RAPPORT FINAL

MÉTHODE DE MESURE ET D'ANALYSE POUR LES MODULES À DEL POUR FEUX LUMINEUX

INO 127668MM RFI N/A Rev. 3
Phase 3

Présenté à :

M. Bruno Mathieu
Direction des structures
Service de l'électrotechnique
930, chemin Sainte-Foy, 2e étage
Québec (Québec) G1S 4X9

Préparé par :

Nathalie Blanchard
Chercheure

Présenté par :

Pascal Bourqui
Responsable de projets

Approuvé par :

Yan Duval
Responsable de programme

Mars 2013

INO • 2740, rue Einstein, Québec (Québec) Canada G1P 4S4

Copyright INO - Confidentiel

Tous droits réservés. Aucune partie du présent document ne peut être reproduite ni enregistrée dans un système de recherche documentaire ni transmise de quelque manière ou par quelque moyen, y compris l'enregistrement, la photocopie, l'envoi par télécopieur, etc., sans l'approbation préalable par écrit de l'INO.

Cette page est intentionnellement laissée en blanc

TABLE DES MATIÈRES

1 Objet du contrat 4
2 Normes à appliquer 4
3 Document en référence 4
4 Mise en contexte 4
5 Campagne de tests 6
5.1 Équipement pour tests en laboratoire 6
5.2 Intensité lumineuse et chromaticité 7
6 Procédures d'essais sur le terrain 7
6.1 Équipement pour tests sur le terrain 7
6.2 Mesures à prendre 8
7 Discussion sur les tableaux de mesure 8
7.1 Variation d'intensité lumineuse 10
7.2 Chromaticité 10
8 Conclusion et recommAndations 12
ANNEXE 1 – Mesures et Photos prises sur le terrain : Charlesbourg 14
ANNEXE 2 – Mesures et Photos prises sur le terrain : LAC-BEAUPORT 16
ANNEXE 3 – Mesures et Photos prises sur le terrain : Boischatel 18
ANNEXE 4 – Mesures et Photos prises sur le terrain : Pintentre 20
ANNEXE 5 – Mesures et Photos prises sur le terrain : Sillery (côte Gilmour) 22

LISTE DES FIGURES

Figure 1. Schéma de montage. 7
Figure 2. Photo de l'image telle que vue dans l'oculaire du PR-680. 8

1 OBJET DU CONTRAT

Le ministère des Transports du Québec (MTQ) doit instaurer un programme de remplacement des modules à diodes électroluminescentes (DEL) qu'il utilise sur son réseau pour divers sites de signaux lumineux. Certains modules sont installés depuis plus de 10 ans. Malgré que l'intensité lumineuse minimale à conserver demandée aux fabricants ne soit exigée que pour 5 ans, l'utilisation des modules à DEL dans un environnement relativement tempéré comme le nôtre provoque une dégradation des modules relativement plus lente. Le Ministère n'a pas en main d'équipement qui permet de faire l'évaluation précise de l'état réel des modules installés.

Il faut développer une méthode de mesure et d'analyse en laboratoire que l'on pourrait adapter sur le terrain, et qui permettra de suivre efficacement l'état de dégradation de l'intensité lumineuse émis par les modules à DEL.

2 NORMES À APPLIQUER

Les normes ITE applicables sont :

- [1] Vehicule Traffic Control Signal Heads: Light Emitting Diodes (LED) Circular Signal Supplement – 2005
- [2] Vehicule Traffic Control Signal Heads: Light Emitting Diodes (LED) Arrow Signal Supplement – 2007

3 DOCUMENT EN RÉFÉRENCE

- [3] Fichier de données Excel « Résultats finaux - février 2013.xlsx »

4 MISE EN CONTEXTE

La campagne de tests à effectuer pour accréditer un design est résumée à la Figure 2 des documents [1] et [2]. Cette campagne nécessite plusieurs étapes pour s'assurer que les requis d'intensité et de couleur soient rencontrés dans plusieurs conditions d'opération. Dans ce projet, il faut extraire les principaux éléments qui permettront de valider la conformité d'un feu après plusieurs années d'utilisation.

