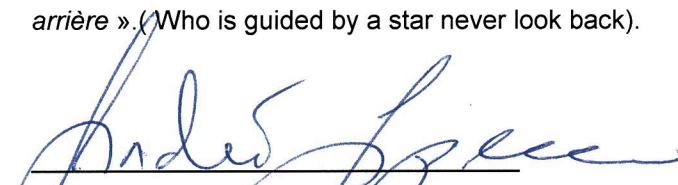
It is hoped that this report be used by luminaire manufacturers and lighting designers to guide their designs and then use the LED technology optimally in accordance with the needs of the customers. For example, a LED luminaire 3 000 K greatly improves energy efficiency and quality of color rendering compared to traditional technologies, while significantly reducing the spectral content below 500 nm.<sup>11</sup> In areas where the natural environment can be seriously disrupted by outside artificial lighting, the lighting could specify an LED luminaire of 2 400 K and under. As a matter of fact, a tender document of January 2014 by the town of Sherbrooke<sup>12</sup> requires for street luminaires:

- i) Color Temperature between 1 700 K and 2 200 K
- ii) Minimum Color Rendition Index (CRI) of 30



**Figure S-5 : ASTROLab du Mont Mégantic<sup>13</sup>**

Finally, in the words of Leonardo da Vinci: « *Qui est guidé par une étoile ne regarde jamais en arrière* » (Who is guided by a star never look back).

  
**André Laperrrière, chercheur**  
**Technologie – Services à la clientèle**  
**Laboratoire des technologies de l'énergie (L.T.E.)**

<sup>11</sup> Wim van Driel et al ; Protection of existing and potential observatory sites ; Transactions IAU, Volume XXVIII A; Reports on Astronomy 2009-2012

<sup>12</sup> Devis 2013-22 ; Ville de Sherbrooke, janvier 2014

<sup>13</sup> <http://astro-canada.ca/fr/a2109.php>

## Sommaire

---

La Ville de Los Angeles a procédé à la conversion de 140 000 luminaires de rue vers la technologie DEL. Parmi les exigences techniques, on demande encore aujourd'hui une température de couleur de 4 000 K avec une tolérance de plus ou moins 275 K (3725 K à 4275 K).<sup>14</sup>

Toutefois, pour certains sites critiques comme les observatoires, on désire limiter l'émission de lumière dans les longueurs d'ondes inférieures à 500 nm. Particulièrement, les craintes surviennent à cause de l'émission forte dans la gamme de longueur d'onde de 450 à 470 nm.<sup>15</sup>

*« Increasing use of artificial light at night has posed a growing threat to the visibility of the night sky, and will soon encroach on the best of the world's observatory sites. A revolution is now taking place in the rapid acceptance of blue-rich LEDs and other light sources touted as being more energy efficient for outdoor lighting. Many of these sources emit a substantial fraction of their energy in the 400-500 nm range, a spectral region previously spared major impact from the 590nm output of common sodium lamps »<sup>16</sup>*

Ainsi, sur l'île d'Hawaii où on y retrouve l'observatoire Mauna Kea, des luminaires DEL avec un filtre qui absorbe presque toute la lumière sous 500 nm seront installés en remplacement des luminaires Basse Pression Sodium (BPS).<sup>17</sup> Les 10 000 luminaires DEL choisis réduisent le contenu en bleu d'une valeur de 25% nominal à moins de 2 %<sup>18</sup>.

Au Québec, la Réserve internationale de ciel étoilé du Mont-Mégantic (RICEMM) et l'ASTROLab sont préoccupés par le contenu en bleu de certaines sources lumineuses.

---

<sup>14</sup> [http://bsl.lacity.org/downloads/led/municipalities-utilities/Minimum\\_Requirements.pdf](http://bsl.lacity.org/downloads/led/municipalities-utilities/Minimum_Requirements.pdf)

<sup>15</sup> David H. Sliney, Ph.D., ALMOST ALL LAMPS ARE SAFE, BUT SAFETY OF NEW LAMPS IS QUESTIONED, Department of Environmental Health Sciences, Johns Hopkins Bloomberg School of Public Health, Baltimore, MD, USA, PROCEEDINGS of CIE 2014 Lighting Quality and Energy Efficiency, Kuala Lumpur, Malaysia

<sup>16</sup> <http://www.iau.org/science/events/I148/>

<sup>17</sup> Ian Corbett, ed., Transactions IAU, Volume XXVIII, Reports on Astronomy 2009-2012, DIVISION XII / COMMISSION 50 PROTECTION OF EXISTING AND POTENTIAL OBSERVATORY SITES

<sup>18</sup> Ron Thiel, Dept of Public Works, traffic Division, Marriage of heaven and Earth: Reconciling Observatory Needs and LED Energy savings for Hawaii Street Lights, 2014 IES Street and Area Lighting Conference, Septembre 14-17 2014



C'est donc dans ce contexte que cette présente étude a été effectuée de même que pour certaines situations pour lesquelles on se situe davantage en milieu sauvage compte tenu également du contenu en bleu sur la vie animale.<sup>19 20 21</sup> Pour comprendre le principe au niveau de l'astronomie, il suffit de se référer à la loi de diffusion de Rayleigh.<sup>22 23</sup> qui se résume à  $1/\lambda^4$  avec  $\lambda$  étant la longueur d'onde. Ainsi, une onde émise à 450 nm sera diffusée 3 fois plus dans l'atmosphère qu'une onde émise à 600 nm. Récemment, des luminaires de rue DEL équipés de filtres pour couper la lumière dans le spectre bleu (inférieur à 2 %) ont été installés dans la Ville de Sherbrooke.

De manière à préserver un tel environnement, on se doit d'utiliser un type d'éclairage adéquat compte tenu de l'impact sur l'environnement. Or, il existe depuis 2012 un MLO (« Model Lighting Ordinance ») développé conjointement par IES (Illuminating Engineering Society) et IDA (« International Dark Sky Association »).

Suivant ce règlement, diverses zones sont décrites et ce, suivant la vocation. Ainsi, on y retrouve les zones LZ0 à LZ4 :

*LZ0 : Sans éclairage ambiant*

*Zones où l'environnement naturel sera sérieusement perturbé par l'éclairage extérieur artificiel. Les impacts incluent : dérèglement des cycles biologiques de la flore et de la faune et/ou nuire à la jouissance et à l'appréciation du milieu naturel par les êtres humains. L'activité humaine est secondaire en importance par rapport à la nature. La vue des êtres humains est adaptée à la noirceur et ils s'attendent à percevoir peu ou pas de lumière. Quand il n'est pas nécessaire, l'éclairage extérieur artificiel doit être éteint.*

*LZ1 : Éclairage ambiant réduit*

*Zones où l'éclairage extérieur peut perturber la flore et la faune ou changer le caractère du secteur. La vue des résidents et usagers humains est adaptée à des niveaux réduits d'éclairage. L'éclairage extérieur doit être utilisé seulement pour des raisons de sécurité et de confort mais il n'est pas nécessairement uniforme ni continu. Après le couvre-feu, la majorité des luminaires doivent être mis à l'arrêt ou le flux réduit au fur et à mesure que le niveau d'activité diminue.*

---

<sup>19</sup> Bertolotti, L., and M. Salmon. 2005. "Do embedded roadway lights protect sea turtles?" Environmental Management. 36(5): 702-710.

<sup>20</sup> Buchanan, B. W. 1993. Effects of enhanced lighting on the behavior of nocturnal frogs. Animal Behavior. 45: 893-899.

<sup>21</sup> Daniel Lewanzik and Christian C. Voigt, Artificial light puts ecosystem services of frugivorous bats at risk, Journal of Applied Ecology, April 2014, Volume 51, Issue 2, pages 388-394. doi: 10.1111/1365-2664.12206

<sup>22</sup> [http://fr.wikipedia.org/wiki/Diffusion\\_Rayleigh](http://fr.wikipedia.org/wiki/Diffusion_Rayleigh)

<sup>23</sup> [http://fr.wikipedia.org/wiki/Couleur\\_du\\_ciel](http://fr.wikipedia.org/wiki/Couleur_du_ciel)



### *LZ2 : Éclairage ambiant modéré*

*Zones d'activité humaine où la vue des résidents et usagers humains est adaptée à des niveaux d'éclairement moyens. L'éclairage extérieur est utilisé normalement pour des raisons de sécurité et de confort mais il n'est pas nécessairement uniforme ni continu. Après le couvre-feu, l'éclairage peut être mis à l'arrêt ou réduit au fur et à mesure que le niveau d'activité diminue.*

### *LZ3 : Éclairage ambiant assez important*

*Zones d'activité humaine où la vue des résidents et usagers humains est adaptée à des niveaux d'éclairement assez importants. L'éclairage extérieur est généralement demandé pour des raisons de sécurité et/ou de confort et il est souvent uniforme et/ou continu. Après le couvre-feu, l'éclairage peut être mis à l'arrêt ou réduit dans la plupart des régions de la zone au fur et à mesure que le niveau d'activité diminue.*

### *LZ4 : Éclairage ambiant important*

Des zones d'activité humaine où la vue des résidents et usagers humains est adaptée à des niveaux d'éclairement importants. L'éclairage extérieur est généralement considéré nécessaire pour des raisons de sécurité et/ou de confort et il est, dans la plupart des cas, uniforme et/ou continu. Après le couvre-feu, l'éclairage peut être mis à l'arrêt ou réduit dans certaines régions de la zone au fur et à mesure que l'intensité de l'activité diminue.

Dans le cas de la région de l'ASTROLab, il s'agit là de la zone LZ0 et les luminaires doivent être conçus de manière à :

- i) masquer l'émission de lumière vers le ciel ;
- ii) contrôler voire éteindre l'éclairage artificiel extérieur lorsque non nécessaire ;
- iii) minimiser l'énergie contenue dans la bande spectrale du bleu et
- iv) donner priorité à la nature plutôt qu'à l'humain.

Bien qu'une LZ0 s'apparente à la situation de la RICEMM, la protection du ciel étoilé ne s'est pas fait selon le MLO, mais bien avec ses propres règlements et zones environnementales. Le Tableau S-1 présente le % cumulé de la densité énergétique spectrale selon la longueur d'onde et le type de source lumineuse. Les valeurs ont été disposées par ordre croissant en fonction de la longueur d'onde de 500 nm.

On constate que deux luminaires DEL de 1 807 K et 1 912 K possèdent un % cumulé de densité énergétique spectrale de 1% pour une longueur d'onde inférieure à 500 nm, soit des valeurs inférieures à celles de la technologie HPS de 9% mais une efficacité comparable en lumens par Watt avec la technologie HPS. La Figure S-2 fournit le % de la densité énergétique spectrale cumulée en fonction de la Température de couleur (K). On constate une relation linéaire avec un coefficient  $R^2$  de 0,88.

L'équation est représentée par :

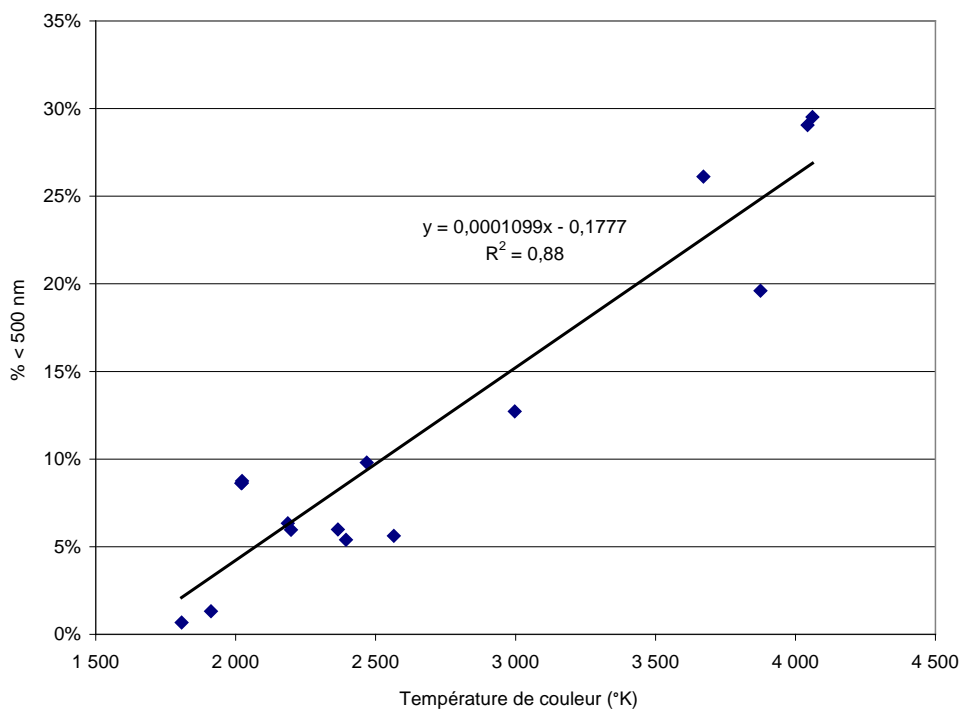
$$\% < 500 \text{ nm} = 0,0001099 \times (\text{Température de couleur}) - 0,1777$$

**Tableau S-1 : % cumulé de la densité énergétique spectrale selon la longueur d'onde**

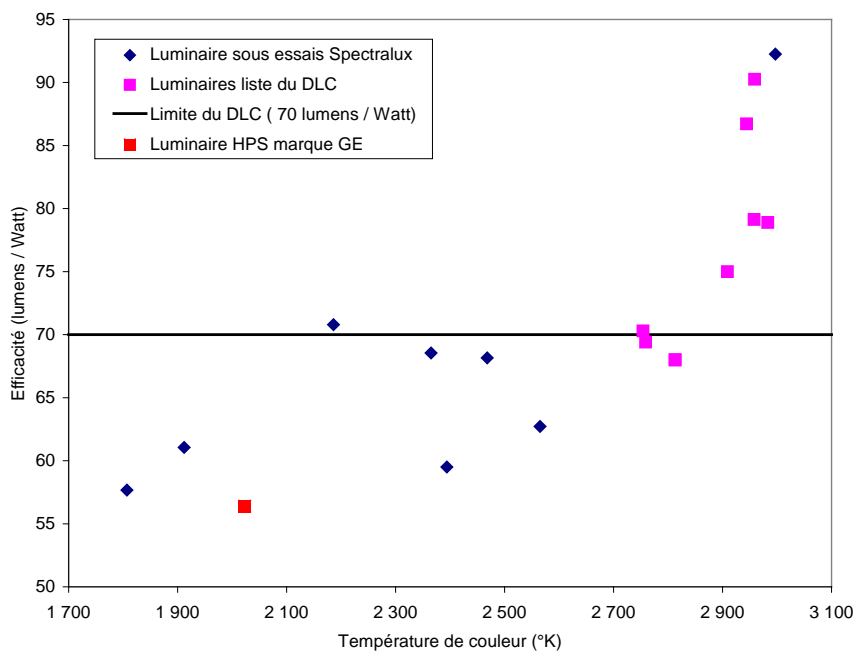
No Essai	Technologie	K	440 nm	500 nm
SPD L1403058	1 807 K - DEL	1 807	0%	1%
SPD L1311292	1 912 K - DEL	1 912	0%	1%
SPD L1312032	2 394 K - DEL	2 394	1%	5%
SPD L1312033	2 565 K - DEL	2 565	1%	6%
SPD L1403059	2 198 K - DEL	2 198	2%	6%
SPD L1312042	2 365 K - DEL	2 365	3%	6%
SPD L1312122	2 186 K - DEL	2 186	2%	6%
SPD L1011043	2 020 K - HPS	2 020	2%	9%
SPD L1011044	2 022 K - HPS	2 022	2%	9%
SPD L1011045	2 023 K - HPS	2 023	2%	9%
SPD L1311282	2 468 K - DEL	2 468	3%	10%
SPD L1312123	2 997 K - DEL	2 997	3%	13%
SPD L1301162	3 875 K - DEL	3 875	4%	20%
SPD L1407223	3 671 K - VM	3 671	23%	26%
SPD L1407224	4 043 K - VM	4 043	26%	29%
SPD L1407225	4 061 K - VM	4 061	26%	30%

La technologie DEL offre donc diverses options en fonction des critères recherchés de performance. Il existe des luminaires DEL qui permettent de réduire le contenu en bleu (longueur d'onde inférieur à 500 nm) à des valeurs inférieures à 1% tel que montré au Tableau S-1. Il est intéressant de constater qu'à température de couleur égale, le DEL émet systématiquement moins d'énergie dans les longueurs d'ondes courtes que les technologies traditionnelles Vapeur de Mercure (VM) et Haute Pression Sodium (HPS).

Toutefois, il existe un désavantage à réduire le contenu en bleu puisqu'il survient une chute en efficacité du luminaire en lumens par Watt. La Figure S-2 présente les efficacités de luminaires en lumens par Watt selon la température de couleur de la source et pour diverses sources. Tous les points sur le graphique sont de technologie LED à l'exception de un point en rouge à savoir la technologie HPS. On y retrouve également le critère minimum du DLC (Design Light Consortium) de 70 lumens par Watt.

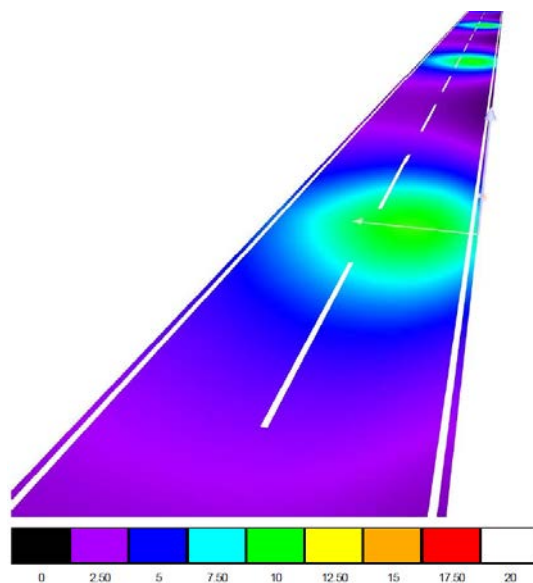


**Figure S-1 : % cumulé inférieur à 500 nm et Température de couleur**

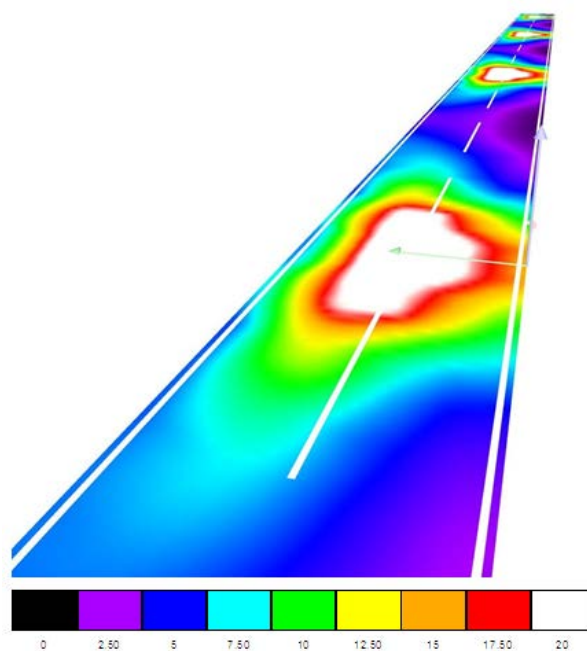


**Figure S-2 : Efficacité lumineuse versus Température de couleur**

De manière à valider l'impact de l'utilisation d'un luminaire DEL à basse température de couleur, des simulations ont été effectuées à l'aide du logiciel Dialux en comparant la technologie actuelle HPS avec celle à DEL basse température.