Il est relativement facile de mesurer l'intensité et la chromaticité d'un feu. La difficulté de la norme réside principalement sur le fait que les mesures sont prises :

- Après 60 minutes d'opération à 25°C
- Après divers tests environnementaux
- À différentes tensions d'alimentation
- À la température de 74°C

La température d'opération a des effets directs sur l'intensité et la chromaticité. Il est donc primordial de bien définir les conditions de test avant de comparer les résultats avec la norme. Le délai d'attente de 60 minutes permet de stabiliser la température de jonction des DELs afin d'obtenir une mesure répétable.

Pour avoir une idée de l'ordre de grandeur des variations impliquées lors des changements en température, les DELs haute-puissance de Osram OSLON SSL et les Luxeon Rebel de Lumiled ont les caractéristiques suivantes :

- L'intensité lumineuse des DELs rouges diminue d'environ 10-15 % lorsque la température augmente de 20°C.

- L'intensité lumineuse des DELs vertes diminue de moins de 5 % lorsque la température augmente de 20°C.

- L'intensité lumineuse des DELs jaunes diminue d'environ 30 % lorsque la température augmente de 20°C.

- La longueur d'onde dominante des DELs rouges OSLON augmente d'environ 1,5 nm lorsque la température augmente de 20°C.

- La longueur d'onde dominante des DELs vertes OSLON augmente d'environ 0,75 nm lorsque la température augmente de 20°C.

- La variation de la chromaticité des DELs Lumileds est : une diminution de 0.0015 en x et une augmentation de 0.001 en y sur la charte CIE 1931 pour une augmentation de 20°C.

Ces données démontrent bien l'importance de la température dans la prise de mesure. Les DELs sont caractérisées en fonction de leur température de jonction, qui est toujours plus élevée que la température ambiante. La différence entre la température de jonction et la température ambiante dépend de l'efficacité de dissipation thermique du design de la lampe. Ce qu'il faut retenir, c'est que la variation de température extérieure au feu (température ambiante et rayons de soleil) a un effet non négligeable sur la mesure d'intensité.

Les tests environnementaux de la norme sont requis pour accréditer un design, mais nous pouvons considérer que les feux lumineux installés sur le terrain n'ont pas besoin de tests environnementaux.

Normalement, le feu ne devrait pas être sensible aux tensions d'alimentation comprises entre 80 VAC et 135 VAC. Le système devrait être conçu pour tenir compte de variations importantes de tension dues au réseau électrique (Hydro-Québec). Il est possible de le confirmer avec des tests en laboratoire.

Quelques points importants de la norme sur les feux circulaires [1] :

- Intensité lumineuse minimale selon la couleur et la dimension du feu en fonction de l'angle de vue : équations à la section 4.1.1.1 ou résumé des résultats au tableau 1 et tableau 2.

- L'intensité lumineuse maximale permise est trois fois la plus intense des intensités minimales (section 4.1.2).

- L'uniformité de l'intensité lumineuse ne doit pas excéder le ratio de 10 pour 1 entre le maximum et le minimum d'intensité lumineuse.

- La couleur des feux doit être à l'intérieur des prismes de la charte CIE 1931 définis à la section 4.2.1. de la norme.

- La couleur dominante de chaque section du feu doit être à ±3 nm de la longueur d'onde dominante moyenne.

- Toutes les mesures doivent être prises à 25°C sauf pour les tests en température.

- Les mesures doivent être prises après 60 minutes d'opération.

- Les feux rouges et verts ont un duty cycle de 100 % et les jaunes un duty cycle de 12,5 % (5 secondes ON et 35 secondes OFF)

5 CAMPAGNE DE TESTS

La température d'opération de laboratoires de l'INO est de 22.0 ± 0.1 °C.

5.1 Équipement pour tests en laboratoire

- Feu lumineux à tester
- Système rotatif permettant d'incliner le feu selon les angles spécifiés dans la norme
- Chromamètre CS-100 de Konica-Minolta ou SpectraScan PR-680 de PhotoResearch
- Télémètre

Le schéma du montage est présenté à la Figure 1 suivante.

Le chromamètre CS-100 de Konica-Minolta est un appareil mesurant la luminance (cd/m^2). Le chromamètre est équipé d'une lentille permettant d'imager un champ de vue de 1°. Il faut être placé à plus de 17.46 m pour imager complètement le feu de 12 pouces sur le chromamètre.

Le SpectraScan PR-680 de PhotoResearch est aussi un chromamètre permettant de mesurer la luminance et la chromaticité d'une source. Le SpectraScan offre plusieurs avantages par rapport au chromamètre de Konica-Minolta, dont le principal pour cette application est la possibilité de sélectionner le champ de vue de la prise de mesure. En effet, il n'est pas limité au champ de vue de 1°, il peut également mesurer la luminance pour un champ de vue de 0.5°, 0.25° ou 0.125°. Ce paramètre est fort pratique sur le terrain puisqu'une mesure à 1° nous amène au milieu de l'intersection, alors que 0.5° permet de mesurer à partir du coin de la rue. Les autres avantages du SpectraScan sont moins importants pour notre application (plus grande plage dynamique, précision sur la chromaticité, etc.)

La précision de mesure en luminance est de 2 % pour les deux chromamètres. Le CS-100 mesure la chromaticité avec une précision de 0.004 CIE x,y alors que la précision du PR-680 est de 0.0015 CIE x,y.

Sachant la luminance et la distance exacte entre le chromamètre et le feu, il est aisé d'en déduire l'intensité lumineuse :

$$I = L\pi \cdot tan^2\left(\frac{1}{2}FOV\right) \cdot D^2$$

où *I* est l'intensité lumineuse en cd, *L* la luminance en cd/m^2 mesurée par le chromamètre, ½ FOV est le demi-angle du champ de vue du chromamètre, *D* est la distance entre le feu et le chromamètre (mesurée optiquement à l'aide du télémètre).

Le chromamètre donne également les coordonnées x,y de la couleur dans la charte CIE 1931.

Pour obtenir les mesures d'uniformité, il faut imager des sections de 1 pouce de diamètre sur le feu : il faut cette fois placer le chromamètre à une distance de 1.45 mètres du feu.

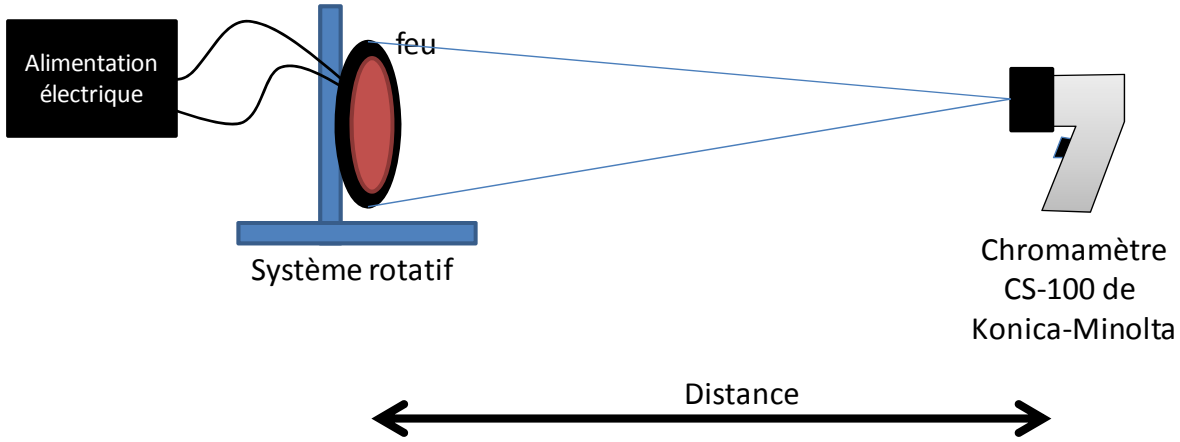

Figure 1. Schéma de montage.