**Figure S-3 : Éclairage technologie DEL basse température 1 912 K**



**Figure S-4 : Éclairage technologie HPS**

**Tableau S-2 : Résultats des simulations de l'éclairage  
(facteur de maintenance 0,7)**

Mesures	Philips - Lumec	Philips - Lumec	HPS	IES RP-8
Test photométrique	S1311282m-R1	S1307092	S1005121m	
Température de couleur ( K)	1 912 K	3 829 K	2 023 K	
Puissance (Watts)	73,8	69,1	130	
Flux lumineux initiaux t=0 (lumens)	4420	6 033	7 405	
Efficacité lumineuse t = 0 (lumens /Watt)	60,0	87,4	57,0	
Éclairage moyen (lux)	<b>4,02</b>	<b>6,6</b>	<b>7.9</b>	≥ 4,0
Éclairage maximum (lux)	10	15	28	
Éclairage minimum (lux)	1,09	1,83	1,05	
$E_{moy}/E_{min}$	<b>3,7</b>	<b>3,6</b>	<b>7,5</b>	≤ 6,0
$L_{v\ max}/L_{moy}$ (B)	<b>0,2</b>	<b>0,3</b>	<b>0,3</b>	≤ 0,4
BUG rating	B1UOG2	B1UOG1	B2U1G2	
$E_{moy}/Watt$ (lux/Watt)	0,054	0,096	0,073	

Le Tableau S-2 démontre que pour les rues locales à deux voies, le niveau d'éclairage de 4 lux de la norme IES RP-8 est rencontré avec l'éclairage à DEL à basse température bien que l'efficacité en lux/Watt est inférieure à celle de la technologie HPS. Ceci s'explique par le fait que la puissance est mieux ajustée avec la puissance DEL aux besoins en lumens pour atteindre l'éclairage voulu de rues locales.

Les différentes configurations de DEL évaluées démontrent la grande versatilité de cette technologie qui continue à évoluer rapidement. Ce rapport démontre que le DEL surpasse déjà les technologies traditionnelles utilisées pour l'éclairage extérieur (SHP, VM), et ce, en matière d'efficacité énergétique et de qualité du rendu de couleur.

De plus, pour une même température de couleur, il a été démontré que l'énergie émise par les DEL sous les 500 nm est inférieure à celle émise par ces mêmes technologies (SHP, VM).

Il est à souhaiter que ce rapport soit utilisé par les fabricants de luminaires et les éclairagistes afin d'orienter leurs conceptions et ainsi utiliser la technologie DEL de manière optimale, dans le respect des besoins des différents milieux. À titre d'exemple un luminaire DEL de 3 000 K permet d'améliorer grandement l'efficacité énergétique et la qualité du rendu de couleur par rapport aux technologies traditionnelles, tout en limitant significativement le contenu spectral sous les 500nm<sup>24</sup>. Dans des zones où l'environnement naturel peut être sérieusement perturbé par l'éclairage artificiel extérieur, l'éclairagiste pourrait spécifier un luminaire DEL de 2 400 K et moins. D'ailleurs, un document d'appel d'offre par la Ville de Sherbrooke de janvier 2014<sup>25</sup> exige pour les luminaires routiers :

- i) Température de couleur nominale entre 1700 K et 2 200 K;
- ii) Indice de rendu des couleurs minimal de 30 (CRI)



**Figure S-5 : ASTROLab du Mont Mégantic<sup>26</sup>**

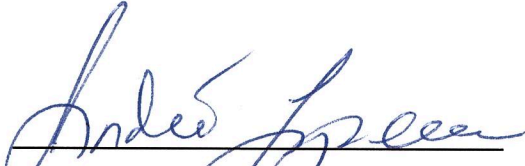
---

<sup>24</sup> Wim van Driel et al ; Protection of existing and potential observatory sites ; Transactions IAU, Volume XXVIII A; Reports on Astronomy 2009-2012

<sup>25</sup> Devis 2013-22 ; Ville de Sherbrooke, janvier 2014

<sup>26</sup> <http://astro-canada.ca/fr/a2109.php>

Enfin, comme l'écrivait Léonard de Vinci, « *Qui est guidé par une étoile ne regarde jamais en arrière* ».



**André Laperrière, chercheur**  
**Technologie – Services à la clientèle**  
**Laboratoire des technologies de l'énergie (L.T.E.)**





## Remerciements

---

L'auteur principal André Laperrière tient à remercier toutes les personnes ayant été impliquées dans l'élaboration de ce rapport. Par ailleurs, la référence à un fabricant, à une marque de commerce et à un produit n'est donnée qu'à titre d'information et ne saurait inclure la responsabilité d'Hydro-Québec ou de ses représentants. Enfin, Hydro-Québec ne fait pas la promotion d'un manufacturier en particulier, demeurant neutre, en autant toutefois que les produits mis de l'avant rencontrent des critères de performance adéquats selon l'usage et les circonstances.



## Table des matières

---

Section	Pages
INTRODUCTION .....	1
<b>1. MÉTHODE EXPÉRIMENTALE .....</b>	<b>4</b>
<b>2. ANALYSE DES MESURES.....</b>	<b>7</b>
2.1 Comparaison mesures gonio versus mesures sphères .....	7
2.2 Référence HPS et luminaires DEL comparables au HPS.....	8
2.3 Référence Vapeur de mercure comme technologie.....	12
<b>3. ANALYSE DEL , VAPEUR DE MERCURE ET HPS .....</b>	<b>15</b>
<b>4. ANALYSE DEL vs HPS.....</b>	<b>16</b>
<b>5. SIMULATIONS ÉCLAIRAGE ROUTIER.....</b>	<b>18</b>
CONCLUSION.....	20
ANNEXE I : MÉTHODES D'ANALYSE ET EXEMPLE D'ESSAI.....	25
ANNEXE II : MESURES DES SPD DES ESSAIS .....	35



## Liste des figures

---

### Pages

Figure 1 : Mesure d'un luminaire en sphère intégratrice.....	4
Figure 2 : Goniophotomètre à miroir .....	5
Figure 3 : Comparaison gonio versus sphère .....	7
Figure 4 : Densité énergétique spectrale HPS - L1011045-C1 (2 023 K).....	8
Figure 5 : Densité énergétique spectrale LED - L1403058 – C1 (1 807 K) .....	8
Figure 6 : Densité énergétique spectrale LED - L1311292-C1 – C1 (1 912 K) .....	9
Figure 7 : Densité énergétique spectrale cumulée (%).....	9
Figure 8 : Efficacité lumineuse versus Température de couleur.....	10
Figure 9 : Densité énergétique spectrale LED - L131112282 – C1 (2 468 K) .....	11
Figure 10 : Densité énergétique spectrale LED - L1312123-C1 (2 997 K) .....	11
Figure 11 : 175 Watts Mercury Vapor - South Boston, Boston, Massachusetts.....	12
Figure 12 : Lampe vapeur de mercure de 175 Watts en essai en sphère .....	12
Figure 13 : Densité énergétique spectrale Vapeur de mercure - L1407223-C1 .....	13
Figure 14 : Densité énergétique spectrale Vapeur de mercure - L1407224-C1 .....	13
Figure 15 : Densité énergétique spectrale Vapeur de mercure - L1407225-C1 .....	14
Figure 16 : Densité énergétique spectrale cumulée HPS, DEL et vapeur de mercure.....	15
Figure 17 : Densité énergétique spectrale cumulée < 500 nm HPS et DEL.....	16
Figure 18 : Indice de rendu de couleur et Température de couleur (K).....	17
Figure 19 : Éclairage technologie DEL basse température .....	18
Figure 20 : Éclairage technologie HPS .....	18
Figure 21 : % cumulé inférieur à 500 nm et Température de couleur.....	22
Figure 22 : ASTROLab du Mont Mégantic.....	23



## Liste des tableaux

---

### Pages

Tableau 1 : Liste des produits mesures goniophotomètre et caractéristiques.....	5
Tableau 2: Liste des produits pour mesures sphère intégratrice .....	6
Tableau 3 : Mesures lampes Vapeur de mercure lumens et efficacité .....	14
Tableau 4 : Mesures lampes Vapeur de mercure lumens et colorimétrie .....	14
Tableau 5 : Comparaison HPS et DEL .....	16
Tableau 6 : Comparaison HPS et DEL (critères du DLC).....	17
Tableau 7 : Résultats des simulations de l'éclairément (facteur de maintenance 0,7).....	19
Tableau 8 : % cumulé de la densité énergétique spectrale selon la longueur d'onde.....	21





## Introduction

---

La Ville de Los Angeles a procédé à la conversion de 140 000 luminaires de rue vers la technologie DEL. Parmi les exigences techniques, on demande encore aujourd'hui une température de couleur de 4 000 K avec une tolérance de plus ou moins 275 K (3 725 K à 4 275 K).<sup>27</sup>

Toutefois, pour certains sites critiques comme les observatoires, on désire limiter l'émission de lumière dans les longueurs d'ondes inférieures à 500 nm. Particulièrement, les craintes surviennent à cause de l'émission forte dans la gamme de longueur d'onde de 450 à 470 nm.<sup>28</sup>

*« Increasing use of artificial light at night has posed a growing threat to the visibility of the night sky, and will soon encroach on the best of the world's observatory sites. A revolution is now taking place in the rapid acceptance of blue-rich LEDs and other light sources touted as being more energy efficient for outdoor lighting. Many of these sources emit a substantial fraction of their energy in the 400-500 nm range, a spectral region previously spared major impact from the 590nm output of common sodium lamps »<sup>29</sup>*

Ainsi, sur l'île d'Hawaii où on y retrouve l'observatoire Mauna Kea, des luminaires DEL avec un filtre qui absorbe presque toute la lumière sous 500 nm seront installés en remplacement des luminaires Basse Pression Sodium (BPS).<sup>30</sup> Les 10 000 luminaires DEL choisis réduisent le contenu en bleu d'une valeur de 25% nominal à moins de 2 %<sup>31</sup>.

Au Québec, la Réserve internationale de ciel étoilé du Mont-Mégantic (RICEMM) et l'ASTROLab sont préoccupés par le contenu en bleu de certaines sources lumineuses.

---

<sup>27</sup> [http://bsl.lacity.org/downloads/led/municipalities-utilities/Minimum\\_Requirements.pdf](http://bsl.lacity.org/downloads/led/municipalities-utilities/Minimum_Requirements.pdf)

<sup>28</sup> David H. Sliney, Ph.D., ALMOST ALL LAMPS ARE SAFE, BUT SAFETY OF NEW LAMPS IS QUESTIONED, Department of Environmental Health Sciences, Johns Hopkins Bloomberg School of Public Health, Baltimore, MD, USA, PROCEEDINGS of CIE 2014 Lighting Quality and Energy Efficiency, Kuala Lumpur, Malaysia

<sup>29</sup> <http://www.iau.org/science/events/1148/>

<sup>30</sup> Ian Corbett, ed., Transactions IAU, Volume XXVIII, Reports on Astronomy 2009-2012, DIVISION XII / COMMISSION 50 PROTECTION OF EXISTING AND POTENTIAL OBSERVATORY SITES

<sup>31</sup> Ron Thiel, Dept of Public Works, traffic Division, Marriage of heaven and Earth: Reconciling Observatory Needs and LED Energy savings for Hawaii Street Lights, 2014 IES Street and Area Lighting Conference, Septembre 14-17 2014

C'est donc dans ce contexte que cette présente étude a été effectuée de même que pour certaines situations pour lesquelles on se situe davantage en milieu sauvage compte tenu également du contenu en bleu sur la vie animale.<sup>32 33 34</sup> Pour comprendre le principe au niveau de l'astronomie, il suffit de se référer à la loi de diffusion de Rayleigh.<sup>35 36</sup> qui se résume à  $1/\lambda^4$  avec  $\lambda$  étant la longueur d'onde. Ainsi, une onde émise à 450 nm sera diffusée 3 fois plus dans l'atmosphère qu'une onde émise à 600 nm. Récemment, des luminaires DEL équipés de filtres pour couper la lumière dans le spectre bleu (inférieur à 2 %) ont été installés dans la Ville de Sherbrooke.

De manière à préserver un tel environnement, on se doit d'utiliser un type d'éclairage adéquat compte tenu de l'impact sur l'environnement. Or, il existe depuis 2012 un MLO (« Model Lighting Ordinance ») développé conjointement par IES (Illuminating Engineering Society) et IDA (« International Dark Sky Association »).

Suivant ce règlement, diverses zones sont décrites et ce, suivant la vocation. Ainsi, on y retrouve les zones LZ0 à LZ5 :

*LZ0 : Sans éclairage ambiant*

*Zones où l'environnement naturel sera sérieusement perturbé par l'éclairage extérieur artificiel. Les impacts incluent : dérèglement des cycles biologiques de la flore et de la faune et/ou nuire à la jouissance et à l'appréciation du milieu naturel par les êtres humains. L'activité humaine est secondaire en importance par rapport à la nature. La vue des êtres humains est adaptée à la noirceur et ils s'attendent à percevoir peu ou pas de lumière. Quand il n'est pas nécessaire, l'éclairage extérieur artificiel doit être éteint.*

*LZ1 : Éclairage ambiant réduit*

*Zones où l'éclairage extérieur peut perturber la flore et la faune ou changer le caractère du secteur. La vue des résidents et usagers humains est adaptée à des niveaux réduits d'éclairage. L'éclairage extérieur doit être utilisé seulement pour des raisons de sécurité et de confort mais il n'est pas nécessairement uniforme ni continu. Après le couvre-feu, la majorité des luminaires doivent être mis à l'arrêt ou le flux réduit au fur et à mesure que le niveau d'activité diminue.*

---

<sup>32</sup> Bertolotti, L., and M. Salmon. 2005. "Do embedded roadway lights protect sea turtles?" Environmental Management. 36(5): 702-710.

<sup>33</sup> Buchanan, B. W. 1993. Effects of enhanced lighting on the behavior of nocturnal frogs. Animal Behavior. 45: 893-899.

<sup>34</sup> Daniel Lewanzik and Christian C. Voigt, Artificial light puts ecosystem services of frugivorous bats at risk, Journal of Applied Ecology, April 2014, Volume 51, Issue 2, pages 388-394. doi: 10.1111/1365-2664.12206

<sup>35</sup> [http://fr.wikipedia.org/wiki/Diffusion\\_Rayleigh](http://fr.wikipedia.org/wiki/Diffusion_Rayleigh)

<sup>36</sup> [http://fr.wikipedia.org/wiki/Couleur\\_du\\_ciel](http://fr.wikipedia.org/wiki/Couleur_du_ciel)

#### *LZ2 : Éclairage ambiant modéré*

*Zones d'activité humaine où la vue des résidents et usagers humains est adaptée à des niveaux d'éclairement moyens. L'éclairage extérieur est utilisé normalement pour des raisons de sécurité et de confort mais il n'est pas nécessairement uniforme ni continu. Après le couvre-feu, l'éclairage peut être mis à l'arrêt ou réduit au fur et à mesure que le niveau d'activité diminue.*

#### *LZ3 : Éclairage ambiant assez important*

*Zones d'activité humaine où la vue des résidents et usagers humains est adaptée à des niveaux d'éclairement assez importants. L'éclairage extérieur est généralement demandé pour des raisons de sécurité et/ou de confort et il est souvent uniforme et/ou continu. Après le couvre-feu, l'éclairage peut être mis à l'arrêt ou réduit dans la plupart des régions de la zone au fur et à mesure que le niveau d'activité diminue.*

#### *LZ4 : Éclairage ambiant important*

Des zones d'activité humaine où la vue des résidents et usagers humains est adaptée à des niveaux d'éclairement importants. L'éclairage extérieur est généralement considéré nécessaire pour des raisons de sécurité et/ou de confort et il est, dans la plupart des cas, uniforme et/ou continu. Après le couvre-feu, l'éclairage peut être mis à l'arrêt ou réduit dans certaines régions de la zone au fur et à mesure que l'intensité de l'activité diminue.

Dans le cas de la région de l'ASTROLab, il s'agit là de la zone LZ0 et les luminaires doivent être conçus de manière à :

- i) masquer l'émission de lumière vers le ciel ;
- ii) contrôler voire éteindre l'éclairage artificiel extérieur lorsque non nécessaire ;
- iii) minimiser l'énergie contenue dans la bande spectrale du bleu et
- iv) donner priorité à la nature plutôt qu'à l'humain.

Bien qu'une LZ0 s'apparente à la situation de la RICEMM, la protection du ciel étoilé ne s'est pas fait selon le MLO, mais bien avec ses propres règlements et zones environnementales. Ce rapport vise à étudier des critères d'efficacité énergétique tout en tenant compte de la préoccupation du contenu en bleu pour les zones sensibles.

## 1. MÉTHODE EXPÉRIMENTALE

---

Divers luminaires provenant de deux manufacturiers ont été installés en sphère intégratrice afin d'obtenir par spectroradiométrie les paramètres photométriques incluant le SPD (« Spectral Power density »).



**Figure 1 : Mesure d'un luminaire en sphère intégratrice**

Selon le principe de la sphère, elle intègre le flux lumineux. Il est à noter que la sphère est calibrée en utilisant un étalon dont le flux énergétique spectral est connu. Ainsi, ceci permet de corriger pour la variation dans la réflectivité du revêtement de la sphère en fonction de la longueur d'onde s'assurant ainsi d'obtenir une densité énergétique spectrale adéquate.

Outre les mesures en sphère, un goniophotomètre à miroir a également été utilisé afin de fournir la répartition spatiale du luminaire.



**Figure 2 : Goniophotomètre à miroir**

Le Tableau 1 fournit la liste des luminaires ainsi qu'une description physique.

**Tableau 1 : Liste des produits pour mesures goniophotomètre et caractéristiques**

Manufacturier	Test	Date	Item	No catalogue	Type DEL
Philips Lumec	S1311281-R1	26-nov-13	100W White SSL	SVM-(LED-025)-LE3-UNIV-AST-(CDMG-042)	2 Clusters of 16 LXM2-PL01 & 1 Cluster of LXA7-PW4
Philips Lumec	S1311282-R1	28-nov-13	100W White SSL	SVM-(LED-026)-LE3-UNIV-AST-(CDMG-042)	3 Clusters of 16 LXM2-PL01-90 LED's
LEDTECH International	S1312031-R1	03-déc-13	84W White SSL	LT-SL4-084-A0001-3-W1-W	2 Clusters of 28 Cree XPG-Q3 LED's
LEDTECH International	S1312032-R1	03-déc-13	126W White SSL	LT-SL4-126-A0001-3-W	3 Clusters of 28 Cree XPG-Q3 LED's
LEDTECH International	S1312043-R1	04-déc-13	35W Amber SSL	LT-SL4-042-A00020-P1-W	1 Clusters of 28 Cree XPG-Q3 LED's
Philips Lumec	S1312112-R1	11-déc-13	100W White 2186K SSL	SVM-(LED-029)-100W48LED-R-LE3-UNIV	2 Clusters of 16 LXM2-PL01 & 1 Cluster of 16 LXA7-
Philips Lumec	S1312113-R1	11-déc-13	100W White 2997K SSL	SVM-90W48LED4K-RLE3-UNIV	3 Cluster of 16 XA7-PW3 LED's
Philips Lumec	S1403041-R1	07-mars-14	96W White 1807K SSL	SVM-90W48LEDA-LE2	3 Clusters of 16 LXM2-PL01-0090 LED's

Le Tableau 2 présente également les caractéristiques des essais en sphère intégratrice.