5.2 Intensité lumineuse et chromaticité

1- Noter la température du laboratoire
2- Alimenter le feu lumineux à 120VAC
3- Placer le chromamètre à plus de 17.5 mètres
4- Noter la distance exacte
5- Prendre les mesures de luminance et de chromaticité (x,y) aux angles identifiés au tableau 1 de la norme associée au feu
6- Convertir les mesures de luminance en intensité lumineuse

6 PROCÉDURES D'ESSAIS SUR LE TERRAIN

6.1 Équipement pour tests sur le terrain

- Feu lumineux à tester
- Télémètre permettant de tester la distance et l'angle de visée du feu de circulation
- Chromamètre CS-100 de Konica-Minolta ou le SpectraScan PR-680 de Photo Research
- Trépied solide pour le chromamètre
- Thermomètre extérieur
- Appareil photo

6.2 Mesures à prendre

- Température
- Distance du feu
- Angle horizontal et vertical
- Luminance et chromaticité avant nettoyage
  - o Feu éteint
  - o Feu allumé
- Luminance et chromaticité après nettoyage
  - o Feu éteint
  - o Feu allumé
- Luminance et chromaticité après remplacement
  - o Feu éteint
  - o Feu allumé
- Luminance et chromaticité dans les mêmes conditions d'angle à l'intérieur (voir section précédente)
  - o Feu éteint
  - o Feu allumé

La Figure 2 illustre l'image telle que vue dans l'oculaire du PR-680. La zone noire au centre est la zone où la luminance est mesurée. Il est à noter qu'il ne faut pas s'inquiéter de ce qui apparaît comme des « brins d'herbe » tout le tour de l'image. Il s'agit bel et bien de branches d'arbres à l'arrière plan. Ils ne sont pas perceptibles au centre de l'objectif car le senseur de la caméra est saturé pour permettre de prendre une photo du feu de circulation à travers le PR-680.

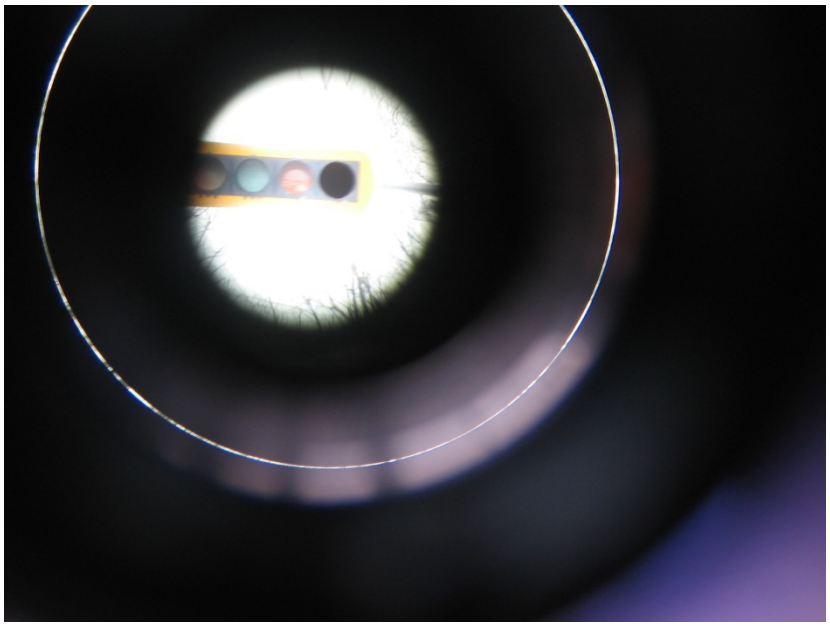

Figure 2. Photo de l'image telle que vue dans l'oculaire du PR-680.