**Tableau 2: Liste des produits pour mesures sphère intégratrice**

Manufacturier	Test	Date	Item	No catalogue	Type DEL
Philips Lumec	L1311282-C1	28-nov-13	100W White SSL	SVM-(LED-025)-LE3-UNIV-AST-(CDMG-042)	2 Clusters of 16 LXM2-PL01 & 1 Cluster of LXA7-PW4
Philips Lumec	L1311292-C1	29-nov-13	100W White SSL	SVM-(LED-026)-LE3-UNIV-AST-(CDMG-042)	3 Clusters of 16 LXM2-PL01-90 LED's
LEDTECH International	L1312033-C1	03-déc-13	84W White SSL	LT-SL4-084-A0001-3-W1-W	2 Clusters of 28 Cree XPG-Q3 LED's
LEDTECH International	L1312032-R1	03-déc-13	126W White SSL	LT-SL4-126-A0001-3-W	3 Clusters of 28 Cree XPG-Q3 LED's
LEDTECH International	L1312042-C1	04-déc-13	35W Amber SSL	LT-SL4-042-A00020-P1-W	1 Clusters of 28 Cree XPG-Q3 LED's
Philips Lumec	L1312122-C1	12-déc-13	100W White 2186K SSL	SVM-(LED-029)-100W48LED-R-LE3-UNIV	2 Clusters of 16 LXM2-PL01 & 1 Cluster of 16 LXA7-
Philips Lumec	L1312123-C1	12-déc-13	100W White 2997K SSL	SVM-90W48LED4K-RLE3-UNIV	3 Cluster of 16 XA7-PW3 LED's
Philips Lumec	L1403058-C1	05-mars-14	96W White 1807K SSL	SVM-90W48LEDA-LE2	3 Clusters of 16 LXM2-PL01-0090 LED's
Philips Lumec	L1403059-C1	05-mars-14	Philips	SVM-[LED-029]-RLE2	2XLXM2-PL01-0090 + 1XLXA7-PW30 LED's
Philips	L1301162-C1	18-janv-13	Streetview	SVM-90W48LED4K-RLE2	3 Cluster of 16 LXA7-PW40 LED's
HPS GE	L1011043	04-nov-10		HPS 100 Watts	
HPS GE	L1011044	04-nov-10		HPS 100 Watts	
HPS GE	L1011045	04-nov-10		HPS 100 Watts	

## 2. ANALYSE DES MESURES

---

### 2.1 Comparaison mesures gonio versus mesures sphères

Dans cette section, on compare l'efficacité en lumens par Watt mesuré en sphère versus la même efficacité obtenue à l'aide du goniophotomètre. Il est à noter que le flux lumineux total mesuré en sphère a été corrigé par la méthode de l'encombrement à l'aide d'une lampe auxiliaire. En effet, la forme géométrique du luminaire dans la sphère fait en sorte qu'il y a absorption de la lumière ce qui doit être corrigé.

On constate une bonne corrélation entre les deux méthodes, chaque méthode possédant toutefois ses limitations (Figure 3).

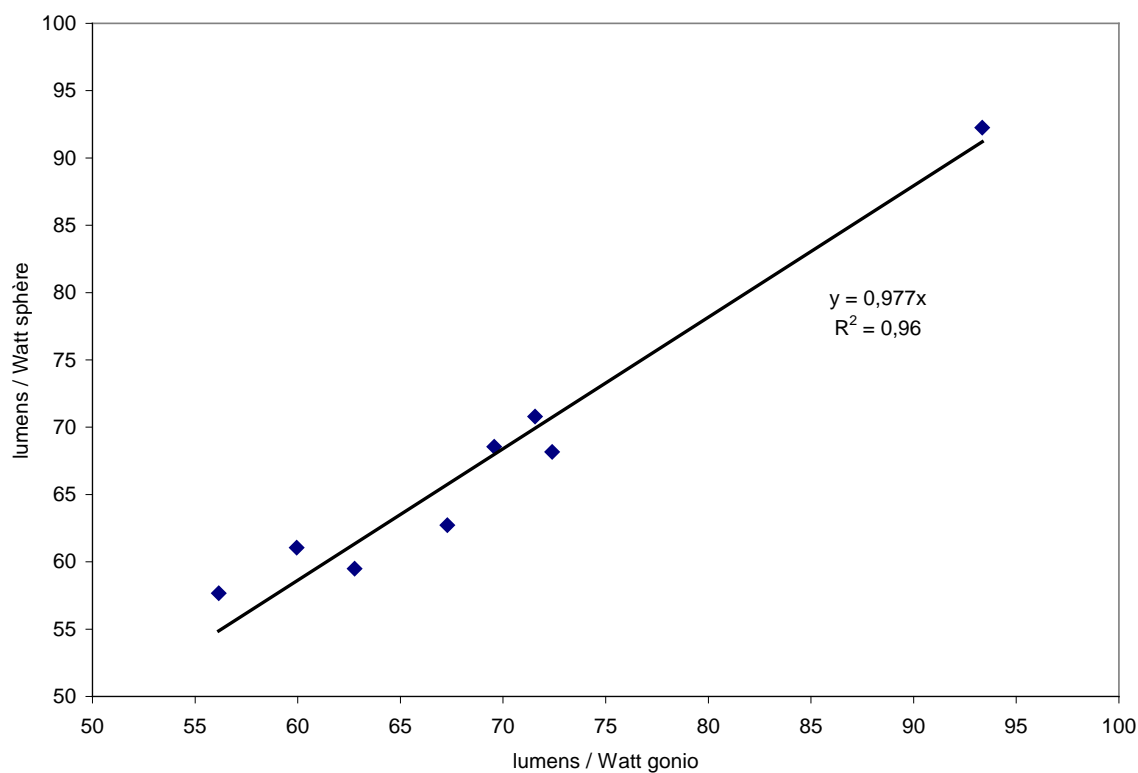


Figure 3 : Comparaison gonio versus sphère

## 2.2 Référence HPS et luminaires DEL comparables au HPS

La Figure 4 fournit la densité énergétique spectrale d'un luminaire conventionnel HPS de 100 watts tandis que les figures 5 et 6, celles de luminaires DEL à basse température couleur. On constate effectivement un faible contenu en bleu pour ces luminaires DEL à basse température de couleur comparable à la technologie HPS.

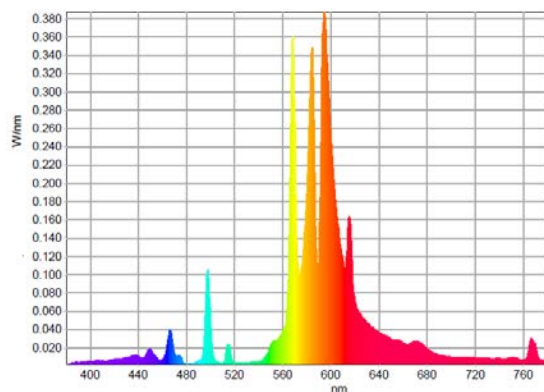


Figure 4 : Densité énergétique spectrale HPS - L1011045-C1 (2 023 K)

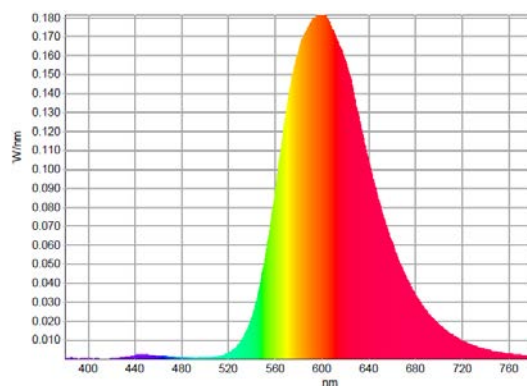
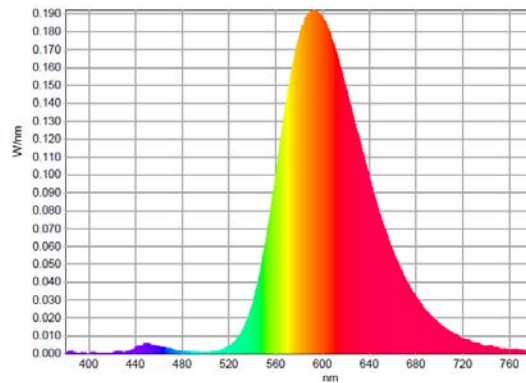


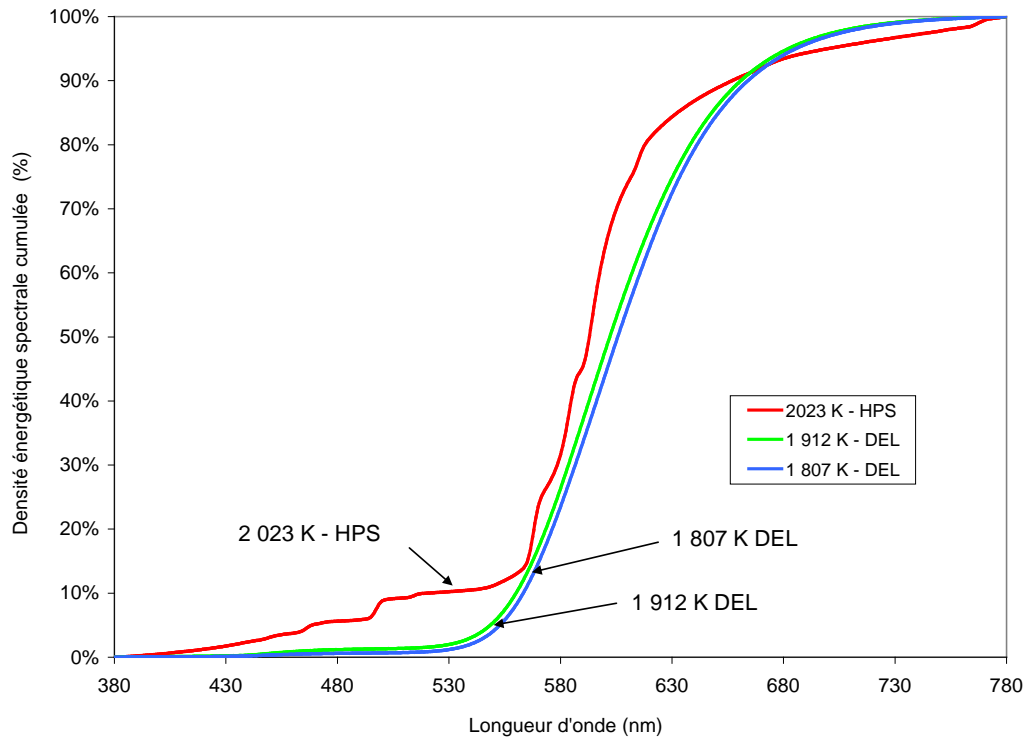
Figure 5 : Densité énergétique spectrale LED - L1403058 – C1 (1 807 K)





**Figure 6 : Densité énergétique spectrale LED - L1311292-C1 – C1 (1 912 K)**

La Figure 7 indique la densité énergétique spectrale cumulée en fonction de la longueur d'onde démontrant que le contenu en bleu de deux luminaires à DEL (1 807 K et 1 912 K) est de beaucoup inférieur à celui d'un luminaire HPS (8% vs 1 à 3 %).

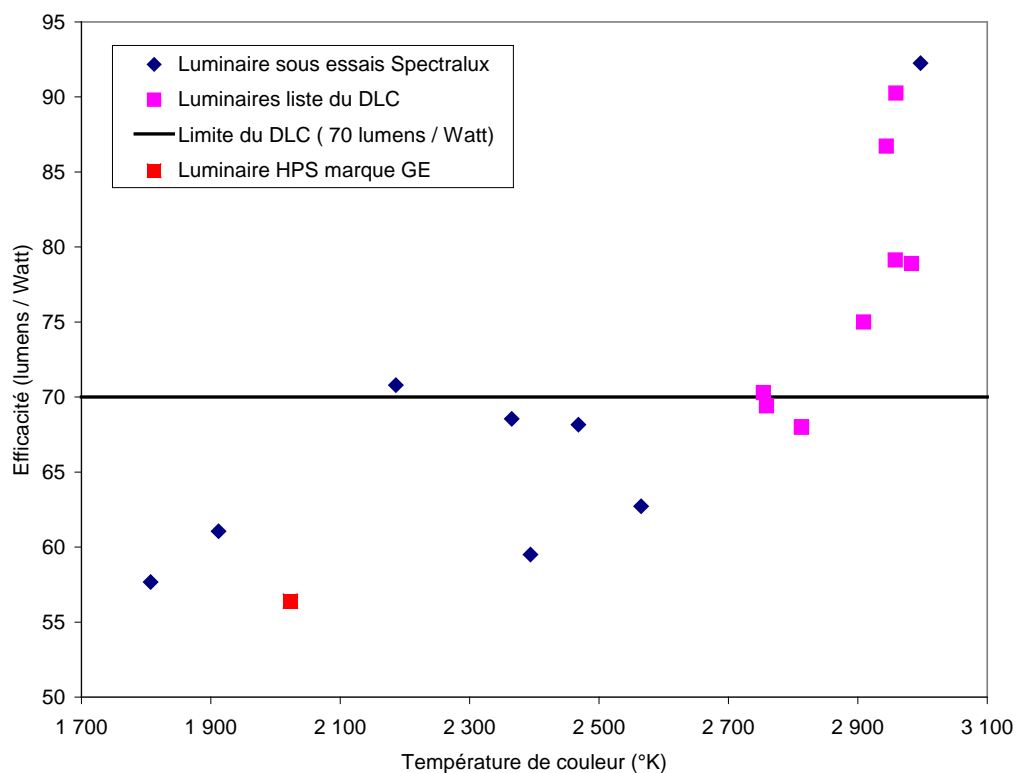


**Figure 7 : Densité énergétique spectrale cumulée (%)**

Les efficacités lumineuses varient généralement selon la température de couleur, une température de couleur plus élevée permettant d'atteindre une plus grande efficacité. La Figure 8 présente des efficacités lumineuses de trois types de données :

- i) luminaire HPS mis sous essais chez Spectralux;
- ii) luminaires à DEL mis sous essais chez Spectralux;
- iii) résultats de luminaires DEL provenant de la liste du DLC™ (Design Light Consortium).

On y indique également sur ce graphique la limite de 70 lumens par Watt exigée par le DLC. En général, on constate que les basses températures de couleur ne permettent pas de rencontrer les exigences du DLC.



**Figure 8 : Efficacité lumineuse versus Température de couleur**

Les figures 9 et 10 fournissent la répartition spectrale pour deux luminaires DEL ayant respectivement une température de couleur de 2 468 K et de 2 997 K. On constate effectivement un contenu en bleu plus élevé que les distributions précédentes.

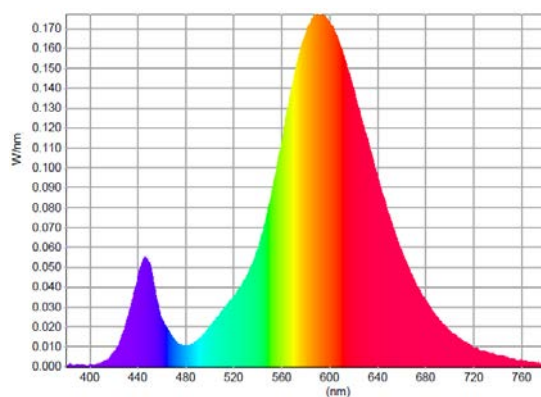


Figure 9 : Densité énergétique spectrale LED - L131112282 – C1 (2 468 K)

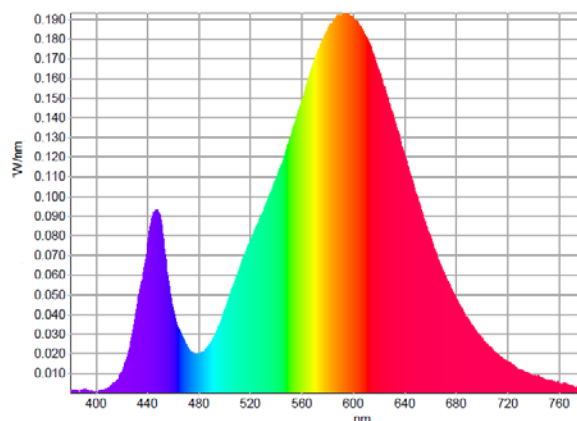


Figure 10 : Densité énergétique spectrale LED - L1312123-C1 (2 997 K)

### 2.3 Référence Vapeur de mercure comme technologie

La technologie de vapeur de mercure a traditionnellement été utilisée pour l'éclairage de rue dans les années 1980 (Figure 11). Par la suite, des conversions massives ont eu lieu vers la technologie Haute Pression Sodium (*HPS*), de couleur plus jaunâtre.



**Figure 11 : 175 Watts Mercury Vapor - South Boston, Boston, Massachusetts<sup>37</sup>**

Toutefois, la technologie DEL a fait en sorte qu'un retour s'est effectué vers une lumière plus blanche. Il s'avère donc intéressant d'évaluer quel était la répartition spectrale de la technologie *Vapeur de mercure*. La firme Spectralux a fourni des échantillons de lampes de vapeur de mercure et de ballasts qu'elle disposait dans leur archive.



**Figure 12 : Lampe vapeur de mercure de 175 Watts en essai en sphère<sup>38</sup>**

<sup>37</sup> <http://tpirman1982b.angelfire.com/streetlights14.html>

<sup>38</sup> Test Report: L1407225-C1

Les figures 13,14 et 15 fournissent la répartition spectrale pour trois lampes de puissance différentes soit 400, 250 et 175 Watts. Les efficacités lumineuses de la technologie Vapeur de Mercure (VM) dans le présent rapport proviennent de la lampe seule sans le luminaire.

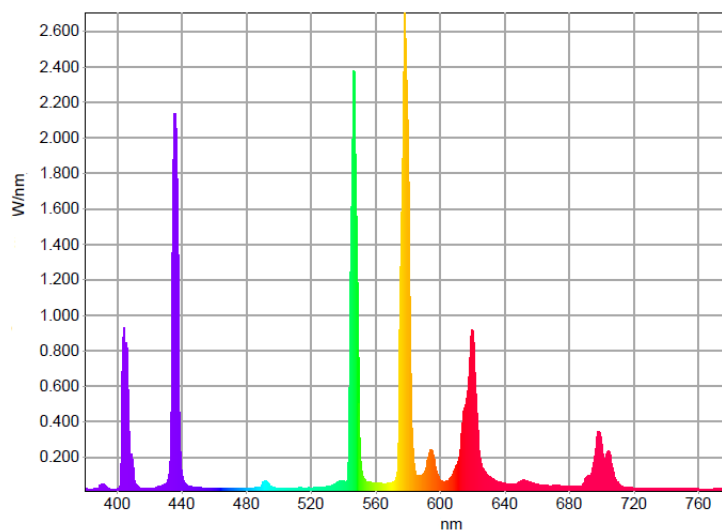


Figure 13 : Densité énergétique spectrale Vapeur de mercure - L1407223-C1

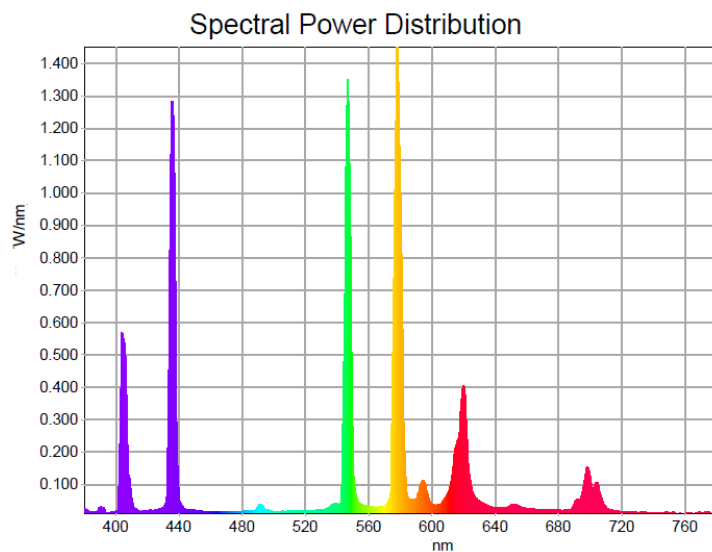
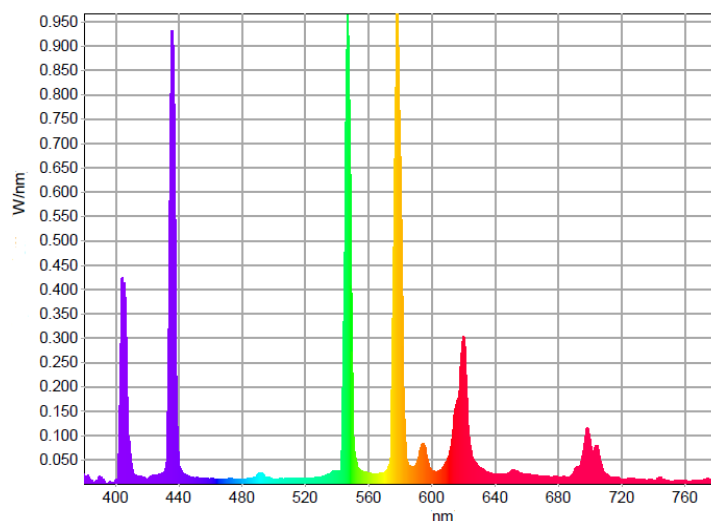


Figure 14 : Densité énergétique spectrale Vapeur de mercure - L1407224-C1



**Figure 15 : Densité énergétique spectrale Vapeur de mercure - L1407225-C1**

**Tableau 3 : Mesures lampes Vapeur de mercure lumens et efficacité**

No essai	Lampe	Désignation	Puissance (Watts)	Lumens	Lumens / Watt
L1407223-C1	Coated 400MEV BT37	H33	423,76	20 865	49,2
L1407224-C1	Coated 250MEV BT28	H37	270.64	11450	42.3
L1407225-C1	Coated 175MEV BT28	H39	195.00	8019	41.1

**Tableau 4 : Mesures lampes Vapeur de mercure lumens et colorimétrie**

No essai	Lampe	Désignation	CCT ( K)	CRI
L1407223-C1	Coated 400MEV BT37	H33	3 671	43
L1407224-C1	Coated 250MEV BT28	H37	4 043	41
L1407225-C1	Coated 175MEV BT28	H39	4 061	42

On constate selon le Tableau 4 une température de couleur de l'ordre de 4 000 K et un CRI avoisinant la valeur de 40. Les résultats s'avèrent identiques et ce, qu'il s'agisse d'une puissance de lampe de 175, 250 ou 450 Watts.

### 3. ANALYSE DEL , VAPEUR DE MERCURE et HPS

Afin de comparer les trois technologies à savoir HPS, DEL et VM, on additionne le cumulatif de la densité énergétique spectrale pour chaque technologie en normalisant sur le total. Ainsi, on obtient 100% comme valeur cumulative et ce, peu importe la technologie (Figure 16).

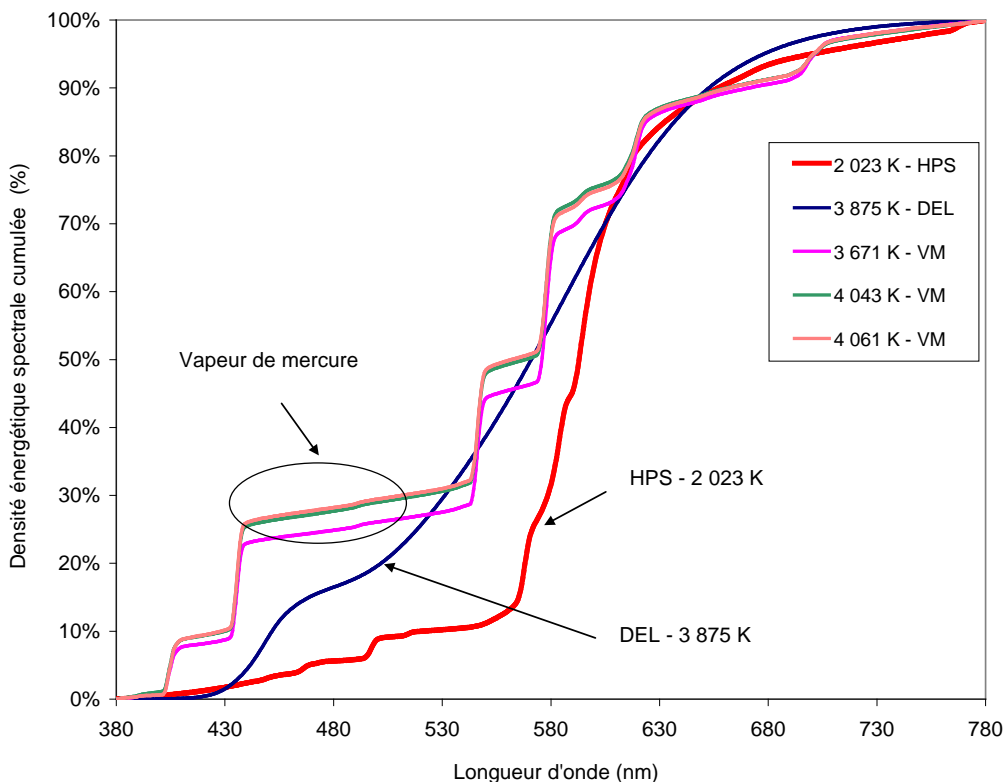


Figure 16 : Densité énergétique spectrale cumulée HPS, DEL et vapeur de mercure

On constate à la Figure 16 une densité énergétique spectrale élevée pour une longueur d'onde inférieure à 500 nm avec la technologie VM indiquant un fort contenu en bleu.

## 4. ANALYSE DEL vs HPS

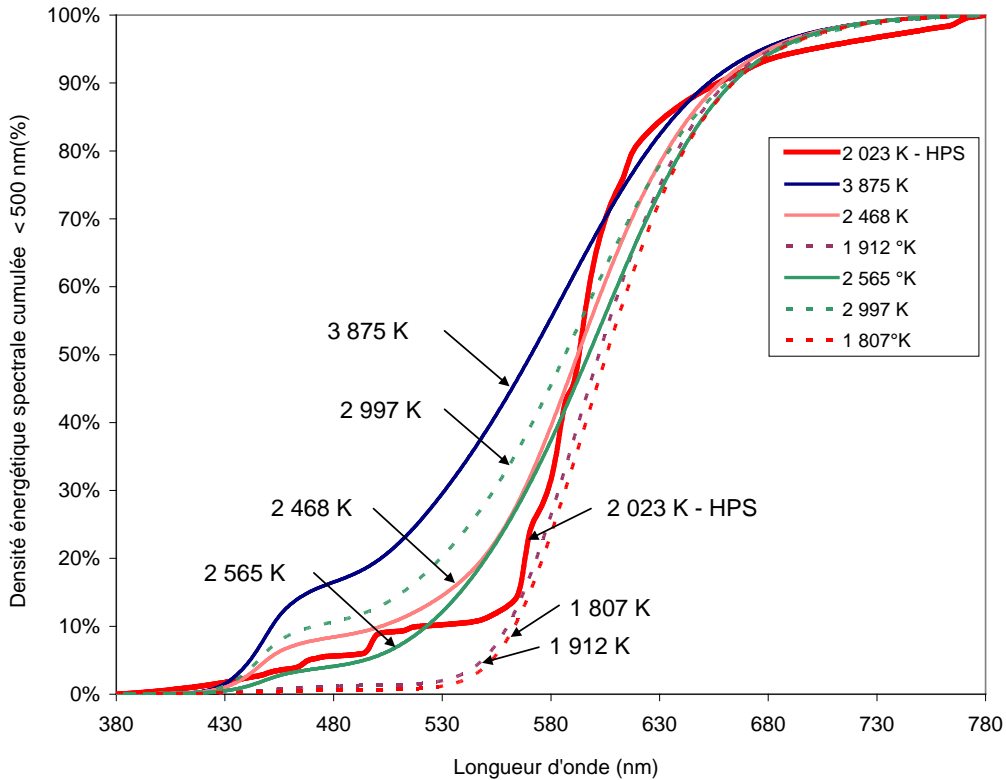


Figure 17 : Densité énergétique spectrale cumulée < 500 nm HPS et DEL

Tableau 5 : Comparaison HPS et DEL

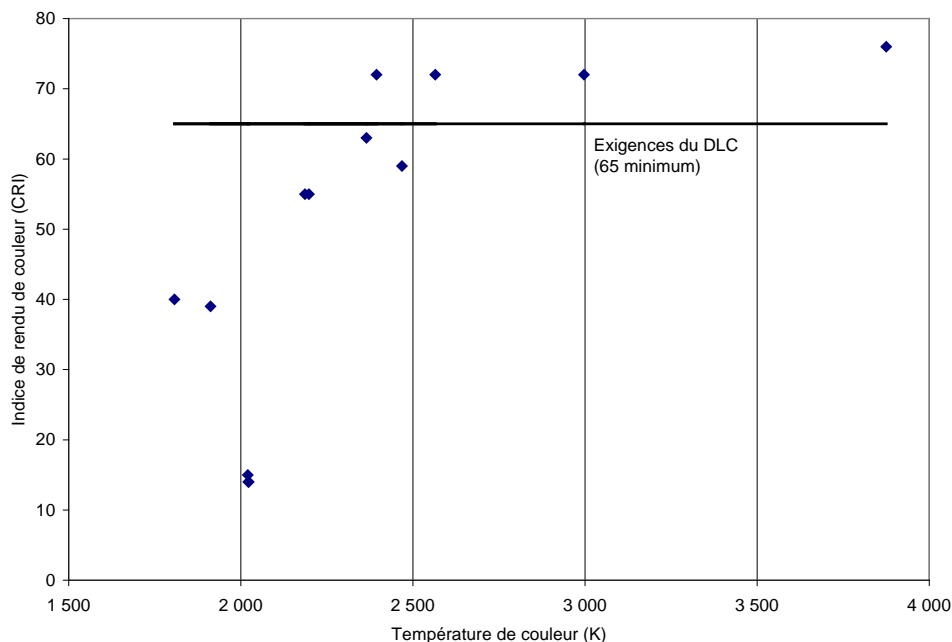
Manufacturier	Test	Date	Item	lumens	Watts	lumens/Watt	CCT	CRI
HPS GE	L1011044	04-nov-10	HPS	6558	117,15	56,0	2 022 K	14
HPS GE	L1011045	04-nov-10	HPS	6605	117,2	56,4	2 023 K	14
HPS GE	L1011043	04-nov-10	HPS	6645	116,84	56,9	2 020 K	15
Philips	L1403058-C1	05-mars-14	LED	6143	106,53	57,7	1 807 K	40
LEDTECH International	L1312032-R1	03-déc-13	LED	7280	122,36	59,5	2 394K	72
Philips	L1311292-C1	29-nov-13	LED	6566	107,55	61,1	1 912 K	39
LEDTECH International	L1312033-C1	03-déc-13	LED	5184	82,65	62,7	2 565 K	72
Philips	L1311282-C1	28-nov-13	LED	7291	106,97	68,2	2 468 K	59
LEDTECH International	L1312042-C1	04-déc-13	LED	2323	33,89	68,5	2 365 K	63
Philips	L1403059-C1	05-mars-14	LED	7415	105,95	70,0	2 198K	55
Philips	L1312122-C1	12-déc-13	LED	7378	104,21	70,8	2 186K	55
Philips	L1312123-C1	12-déc-13	LED	9545	103,46	92,3	2 997 K	72
Philips	L1301162-C1	18-janv-13	LED	9980	103,84	96,1	3 875K	76



La Figure 18 présente l'indice de rendu de couleur en fonction de la température de couleur. Or, le Design Light consortium (DLC) demande un indice de rendu de couleur (CRI) minimum de 65 et une efficacité minimale de 70 lumens par Watt. Le tableau 6 présente les produits qui rencontrent simultanément ces deux critères du DLC. On constate que la température la plus basse qui rencontre simultanément les deux critères est de 2 997 K.

**Tableau 6 : Comparaison HPS et DEL (critères du DLC)**

Manufacturier	Test	Item	lumens/Watt	CCT	CRI	lumens/Watt	CRI
HPS GE	L1011044	HPS	56,0	2 022 K	14		
HPS GE	L1011045	HPS	56,4	2 023 K	14		
HPS GE	L1011043	HPS	56,9	2 020 K	15		
Philips	L1403058-C1	LED	57,7	1 807 K	40		
LEDTECH International	L1312032-R1	LED	59,5	2 394K	72		
Philips	L1311292-C1	LED	61,1	1 912 K	39		
LEDTECH International	L1312033-C1	LED	62,7	2 565 K	72		
Philips	L1311282-C1	LED	68,2	2 468 K	59		
LEDTECH International	L1312042-C1	LED	68,5	2 365 K	63		
Philips	L1403059-C1	LED	70,0	2 198K	55		
Philips	L1312122-C1	LED	70,8	2 186K	55		
Philips	L1312123-C1	LED	92,3	2 997 K	72		
Philips	L1301162-C1	LED	96,1	3 875K	76		



**Figure 18 : Indice de rendu de couleur et Température de couleur (K)**

## 5. SIMULATIONS ÉCLAIRAGE ROUTIER

---

De manière à valider l'impact de l'utilisation d'un luminaire DEL à basse température de couleur, des simulations ont été effectuées à l'aide du logiciel DiaLux en comparant la technologie actuelle HPS avec celle à DEL basse température pour une rue locale.

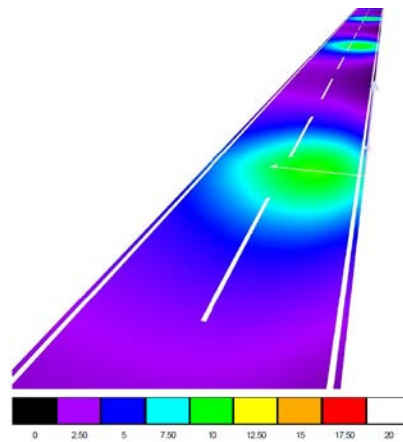


Figure 19 : Éclairage technologie DEL basse température

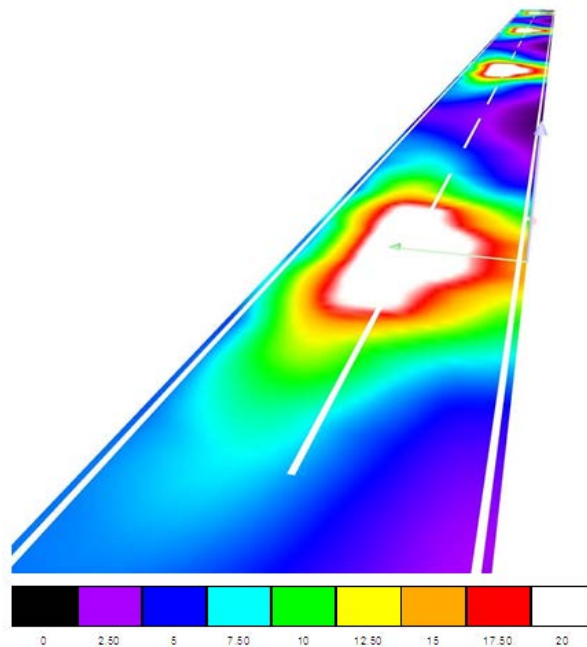


Figure 20 : Éclairage technologie HPS

**Tableau 7 : Résultats des simulations de l'éclairage  
(facteur de maintenance 0,7)**

Mesures	Philips - Lumec	Philips - Lumec	HPS	IES RP-8
Test photométrique	S1311282m-R1	S1307092	S1005121m	
Température de couleur ( K)	1 912 K	3 829 K	2 023 K	
Puissance (Watts)	72	69,1	130	
Flux lumineux initiaux t=0 (lumens)	4420	6 033	7 405	
Efficacité lumineuse t = 0 (lumens /Watt)	61,1	87,4	57,0	
Éclairage moyen (lux)	<b>4,02</b>	<b>6,6</b>	<b>7.9</b>	≥ 4,0
Éclairage maximum (lux)	10	15	28	
Éclairage minimum (lux)	1,09	1,83	1,05	
$E_{moy}/E_{min}$	<b>3,7</b>	<b>3,6</b>	<b>7,5</b>	≤ 6,0
$L_{v\ max}/L_{moy}$ (B)	<b>0,2</b>	<b>0,3</b>	<b>0,3</b>	≤ 0,4
BUG rating	B1UOG2	B1UOG1	B2U1G2	
$E_{moy}/Watt$ (lux/Watt)	0,054	0,096	0,073	

Le Tableau 7 démontre que pour les rues locales à deux voies, le niveau 'éclairage de 4 lux de la norme IES RP-8 est rencontrée avec l'éclairage à DEL à basse température bien que l'efficacité en lux/Watt est inférieure à celle de la technologie HPS. Ceci s'explique par le fait que la puissance est mieux ajustée avec la puissance DEL aux besoins en lumens pour atteindre l'éclairage voulu de rues locales.

## Conclusion

---

L'ASTROLab du Mont-Mégantic est préoccupé du contenu en bleu de la nouvelle technologie DEL d'où l'origine de ce projet. En effet, de plus en plus de municipalités optent pour cette nouvelle technologie pour l'éclairage extérieur.

La Ville de Los Angeles a procédé à la conversion de 140 000 luminaires vers la technologie DEL. Parmi les exigences techniques, on demande une température de couleur de 4 000 K avec une tolérance de plus ou moins 275 K (de 3 725 K à 4 275 K).<sup>39</sup>

Toutefois, pour certains sites critiques comme les observatoires, on désire limiter l'émission de lumière dans les longueurs d'ondes inférieures à 500 nm dans les zones environnantes.

*« Increasing use of artificial light at night has posed a growing threat to the visibility of the night sky, and will soon encroach on the best of the world's observatory sites. A revolution is now taking place in the rapid acceptance of blue-rich LEDs and other light sources touted as being more energy efficient for outdoor lighting. Many of these sources emit a substantial fraction of their energy in the 400-500 nm range, a spectral region previously spared major impact from the 590nm output of common sodium lamps »<sup>40</sup>*

Ainsi, sur l'île d'Hawaii où on y retrouve l'observatoire Mauna Kea, Des luminaires DEL avec un filtre qui absorbe presque toute la lumière sous 500 nm seront installés en remplacement des luminaires Basse Pression Sodium (BPS).<sup>41</sup> Les 10 000 luminaires DEL choisis réduisent le contenu en bleu d'une valeur de 25% nominal à moins de 2 %<sup>42</sup>.

Le Tableau 8 présente le % cumulé de la densité énergétique spectrale selon la longueur d'onde et le type de source lumineuse. Les valeurs ont été disposées par ordre croissant en fonction de la longueur d'onde de 500 nm.

---

<sup>39</sup> [http://bsl.lacity.org/downloads/led/municipalities-utilities/Minimum\\_Requirements.pdf](http://bsl.lacity.org/downloads/led/municipalities-utilities/Minimum_Requirements.pdf)

<sup>40</sup> <http://www.iau.org/science/events/1148/>

<sup>41</sup> Ian Corbett, ed., Transactions IAU, Volume XXVIII, Reports on Astronomy 2009-2012, DIVISION XII / COMMISSION 50 PROTECTION OF EXISTING AND POTENTIAL OBSERVATORY SITES

**Tableau 8 : % cumulé de la densité énergétique spectrale selon la longueur d'onde**

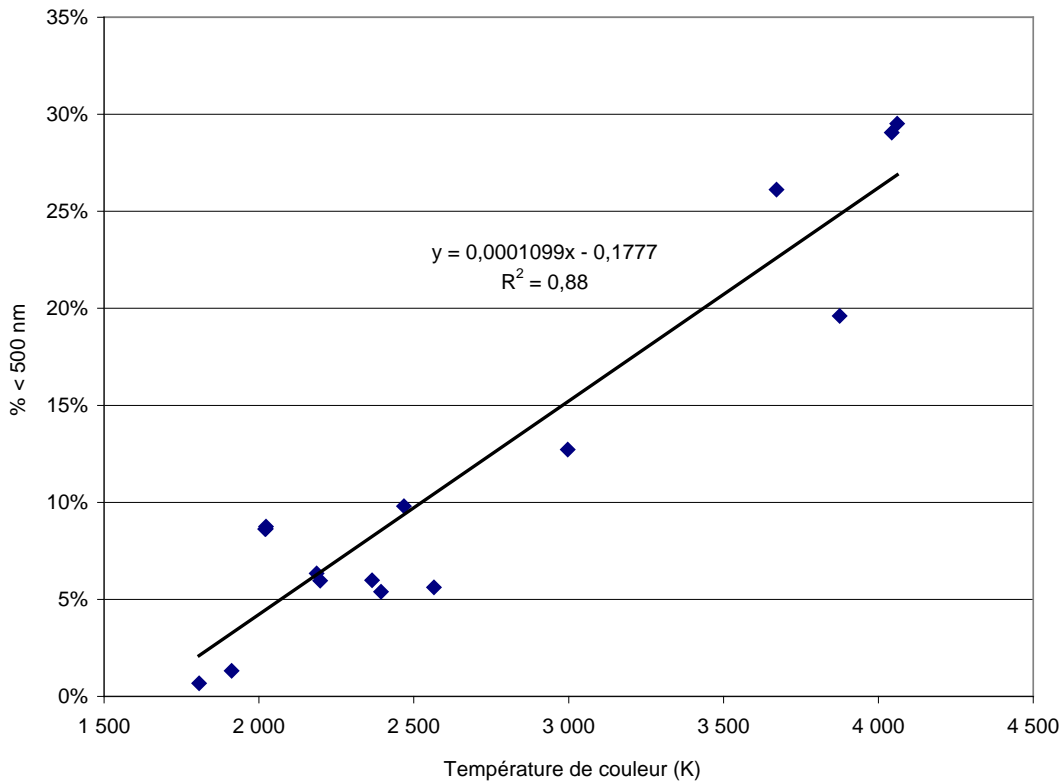
No Essai	Technologie	K	440 nm	500 nm
SPD L1403058	1 807 K - DEL	1 807	0%	1%
SPD L1311292	1 912 K - DEL	1 912	0%	1%
SPD L1312032	2 394 K - DEL	2 394	1%	5%
SPD L1312033	2 565 K - DEL	2 565	1%	6%
SPD L1403059	2 198 K - DEL	2 198	2%	6%
SPD L1312042	2 365 K - DEL	2 365	3%	6%
SPD L1312122	2 186 K - DEL	2 186	2%	6%
SPD L1011043	2 020 K - HPS	2 020	2%	9%
SPD L1011044	2 022 K - HPS	2 022	2%	9%
SPD L1011045	2 023 K - HPS	2 023	2%	9%
SPD L1311282	2 468 K - DEL	2 468	3%	10%
SPD L1312123	2 997 K - DEL	2 997	3%	13%
SPD L1301162	3 875 K - DEL	3 875	4%	20%
SPD L1407223	3 671 K - VM	3 671	23%	26%
SPD L1407224	4 043 K - VM	4 043	26%	29%
SPD L1407225	4 061 K - VM	4 061	26%	30%

On constate que deux luminaires DEL de 1 807 K et 1 912 K possèdent un % cumulé de densité énergétique spectrale de 1% pour une longueur d'onde inférieure à 500 nm, soit des valeurs inférieures à celles de la technologie HPS de 9% mais une efficacité comparable en lumens par Watt avec la technologie HPS.

La Figure 21 fournit le % de la densité énergétique spectrale cumulée en fonction de la Température de couleur (K). On constate une relation linéaire avec un coefficient R<sup>2</sup> de 0,88. L'équation est représentée par :

$$\% < 500 \text{ nm} = 0,0001099 \times (\text{Température de couleur}) - 0,1777$$

<sup>42</sup> Ron Thiel, Dept of Public Works, traffic Division, Marriage of heaven and Earth: Reconciling Observatory Needs and LED Energy savings for Hawaii Street Lights, 2014 IES Street and Area Lighting Conference, Septembre 14-17 2014



**Figure 21 : % cumulé inférieur à 500 nm et Température de couleur**

La technologie DEL offre donc diverses options en fonction des critères recherchés de performance. Il existe des luminaires DEL qui permettent de réduire le contenu en bleu (longueur d'onde inférieur à 500 nm) à des valeurs inférieures à 1% tel que montré au Tableau 8.

Enfin, il est démontré qu'il est possible de rencontrer la valeur requise de 4 lux pour les rues locales de la puissance de 130 Watts avec la technologie HPS à 69,3 Watts avec la technologie DEL possédant une basse température de couleur inférieure à 2000 K et un faible contenu en bleu.

Les différentes configurations de DEL évaluées démontrent la grande versatilité de cette technologie qui continue à évoluer rapidement. Ce rapport démontre que le DEL surpasse déjà les technologies traditionnelles utilisées pour l'éclairage extérieur (SHP, VM), et ce, en matière d'efficacité énergétique et de qualité du rendu de couleur. De plus, pour une même température de

couleur, il a été démontré que l'énergie émise par les DEL sous les 500 nm est inférieure à celle émise par ces mêmes technologies (SHP, VM).

Il est à souhaiter que ce rapport soit utilisé par les fabricants de luminaires et les éclairagistes afin d'orienter leurs conceptions et ainsi utiliser la technologie DEL de manière optimale, dans le respect des besoins des différents milieux. À titre d'exemple un luminaire DEL de 3 000 K permet d'améliorer grandement l'efficacité énergétique et la qualité du rendu de couleur par rapport aux technologies traditionnelles, tout en limitant significativement le contenu spectral sous les 500nm.<sup>43</sup>

Dans des zones où l'environnement naturel peut être sérieusement perturbé par l'éclairage artificiel extérieur, l'éclairagiste pourrait spécifier un luminaire DEL de 2 400 K et moins. D'ailleurs, un document d'appel d'offre par la Ville de Sherbrooke de janvier 2014<sup>44</sup> exige pour les luminaires routiers :

- iii) Température de couleur nominale entre 1 700 K et 2 200 K ;
- iv) Indice de rendu des couleurs minimal de 30 (CRI)



**Figure 22 : ASTROLab du Mont Mégantic<sup>45</sup>**

---

<sup>43</sup> Wim van Driel et al ; Protection of existing and potential observatory sites ; Transactions IAU, Volume XXVIII A; Reports on Astronomy 2009-2012

<sup>44</sup> Devis 2013-22 ; Ville de Sherbrooke, janvier 2014

Enfin, comme l'écrivait Léonard de Vinci, « *Qui est guidé par une étoile ne regarde jamais en arrière* »

---

<sup>45</sup> [http://astro-canada.ca/\\_fr/a2109.php](http://astro-canada.ca/_fr/a2109.php)



# ANNEXE I : MÉTHODES D'ANALYSE ET EXEMPLE D'ESSAI



**Les Industries Spectralux Inc.**  
**Spectralux Industries Inc.**

2750 Sabourin, Saint-Laurent (Quebec) H4S 1M2 Canada  
Tel.: (514) 332-0082 Fax: (514) 332-3590 [www.spectralux.ca](http://www.spectralux.ca)

ISO/IEC 17025



NVLAP LAB CODE: 201604-0

## Sphere Test Report

**Standard(s)** CIE 84-1989, IESNA LM-16-93, IESNA LM-58-94, IES LM-79-08, ANSI C82.77-2002

**Customer** LTE-Hydro-Québec, 800 avenue de la Montagne, Shawinigan, Québec, Canada, G9N 7N5

General Information		Lamp Details: CY1277		Driver Details: CY455	
<b>Test Report</b>	L1311292-C1	<b>Description</b>	3 Clusters of 18 LXM2-PL01-90 LED's	<b>Type</b>	Commercial
<b>Tested</b>	29 November 2013	<b>Manufacturer</b>	Philips	<b>Description</b>	100W
<b>Created</b>	29 November 2013	<b>Catalog No.</b>	SVM-[LED-026]-LE3-UNIV-AST-(CDMG-042)	<b>Manufacturer</b>	Advance
<b>Sphere Temperature</b>	24.4 °C	<b>Serial No.</b>	N/A	<b>Catalog No.</b>	XITANIUM 150W0.35A-0.7A
<b>Humidity</b>	10.7 %	<b>Diameter</b>	N/A mm	<b>Voltage</b>	120.00 V
<b>Lamp Type</b>	SSL	<b>Color</b>	Amber	<b>Power Factor</b>	0.9800

**Stabilization Time: 1 hour, 25 minutes, 10 seconds**

**Tested By:** Jean-Paul Ojeil

**Approved Signatory:** Chrisnel Blot

**Signature:**

### Notes

- 1) Field performance may differ from laboratory measurements. Results are valid for tested material only.
- 2) The original electronic file or paper report cannot be edited in whole or in part without written consent of Spectra Lux Industries Inc.
- 3) This calibration report describes the performance of a single product and does not necessarily represent the average performance of a group of the same SSL product.



**Les Industries Spectralux Inc.  
Spectralux Industries Inc.**

2750 Sabourin, Saint-Laurent (Quebec) H4S 1M2 Canada  
Tel.: (514) 332-0082 Fax: (514) 332-3590 [www.spectralux.ca](http://www.spectralux.ca)

ISO/IEC 17025



NVLAP LAB CODE: 20060440

---

### Lamp Calibration Method

The calibration of the SSL product was performed in a 1.93 meter diameter Ulbricht sphere with a spectrophotometer covering the full visible spectrum range from 380 to 780 nanometers. During the test, a reference ballast was used and adjusted to nominal electrical characteristics specified by the driver manufacturer or the client.

Good electrical contacts have been used to ensure the control of electrical parameters of the commercial driver and an adequate stabilization period prior to collecting data. The self-absorbance was measured and a geometrical correction factor was applied to the luminous flux value to take into account the sphere configuration.

Equipment, reference standards and methods are traceable to NIST (National Institute of Standards and Technology).





**Les Industries Spectralux Inc.  
Spectralux Industries Inc.**

2750 Sabourin, Saint-Laurent (Quebec) H4S 1M2 Canada  
Tel.: (514) 332-0082 Fax: (514) 332-3590 [www.spectralux.ca](http://www.spectralux.ca)

ISO/IEC 17025



NO 140 LAB COOP-200609-0

---

**Electrical Equipment**

<b>Equipment</b>	<b>Manufacturer</b>	<b>Model</b>	<b>Serial Number</b>	<b>Calibration Date</b>	<b>Calibration Due Date</b>
Auxiliary Power Supply	American Reliance	SPS150-7	B10155	N.P.C.R.	N.P.C.R.
Test Power Supply	iRDC	CIF-3000A	974997	N.P.C.R.	N.P.C.R.
Input Power Meter	Yokogawa	WT210	91L239798	2013/03/15	2014/03/15
Output Power Meter	N/A	N/A	N/A	N.P.C.R.	N.P.C.R.
Shunt Resistor	Fluke	Y5020	6010010	2013/08/25	2014/08/25
Current Multimeter	Fluke	Fluke8842A	US38010444	2013/08/26	2014/08/26
Voltage Multimeter	Fluke	Fluke8842A	5750288	2013/03/15	2014/03/15

---

**Spectrometer Equipment**

<b>Equipment</b>	<b>Manufacturer</b>	<b>Model</b>	<b>Serial Number</b>	<b>Calibration Date</b>	<b>Calibration Due Date</b>
Spectrometer	Ocean Optics	USB2000N	USB2E3864	2013/08/24	2014/08/24

---

**Environment Equipment**

<b>Equipment</b>	<b>Manufacturer</b>	<b>Model</b>	<b>Serial Number</b>	<b>Calibration Date</b>	<b>Calibration Due Date</b>
Temperature Humidity Sensor	Omega	HH311	120504178	2013/03/15	2014/03/15



**Les Industries Spectralux Inc.**  
**Spectralux Industries Inc.**

2750 Sabourin, Saint-Laurent (Quebec) H4S 1M2 Canada  
 Tel.: (514) 332-0082 Fax: (514) 332-3590 [www.spectralux.ca](http://www.spectralux.ca)

ISO/IEC 17025



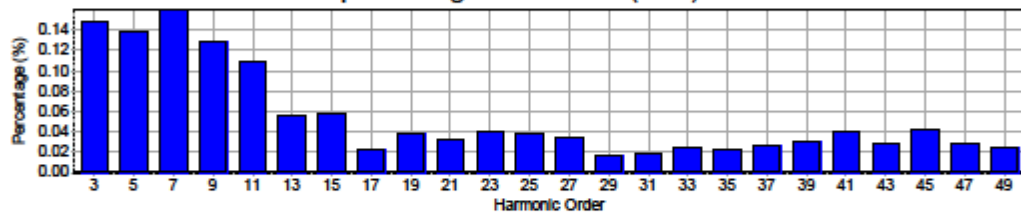
NO. 1401-AB-CONF-200604-0

**Electrical Measurements**

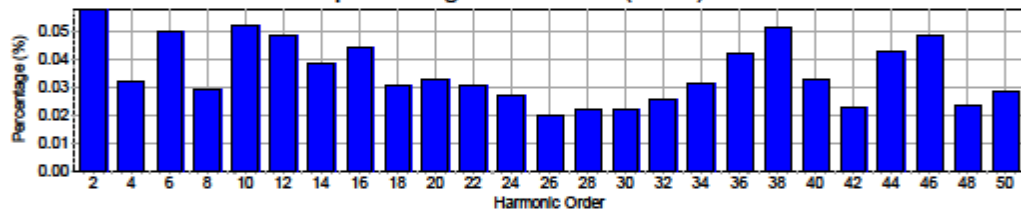
**Input**

Frequency	60 Hz	Active Power	107.55 W	THDV [ANSI]	0.38 %
Voltage	120.0 V(rms)	Apparent Power	108.12 VA	THDA [ANSI]	8.51 %
Current	0.9010 A(rms)	Power Factor	0.995	Max. Harmonic At	3rd order

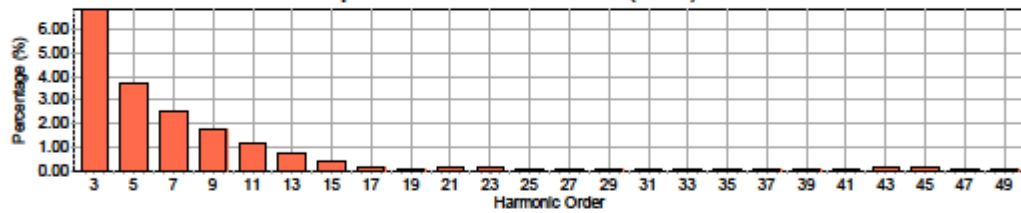
**Input Voltage Harmonics (Odd)**



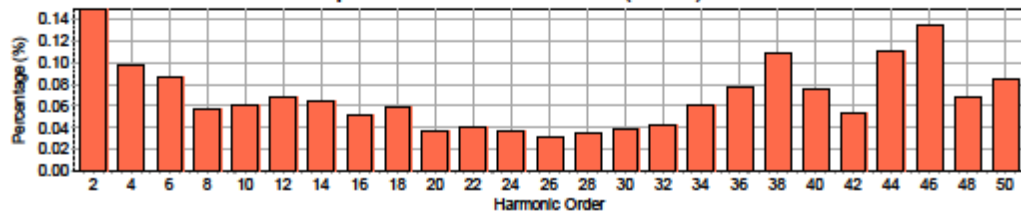
**Input Voltage Harmonics (Even)**



**Input Current Harmonics (Odd)**



**Input Current Harmonics (Even)**





**Les Industries Spectralux Inc.**  
**Spectralux Industries Inc.**

2750 Sabourin, Saint-Laurent (Quebec) H4S 1M2 Canada  
 Tel.: (514) 332-0082 Fax: (514) 332-3590 [www.spectralux.ca](http://www.spectralux.ca)

ISO/IEC 17025



NO. 1401-1-3 COND. 201609-0

**Harmonic Measurements**

Odd Harmonics				Even Harmonics			
Harmonic Order	Frequency (HZ)	Voltage Harmonics (%)	Current Harmonics (%)	Harmonic Order	Frequency (HZ)	Voltage Harmonics (%)	Current Harmonics (%)
1	60	100.000	100.000	2	120	0.059	0.149
3	180	0.149	6.842	4	240	0.033	0.097
5	300	0.138	3.713	6	360	0.050	0.087
7	420	0.160	2.530	8	480	0.029	0.057
9	540	0.130	1.758	10	600	0.053	0.061
11	660	0.109	1.185	12	720	0.049	0.068
13	780	0.055	0.773	14	840	0.039	0.064
15	900	0.057	0.393	16	960	0.044	0.052
17	1020	0.023	0.188	18	1080	0.031	0.059
19	1140	0.039	0.095	20	1200	0.033	0.038
21	1260	0.032	0.142	22	1320	0.031	0.041
23	1380	0.040	0.157	24	1440	0.027	0.037
25	1500	0.039	0.119	26	1560	0.020	0.032
27	1620	0.034	0.110	28	1680	0.022	0.036
29	1740	0.017	0.108	30	1800	0.022	0.038
31	1860	0.018	0.080	32	1920	0.026	0.043
33	1980	0.025	0.067	34	2040	0.031	0.060
35	2100	0.022	0.080	36	2160	0.043	0.078
37	2220	0.027	0.080	38	2280	0.052	0.110
39	2340	0.030	0.050	40	2400	0.033	0.076
41	2460	0.041	0.079	42	2520	0.023	0.053
43	2580	0.029	0.142	44	2640	0.043	0.111
45	2700	0.042	0.128	46	2760	0.049	0.134
47	2820	0.029	0.095	48	2880	0.024	0.069
49	2940	0.024	0.074	50	3000	0.028	0.085



**Les Industries Spectralux Inc.**  
**Spectralux Industries Inc.**

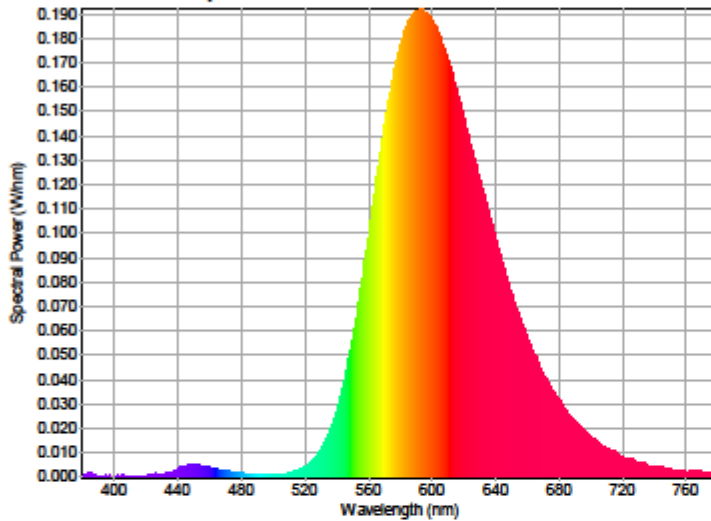
2750 Sabourin, Saint-Laurent (Quebec) H4S 1M2 Canada  
 Tel.: (514) 332-0082 Fax: (514) 332-3590 [www.spectralux.ca](http://www.spectralux.ca)

ISO/IEC 17025



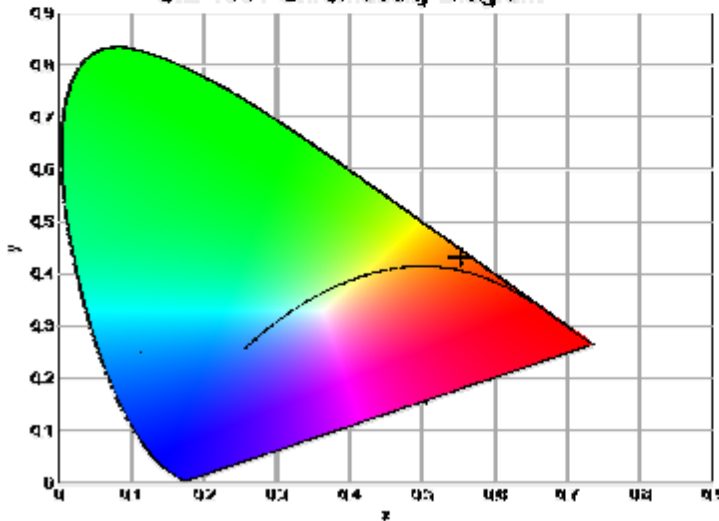
NO. 1401-AB-COOP-200604-0

**Spectral Power Distribution**



Peak Wavelength	593 nm
Luminous Flux	6566 lm
Input Power	107.55 W
Lumens/Watt	61.1
Full Width/Half Maximum	81.76
Center Wavelength	600 nm
Centroid Wavelength	452 nm
Dominant Wavelength	588 nm
Excitation Purity	0.8987
Colorimetric Purity	0.9045

**CIE 1931 Chromaticity Diagram**



x	0.5525	CCT	1912 K
y	0.4322	CRI	39
u	0.3121	L*	25.67
v	0.3662	a*	9.32
u'	0.3121	b*	37.08
v'	0.5493	Duv	0.0066
R1	29.5	R9	-114.1
R2	65.2	R10	30.5
R3	86.6	R11	-16.7
R4	13.5	R12	-5.0
R5	20.9	R13	32.4
R6	45.3	R14	91.8
R7	58.0		
R8	-6.2		



**Les Industries Spectralux Inc.**  
**Spectralux Industries Inc.**

2750 Sabourin, Saint-Laurent (Quebec) H4S 1M2 Canada  
 Tel.: (514) 332-0082 Fax: (514) 332-3590 [www.spectralux.ca](http://www.spectralux.ca)

ISO/IEC 17025



NO. 1401-1-03 CONF. 201609-0

**Spectral Power Distribution Table (1/4)**

Wavelength (nm)	Spectral Power (W/nm)	Wavelength (nm)	Spectral Power (W/nm)	Wavelength (nm)	Spectral Power (W/nm)	Wavelength (nm)	Spectral Power (W/nm)
380	0.00059	405	0.00109	430	0.00079	455	0.00475
381	0.00088	406	0.00081	431	0.00087	456	0.00471
382	0.00054	407	0.00063	432	0.00160	457	0.00476
383	0.00167	408	0.00045	433	0.00152	458	0.00440
384	0.00145	409	0.00006	434	0.00173	459	0.00458
385	0.00169	410	0.00067	435	0.00159	460	0.00425
386	0.00187	411	0.00039	436	0.00185	461	0.00378
387	0.00068	412	0.00064	437	0.00218	462	0.00383
388	0.00091	413	0.00061	438	0.00246	463	0.00334
389	0.00060	414	0.00051	439	0.00315	464	0.00342
390	0.00006	415	0.00050	440	0.00346	465	0.00351
391	0.00070	416	0.00063	441	0.00398	466	0.00314
392	0.00046	417	0.00036	442	0.00444	467	0.00326
393	0.00022	418	0.00031	443	0.00444	468	0.00302
394	0.00112	419	0.00049	444	0.00458	469	0.00291
395	0.00069	420	0.00038	445	0.00467	470	0.00295
396	0.00070	421	0.00084	446	0.00494	471	0.00262
397	0.00101	422	0.00086	447	0.00538	472	0.00248
398	0.00000	423	0.00136	448	0.00543	473	0.00235
399	0.00000	424	0.00132	449	0.00561	474	0.00215
400	0.00011	425	0.00125	450	0.00568	475	0.00200
401	0.00029	426	0.00157	451	0.00552	476	0.00199
402	0.00088	427	0.00136	452	0.00551	477	0.00176
403	0.00077	428	0.00083	453	0.00515	478	0.00183
404	0.00056	429	0.00099	454	0.00489	479	0.00176





**Les Industries Spectralux Inc.**  
**Spectralux Industries Inc.**

2750 Sabourin, Saint-Laurent (Quebec) H4S 1M2 Canada  
 Tel.: (514) 332-0082 Fax: (514) 332-3590 [www.spectralux.ca](http://www.spectralux.ca)

ISO/IEC 17025



NO. 140 LAB. COND. 200604-0

**Spectral Power Distribution Table (2/4)**

Wavelength (nm)	Spectral Power (W/nm)	Wavelength (nm)	Spectral Power (W/nm)	Wavelength (nm)	Spectral Power (W/nm)	Wavelength (nm)	Spectral Power (W/nm)
480	0.00159	505	0.00113	530	0.01154	555	0.07767
481	0.00157	506	0.00121	531	0.01264	556	0.08201
482	0.00140	507	0.00130	532	0.01382	557	0.08649
483	0.00133	508	0.00145	533	0.01513	558	0.09111
484	0.00135	509	0.00155	534	0.01658	559	0.09557
485	0.00125	510	0.00163	535	0.01816	560	0.10008
486	0.00119	511	0.00195	536	0.01985	561	0.10458
487	0.00117	512	0.00207	537	0.02155	562	0.10897
488	0.00106	513	0.00233	538	0.02340	563	0.11390
489	0.00114	514	0.00261	539	0.02542	564	0.11857
490	0.00115	515	0.00275	540	0.02745	565	0.12355
491	0.00112	516	0.00305	541	0.03000	566	0.12795
492	0.00119	517	0.00334	542	0.03262	567	0.13222
493	0.00111	518	0.00366	543	0.03525	568	0.13616
494	0.00109	519	0.00402	544	0.03802	569	0.14074
495	0.00106	520	0.00439	545	0.04073	570	0.14493
496	0.00097	521	0.00478	546	0.04368	571	0.14908
497	0.00095	522	0.00527	547	0.04698	572	0.15303
498	0.00090	523	0.00581	548	0.05036	573	0.15645
499	0.00092	524	0.00646	549	0.05391	574	0.16015
500	0.00091	525	0.00713	550	0.05769	575	0.16309
501	0.00100	526	0.00785	551	0.06139	576	0.16666
502	0.00109	527	0.00865	552	0.06510	577	0.16939
503	0.00108	528	0.00954	553	0.06931	578	0.17203
504	0.00111	529	0.01052	554	0.07332	579	0.17524





**Les Industries Spectralux Inc.**  
**Spectralux Industries Inc.**

2750 Sabourin, Saint-Laurent (Quebec) H4S 1M2 Canada  
 Tel.: (514) 332-0082 Fax: (514) 332-3590 [www.spectralux.ca](http://www.spectralux.ca)

ISO/IEC 17025



NO. 1401-AB-CONF-200604-0

**Spectral Power Distribution Table (3/4)**

Wavelength (nm)	Spectral Power (W/nm)	Wavelength (nm)	Spectral Power (W/nm)	Wavelength (nm)	Spectral Power (W/nm)	Wavelength (nm)	Spectral Power (W/nm)
580	0.17758	605	0.18143	630	0.12342	655	0.06656
581	0.18012	606	0.17976	631	0.12090	656	0.06486
582	0.18228	607	0.17780	632	0.11844	657	0.06285
583	0.18351	608	0.17578	633	0.11633	658	0.06106
584	0.18492	609	0.17392	634	0.11326	659	0.05929
585	0.18726	610	0.17182	635	0.11076	660	0.05762
586	0.18788	611	0.16990	636	0.10828	661	0.05592
587	0.18944	612	0.16793	637	0.10581	662	0.05428
588	0.19054	613	0.16584	638	0.10371	663	0.05279
589	0.19031	614	0.16333	639	0.10117	664	0.05145
590	0.19135	615	0.16078	640	0.09877	665	0.04999
591	0.19163	616	0.15835	641	0.09606	666	0.04859
592	0.19221	617	0.15556	642	0.09358	667	0.04708
593	0.19197	618	0.15340	643	0.09133	668	0.04567
594	0.19200	619	0.15093	644	0.08902	669	0.04422
595	0.19153	620	0.14838	645	0.08678	670	0.04279
596	0.19093	621	0.14613	646	0.08462	671	0.04153
597	0.19025	622	0.14347	647	0.08225	672	0.04047
598	0.18949	623	0.14075	648	0.08003	673	0.03916
599	0.18910	624	0.13851	649	0.07781	674	0.03816
600	0.18808	625	0.13575	650	0.07573	675	0.03681
601	0.18677	626	0.13291	651	0.07401	676	0.03565
602	0.18606	627	0.13032	652	0.07197	677	0.03461
603	0.18452	628	0.12804	653	0.07015	678	0.03357
604	0.18276	629	0.12555	654	0.06841	679	0.03266



**Les Industries Spectralux Inc.**  
**Spectralux Industries Inc.**

2750 Sabourin, Saint-Laurent (Quebec) H4S 1M2 Canada  
 Tel.: (514) 332-0082 Fax: (514) 332-3590 [www.spectralux.ca](http://www.spectralux.ca)

ISO/IEC 17025



NO. 1401-AB-CONF-201609-0

**Spectral Power Distribution Table (4/4)**

Wavelength (nm)	Spectral Power (W/nm)	Wavelength (nm)	Spectral Power (W/nm)	Wavelength (nm)	Spectral Power (W/nm)	Wavelength (nm)	Spectral Power (W/nm)
680	0.03170	706	0.01392	732	0.00595	758	0.00285
681	0.03079	707	0.01324	733	0.00587	759	0.00241
682	0.02991	708	0.01279	734	0.00566	760	0.00232
683	0.02902	709	0.01232	735	0.00523	761	0.00225
684	0.02817	710	0.01215	736	0.00503	762	0.00257
685	0.02720	711	0.01176	737	0.00461	763	0.00268
686	0.02611	712	0.01142	738	0.00462	764	0.00232
687	0.02524	713	0.01124	739	0.00447	765	0.00258
688	0.02440	714	0.01088	740	0.00435	766	0.00217
689	0.02372	715	0.01068	741	0.00444	767	0.00269
690	0.02306	716	0.01013	742	0.00475	768	0.00218
691	0.02250	717	0.00947	743	0.00468	769	0.00224
692	0.02168	718	0.00905	744	0.00464	770	0.00227
693	0.02099	719	0.00857	745	0.00458	771	0.00197
694	0.02040	720	0.00858	746	0.00404	772	0.00210
695	0.01984	721	0.00822	747	0.00373	773	0.00181
696	0.01907	722	0.00800	748	0.00322	774	0.00165
697	0.01850	723	0.00803	749	0.00342	775	0.00164
698	0.01795	724	0.00779	750	0.00334	776	0.00126
699	0.01744	725	0.00785	751	0.00314	777	0.00108
700	0.01684	726	0.00742	752	0.00305	778	0.00092
701	0.01627	727	0.00701	753	0.00277	779	0.00096
702	0.01574	728	0.00656	754	0.00286	780	0.00177
703	0.01516	729	0.00620	755	0.00279		
704	0.01470	730	0.00591	756	0.00280		
705	0.01425	731	0.00602	757	0.00284		

## ANNEXE II : MESURES DES SPD DES ESSAIS



Les Industries Spectralux Inc.  
Spectralux Industries Inc.

2750 Sabourin, Saint-Laurent (Quebec) H4S 1M2 Canada  
Tel.: (514) 332-0082 Fax: (514) 332-3590 [www.spectralux.ca](http://www.spectralux.ca)

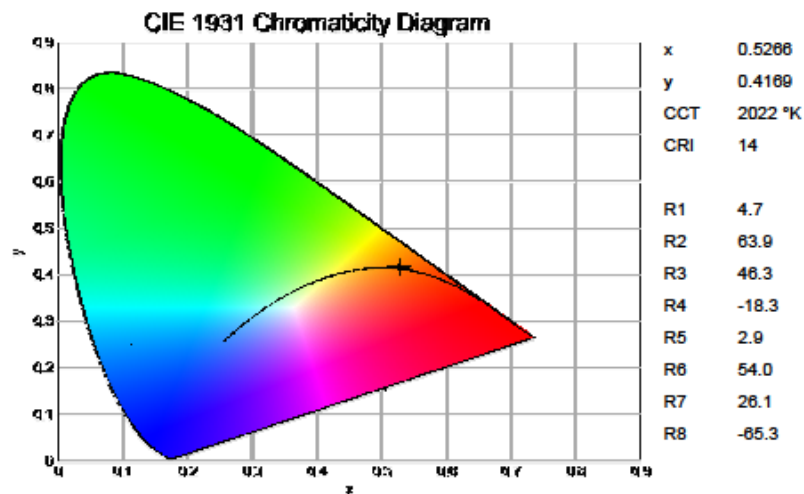
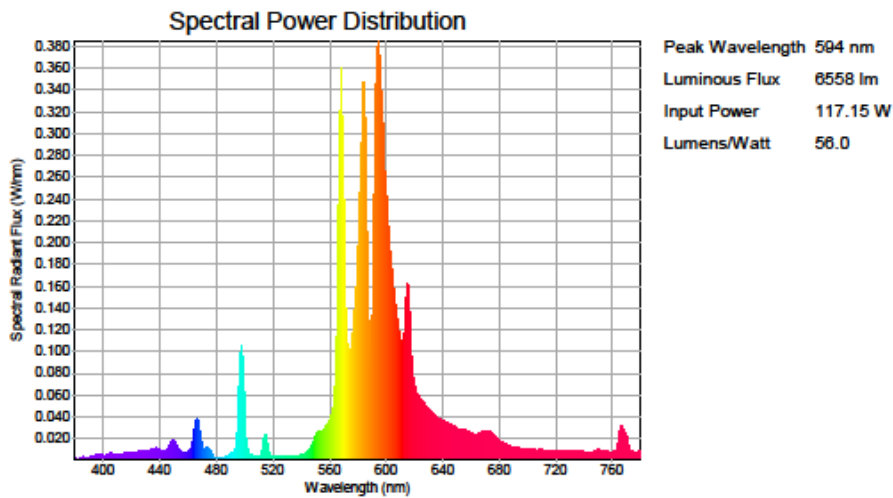


Figure II-1 : Essais L1011044 – 2022 K

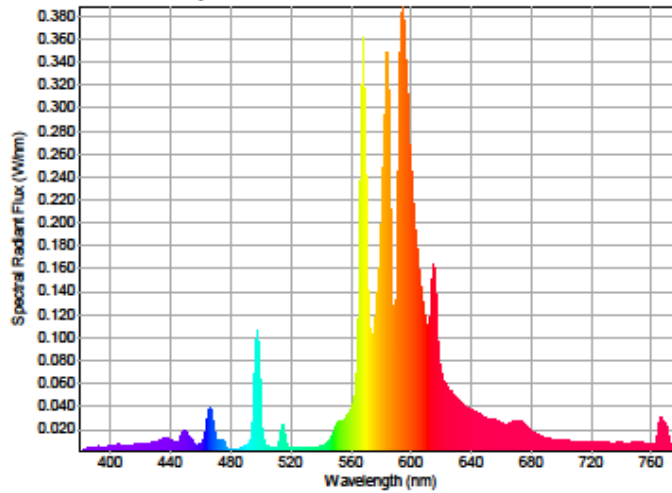


**Les Industries Spectralux Inc.**  
**Spectralux Industries Inc.**

2750 Sabourin, Saint-Laurent (Quebec) H4S 1M2 Canada  
Tel.: (514) 332-0082 Fax: (514) 332-3590 [www.spectralux.ca](http://www.spectralux.ca)

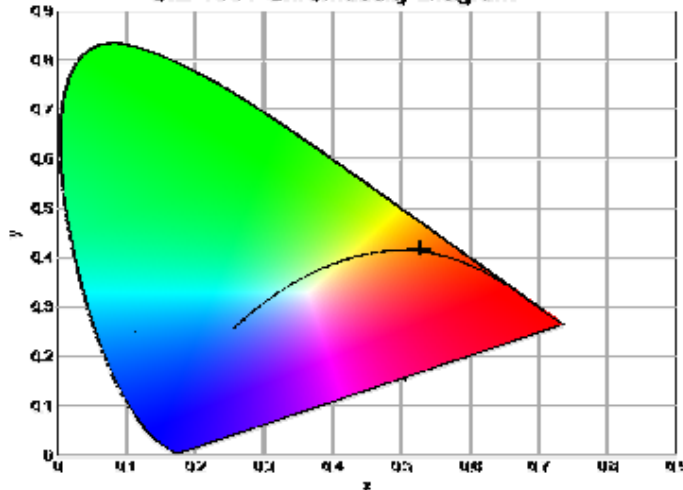


**Spectral Power Distribution**



Peak Wavelength 594 nm  
Luminous Flux 8605 lm  
Input Power 117.20 W  
Lumens/Watt 56.4

**CIE 1931 Chromaticity Diagram**



x 0.5263  
y 0.4185  
CCT 2023 °K  
CRI 14  
R1 4.8  
R2 63.9  
R3 46.4  
R4 -18.2  
R5 2.9  
R6 54.1  
R7 26.1  
R8 -65.2

**Figure II-2 : Essais L1011045 – 2023 K**

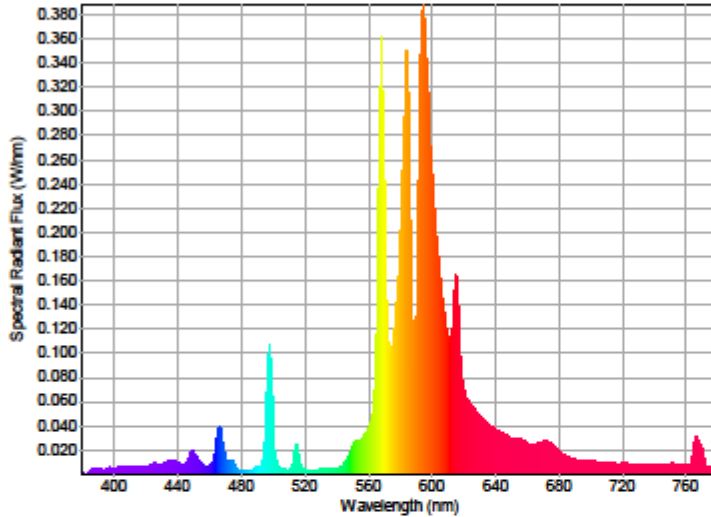


**Les Industries Spectralux Inc.**  
**Spectralux Industries Inc.**

2750 Sabourin, Saint-Laurent (Quebec) H4S 1M2 Canada  
 Tel.: (514) 332-0082 Fax: (514) 332-3590 [www.spectralux.ca](http://www.spectralux.ca)

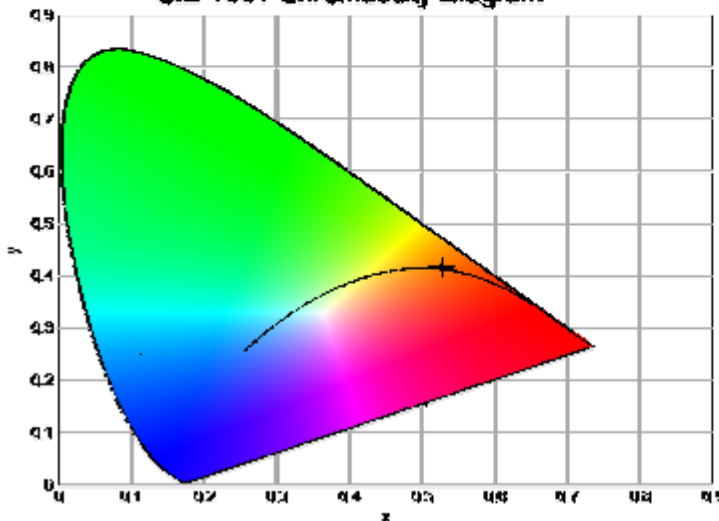


**Spectral Power Distribution**



Peak Wavelength 594 nm  
 Luminous Flux 8645 lm  
 Input Power 116.84 W  
 Lumens/Watt 56.9

**CIE 1931 Chromaticity Diagram**

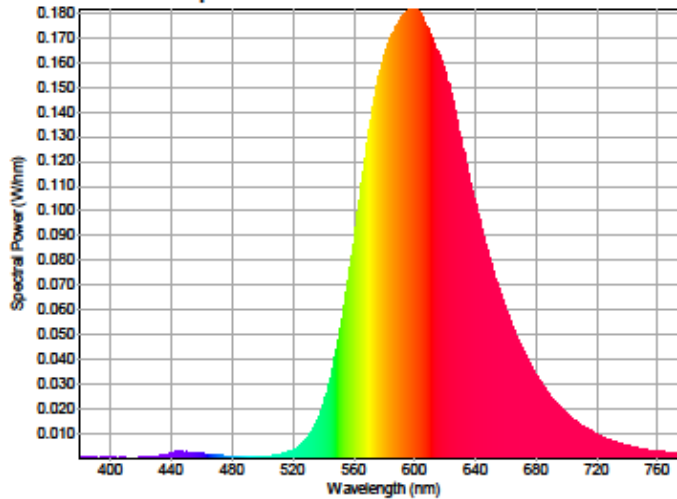


x 0.5269  
 y 0.4169  
 CCT 2020 °K  
 CRI 15  
 R1 5.0  
 R2 64.0  
 R3 46.5  
 R4 -18.0  
 R5 3.1  
 R6 54.2  
 R7 26.3  
 R8 -64.9

**Figure II-3 : Essais L1011043 – 2020 K**

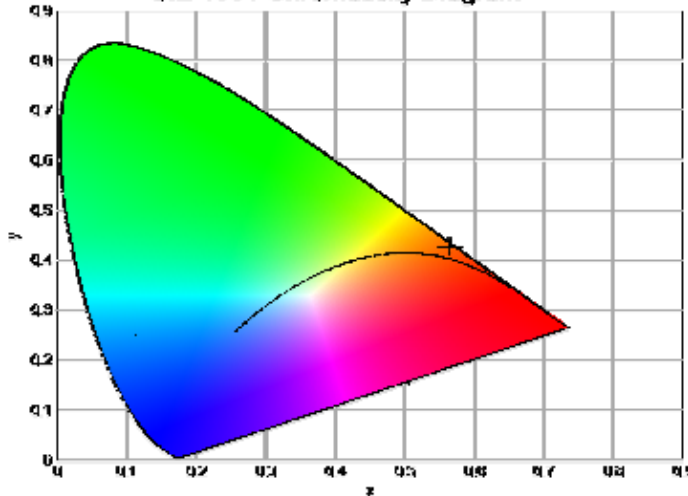


**Spectral Power Distribution**



Peak Wavelength	599 nm
Luminous Flux	6143 lm
Input Power	106.53 W
Lumens/Watt	57.7
Full Width/Half Maximum	84.68
Center Wavelength	603 nm
Centroid Wavelength	460 nm
Dominant Wavelength	589 nm
Excitation Purity	0.9464
Colorimetric Purity	0.9489

**CIE 1931 Chromaticity Diagram**



x	0.5640	CCT	1807 K
y	0.4277	CRI	40
u	0.3221	L*	25.67
v	0.3664	a*	11.28
u'	0.3221	b*	40.28
v'	0.5495	Duv	0.0062
R1	31.3	R9	-104.4
R2	66.3	R10	33.6
R3	85.6	R11	-15.9
R4	14.1	R12	-1.5
R5	22.1	R13	33.7
R6	47.6	R14	91.4
R7	58.6		
R8	-3.6		

**Figure II-4 : Essais L1403058 – 1807 K**



**Les Industries Spectralux Inc.**  
**Spectralux Industries Inc.**

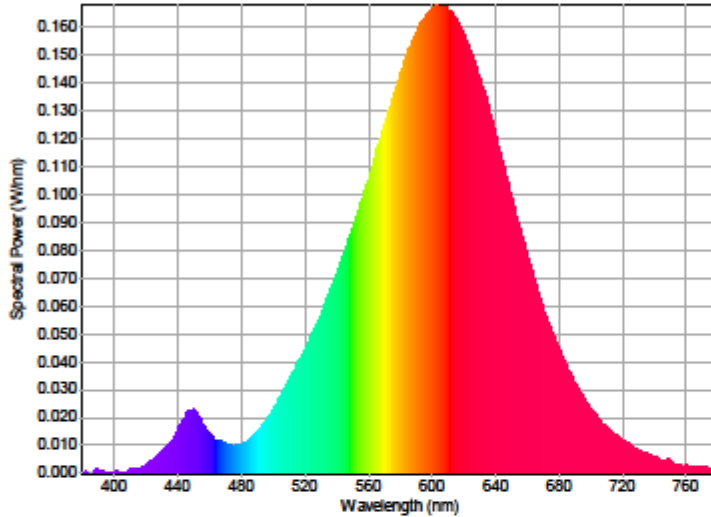
2750 Sabourin, Saint-Laurent (Quebec) H4S 1M2 Canada  
 Tel.: (514) 332-0082 Fax: (514) 332-3590 [www.spectralux.ca](http://www.spectralux.ca)

ISO/IEC 17025



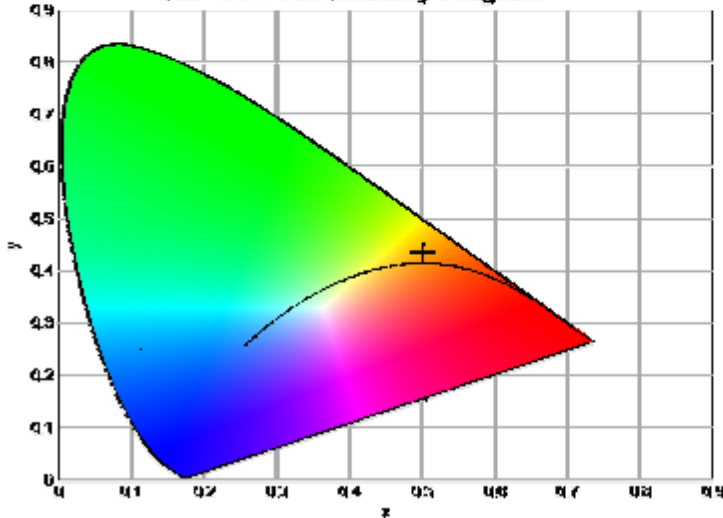
NO. 1401 AB COOP-200694-0

**Spectral Power Distribution**



Peak Wavelength	603 nm
Luminous Flux	7280 lm
Input Power	122.36 W
Lumens/Watt	59.5
Full Width/Half Maximum	110.06
Center Wavelength	602 nm
Centroid Wavelength	435 nm
Dominant Wavelength	584 nm
Excitation Purity	0.5648
Colorimetric Purity	0.5935

**CIE 1931 Chromaticity Diagram**



x	0.5003	CCT	2394 K
y	0.4361	CRI	72
u	0.2767	L*	25.67
v	0.3618	a*	2.62
u'	0.2767	b*	18.49
v'	0.5427	Duv	0.0066
R1	67.0	R9	-24.9
R2	81.7	R10	58.8
R3	96.6	R11	58.3
R4	65.9	R12	47.0
R5	64.5	R13	69.0
R6	74.6	R14	97.7
R7	79.3		
R8	43.2		

**Figure II-5 : Essais L1312032 – 2394 K**





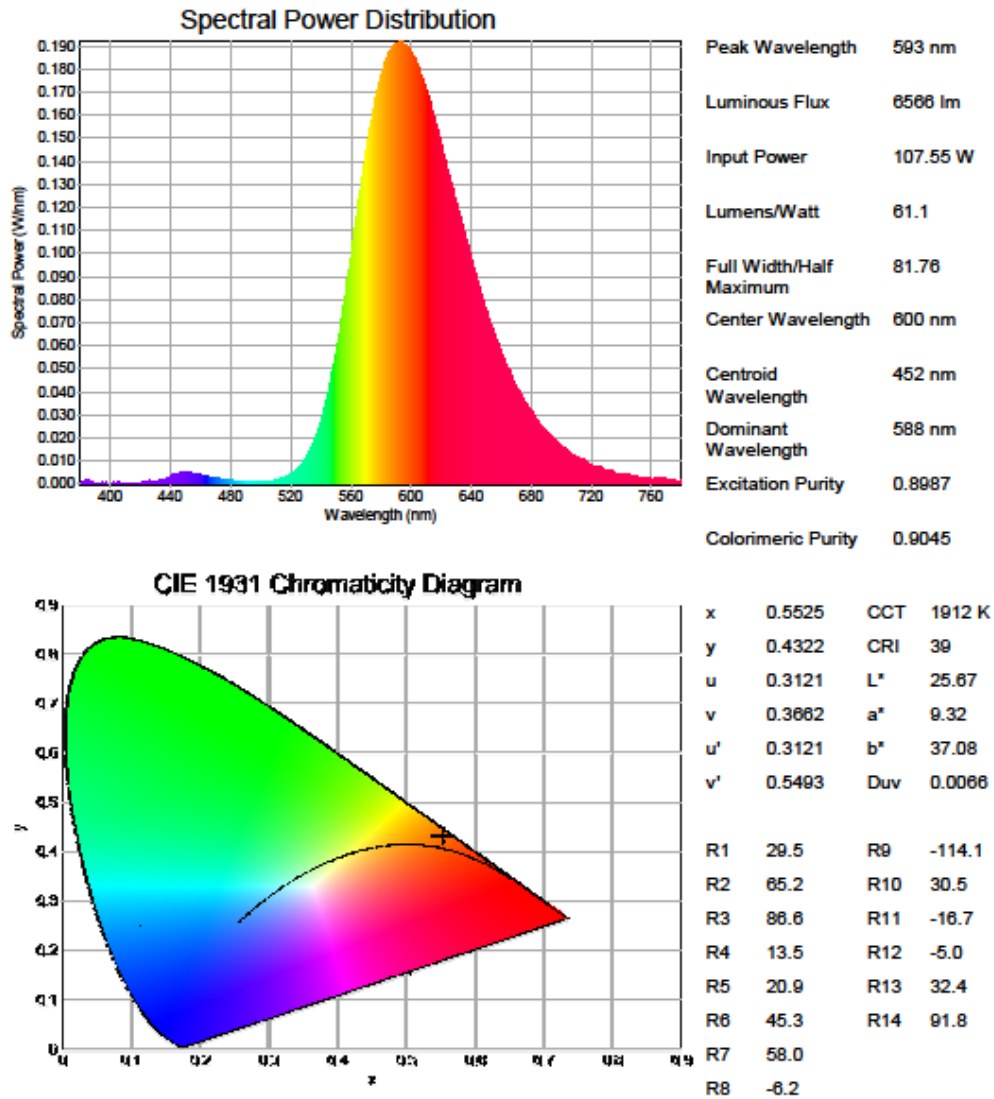
**Les Industries Spectralux Inc.**  
**Spectralux Industries Inc.**

2750 Sabourin, Saint-Laurent (Quebec) H4S 1M2 Canada  
 Tel.: (514) 332-0082 Fax: (514) 332-3590 [www.spectralux.ca](http://www.spectralux.ca)

ISO/IEC 17025



NVLAP LAB CODE: 200604-C



**Figure II-6 : Essais L1311292 – 1912 K**



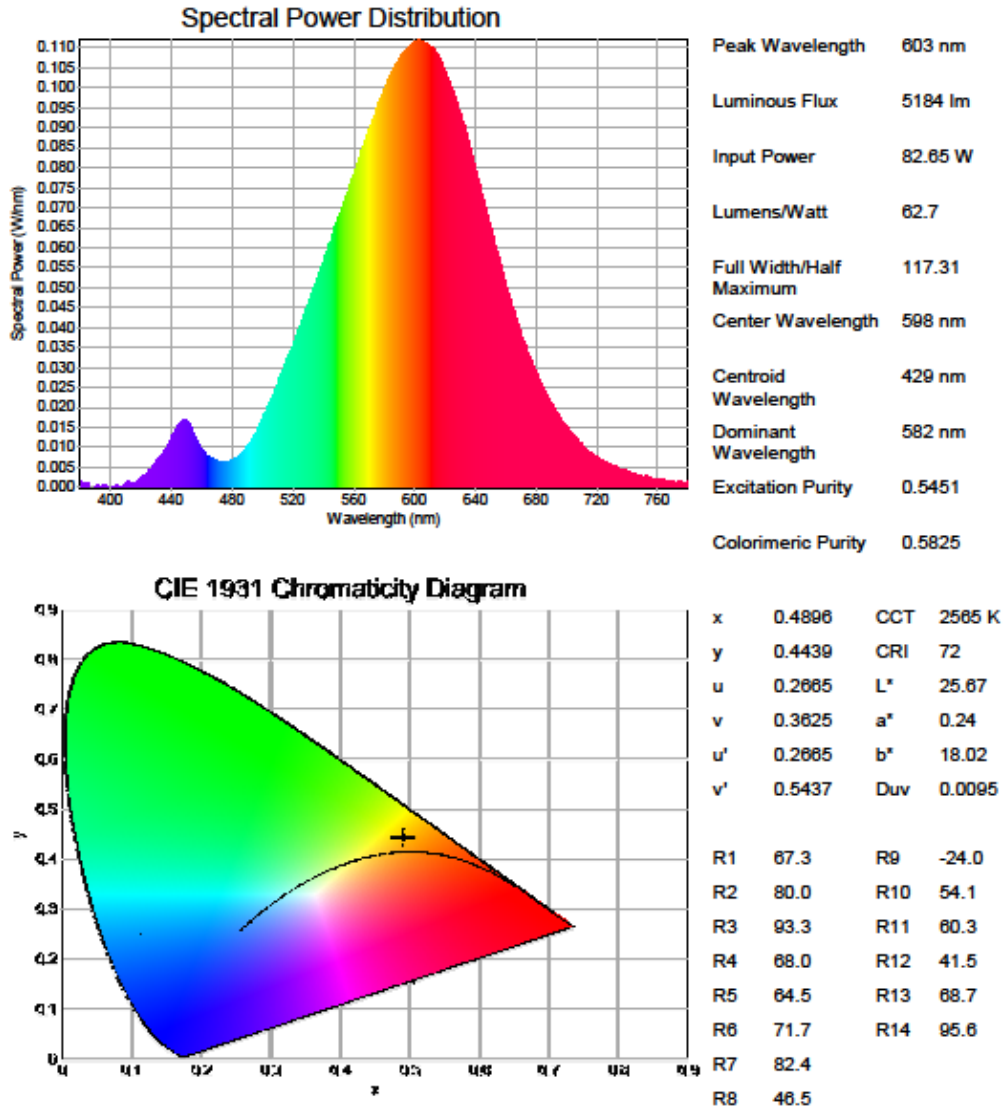


Figure II-7 : Essais L1312033 – 2565 K



**Les Industries Spectralux Inc.**  
**Spectralux Industries Inc.**

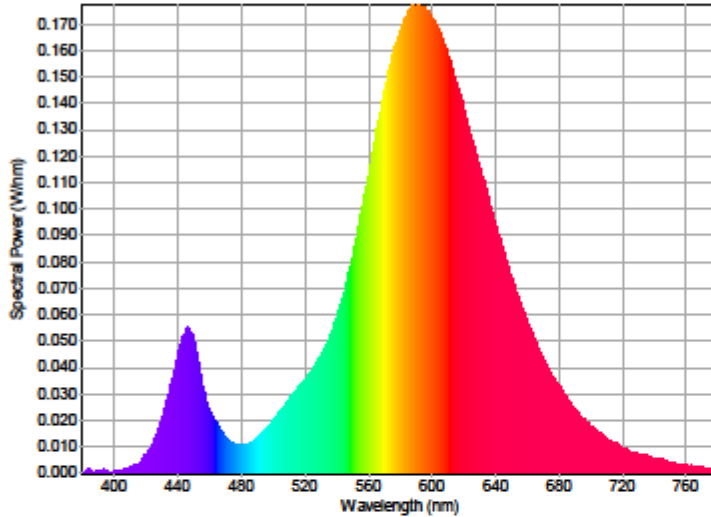
2750 Sabourin, Saint-Laurent (Quebec) H4S 1M2 Canada  
 Tel.: (514) 332-0082 Fax: (514) 332-3590 [www.spectralux.ca](http://www.spectralux.ca)

ISO/IEC 17025



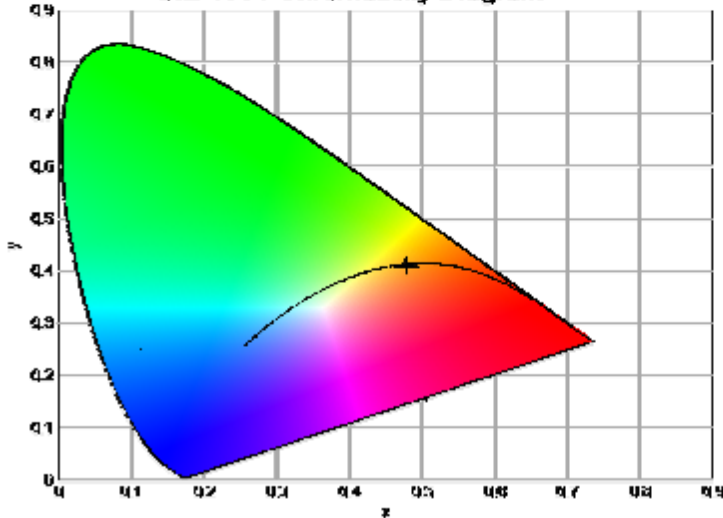
LABORATOIRE ACCRÉDITÉ

**Spectral Power Distribution**



Peak Wavelength	593 nm
Luminous Flux	7291 lm
Input Power	106.97 W
Lumens/Watt	68.2
Full Width/Half Maximum	90.92
Center Wavelength	597 nm
Centroid Wavelength	415 nm
Dominant Wavelength	591 nm
Excitation Purity	0.2215
Colorimetric Purity	0.2258

**CIE 1931 Chromaticity Diagram**



x	0.4773	CCT	2468 K
y	0.4097	CRI	59
u	0.2742	L*	25.67
v	0.3531	a*	3.54
u'	0.2742	b*	5.85
v'	0.5297	Duv	0.0014
R1	52.8	R9	-70.1
R2	76.9	R10	51.0
R3	91.4	R11	34.3
R4	46.9	R12	39.4
R5	50.8	R13	56.4
R6	66.9	R14	95.3
R7	67.0		
R8	20.6		

**Figure II-8 : Essais L1311282 – 2468 K**



**Les Industries Spectralux Inc.**  
**Spectralux Industries Inc.**

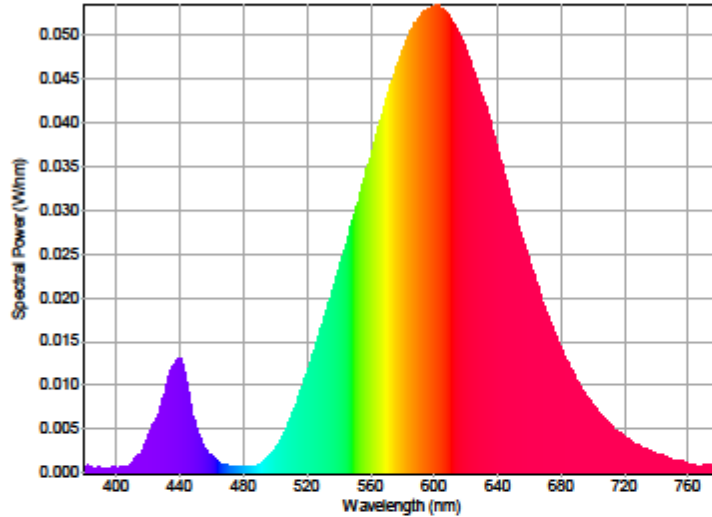
2750 Sabourin, Saint-Laurent (Quebec) H4S 1M2 Canada  
 Tel.: (514) 332-0082 Fax: (514) 332-3590 [www.spectralux.ca](http://www.spectralux.ca)

ISO/IEC 17025



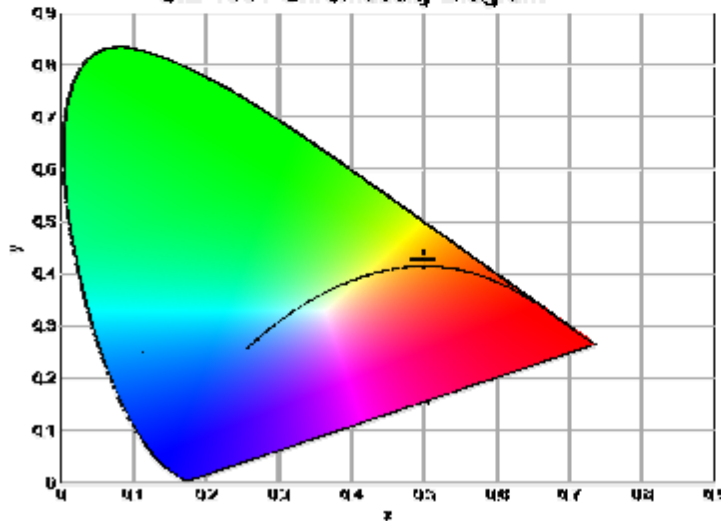
LABORATOIRE ACCRÉDITÉ

**Spectral Power Distribution**



Peak Wavelength	603 nm
Luminous Flux	2323 lm
Input Power	33.89 W
Lumens/Watt	68.5
Full Width/Half Maximum	110.18
Center Wavelength	601 nm
Centroid Wavelength	433 nm
Dominant Wavelength	586 nm
Excitation Purity	0.4990
Colorimetric Purity	0.5238

**CIE 1931 Chromaticity Diagram**

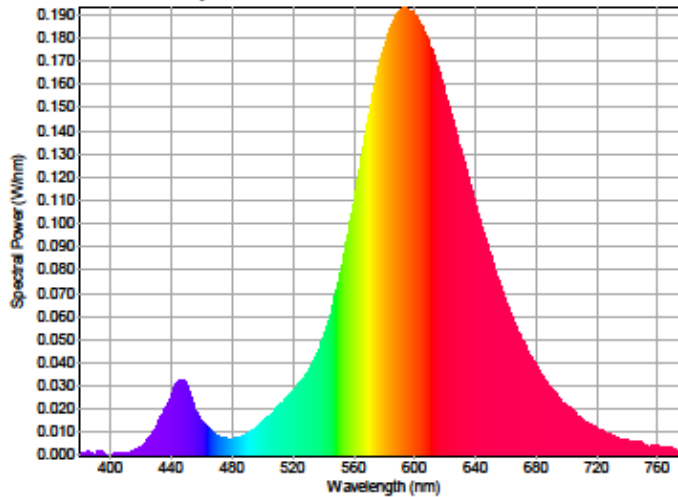


x	0.4983	CCT	2365 K
y	0.4287	CRI	63
u	0.2789	L*	25.67
v	0.3599	a*	3.42
u'	0.2789	b*	15.64
v'	0.5398	Duv	0.0043
R1	58.7	R9	-42.4
R2	75.1	R10	42.9
R3	90.4	R11	43.6
R4	56.3	R12	25.0
R5	54.0	R13	60.3
R6	61.8	R14	93.9
R7	75.5		
R8	35.4		

**Figure II-9 : Essais L13112042 – 2365 K**

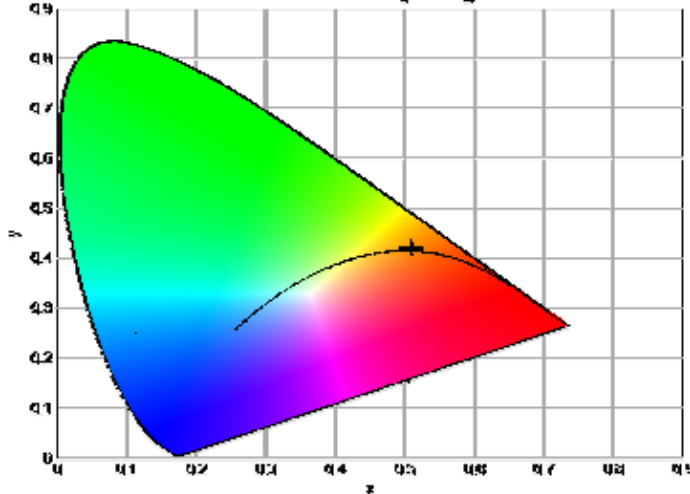


**Spectral Power Distribution**



Peak Wavelength	594 nm
Luminous Flux	7415 lm
Input Power	105.95 W
Lumens/Watt	70.0
Full Width/Half Maximum	89.06
Center Wavelength	601 nm
Centroid Wavelength	434 nm
Dominant Wavelength	589 nm
Excitation Purity	0.5175
Colorimetric Purity	0.5323

**CIE 1931 Chromaticity Diagram**



x	0.5093	CCT	2198 K
y	0.4204	CRI	55
u	0.2900	L*	25.67
v	0.3590	a*	5.97
u'	0.2900	b*	15.99
v'	0.5385	Duv	0.0016
R1	48.5	R9	-78.2
R2	75.1	R10	48.8
R3	90.0	R11	25.3
R4	40.6	R12	32.3
R5	45.0	R13	52.0
R6	64.1	R14	94.3
R7	64.9		
R8	14.8		

**Figure II-10 : Essais L1313059 – 2198 K**



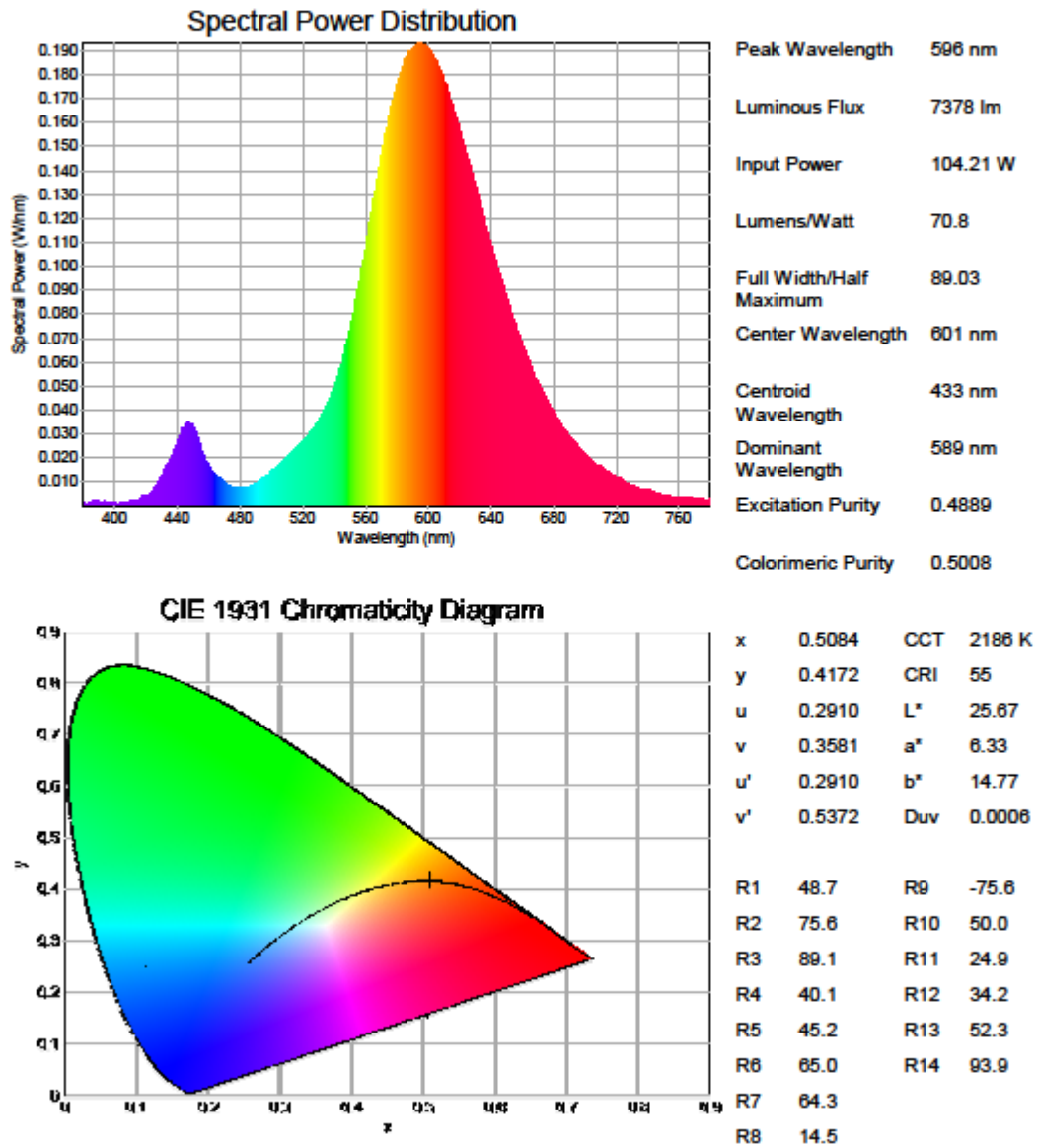
**Les Industries Spectralux Inc.**  
**Spectralux Industries Inc.**

2750 Sabourin, Saint-Laurent (Quebec) H4S 1M2 Canada  
 Tel.: (514) 332-0082 Fax: (514) 332-3590 [www.spectralux.ca](http://www.spectralux.ca)

ISO/IEC 17025



NVLAP 141-0006, 2009-01



**Figure II-11 : Essais L1312122 – 2186 K**



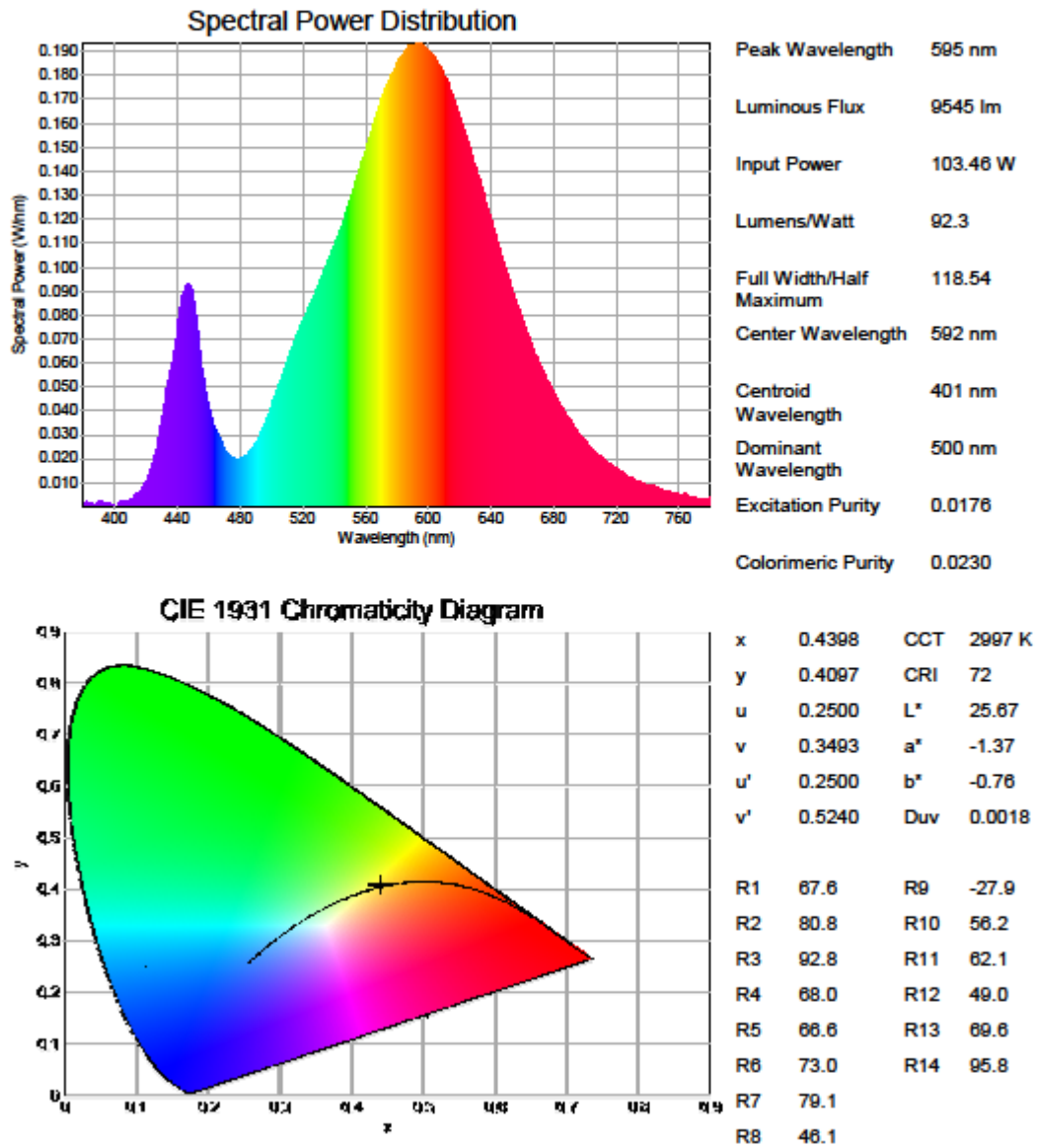
**Les Industries Spectralux Inc.**  
**Spectralux Industries Inc.**

2750 Sabourin, Saint-Laurent (Quebec) H4S 1M2 Canada  
 Tel.: (514) 332-0082 Fax: (514) 332-3590 [www.spectralux.ca](http://www.spectralux.ca)

ISO/IEC 17025



NO. 1401 AB, CODE: 200694-0



**Figure II-12 : Essais L1312123 – 2997 K**



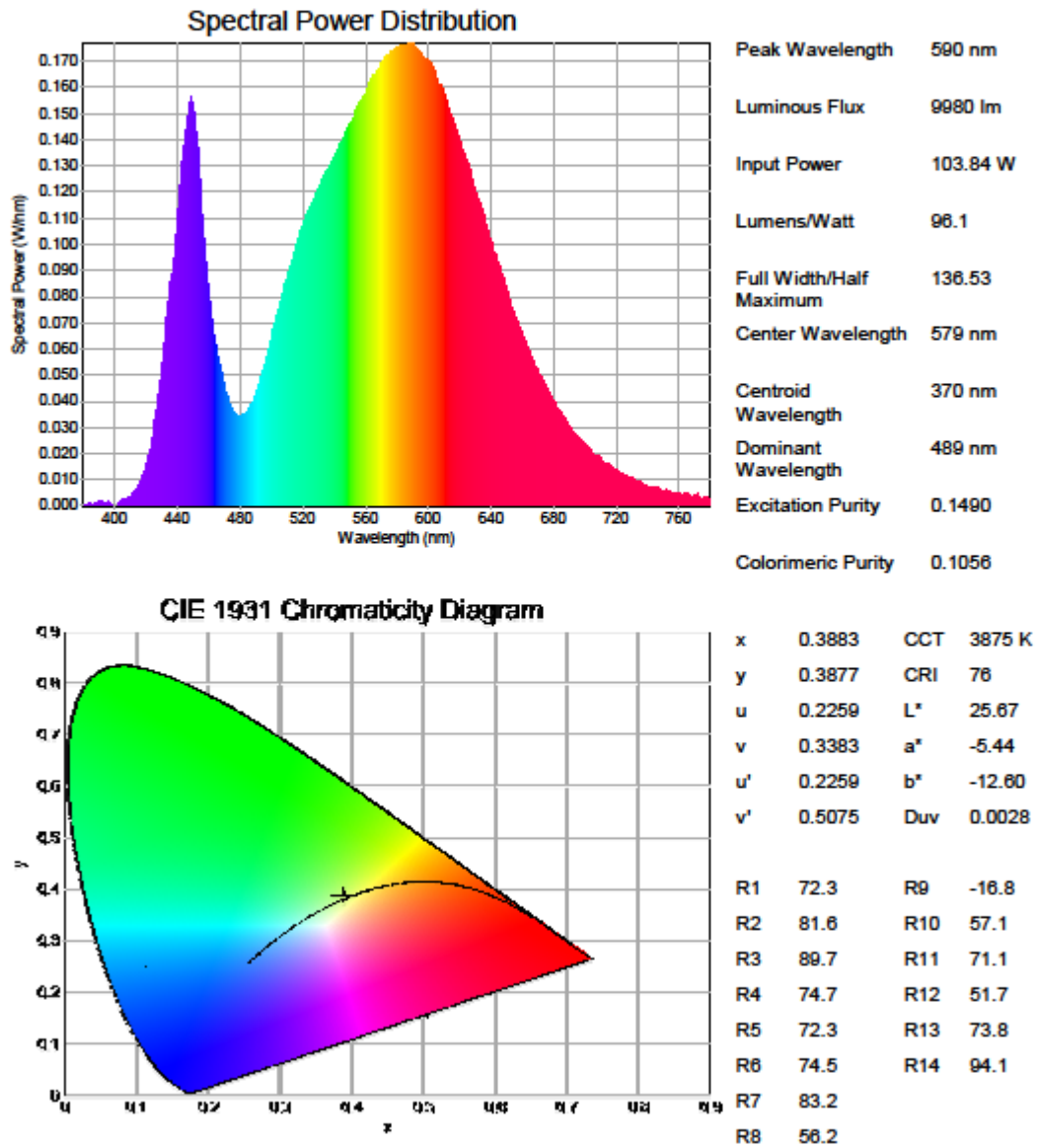
**Les Industries Spectralux Inc.**  
**Spectralux Industries Inc.**

2750 Sabourin, Saint-Laurent (Quebec) H4S 1M2 Canada  
 Tel.: (514) 332-0082 Fax: (514) 332-3590 [www.spectralux.ca](http://www.spectralux.ca)

ISO/IEC 17025



NVLAP #AL-2006-21064-01



**Figure II-12 : Essais L1301162 – 3875 K**