7 DISCUSSION SUR LES TABLEAUX DE MESURE

Les données ont toutes été inscrites dans un fichier Excel [3] qu'il est possible de consulter en annexe. Chaque onglet représente une intersection. Les cases ombragées représentent les mesures qui ont été acquises sur le terrain ou en laboratoire (selon le cas). Les intensités lumineuses mesurées en candela (colonne « F ») sont semblables aux valeurs retrouvées dans la norme.

Voici la description du tableau :

- En en-tête, la description du feu mesuré : lieu, approche, commentaires

- En en-tête, les détails sur la mesure extérieure : nom du technologue, date, température lors de la prise de mesure

- En en-tête, positionnement du feu par rapport au chromamètre :

    - Angle vertical mesuré au télémètre : « vertical angle », tel que décrit dans la norme

    - Angle horizontal : « horizontal angle », tel que décrit dans la norme

    - Demi-FOV chromamètre : le demi-angle du champ de vue du chromamètre. Il s'agit d'un paramètre d'entrée au chromamètre. Dans le cas du CS-100, cette valeur est fixée à 0.5 degré. Dans le cas du PR-680, le demi-angle utilisé est 0.25 degré sur le terrain et 0.5 degré en laboratoire.

- Colonne C « Luminance mesurée feu éteint (cd/m^2) » : il s'agit de la luminance mesurée par le chromamètre lorsque le feu de circulation est éteint. Cette mesure est en candela par mètre carré.

- Colonne D « Luminance mesurée feu allumé (cd/m^2) » : il s'agit de la luminance mesurée par le chromamètre lorsque le feu de circulation est allumé. Cette mesure est en candela par mètre carré.

- Colonne E « Luminance source allumée-éteinte » : il s'agit de la luminance mesurée lorsque le feu est allumé soustrait par la luminance lorsque le feu est éteint, c'est-à-dire « colonne D – colonne C ».

- Colonne F « Intensité lumineuse mesurée (cd/m^2) » : il s'agit de l'intensité lumineuse calculée à partir des mesures qui ont été prises. L'équation utilisée se trouve à la section 5.1 de ce document : la luminance de la source est la colonne E, la distance de mesure se retrouve en en-tête et le demi-FOV est également dans l'en-tête.

- Colonne G « Intensité lumineuse minimale » : il s'agit de l'intensité lumineuse minimale spécifiée par la norme applicable. Tel que décrit dans la norme, la valeur dépend de la couleur du feu, de son diamètre, de l'angle vertical et de l'angle horizontal de la mesure. Pour avoir plus de détails sur l'équation, il faut se référer à la section 4.1.1.1 de la norme des feux circulaires [1] ou la section 4.1.1.1 de la norme des flèches [2].

- Colonne H « Ratio mesure/min » : il s'agit de la division de l'intensité lumineuse mesurée (colonne F) par l'intensité lumineuse minimale (colonne G). La norme spécifie que l'intensité lumineuse mesurée doit être supérieure à l'intensité minimale de la norme. Donc, le rapport entre l'intensité lumineuse mesurée et l'intensité minimale spécifiée par la norme **doit être supérieur à 1 pour être en accord avec la norme**.

- Colonne I « Ratio mesure/max absolu » : il s'agit de l'intensité lumineuse mesurée (colonne F) divisée par le maximum d'intensité maximale acceptable. En effet, tel que décrit à la section 4.1.2 dans la norme des feux circulaires [1] et dans la section 4.1.2 dans la norme des flèches [2], l'intensité lumineuse ne doit pas dépasser trois fois le maximum des intensités minimales du feu en question. Le maximum des intensités minimales est en fait le tableau de la section 4.1.1.3 pour les feux circulaires [1] et pour les flèches, il faut multiplier cette valeur par 0.16

(se référer à la section 4.1.1.1 de la norme [2]). Donc la valeur inscrite dans cette colonne doit demeurer **inférieure à 3 pour être en accord avec la norme**.

- Colonnes J et K « Chromaticité X » et « Chromaticité Y » : il s'agit des coordonnées x et y de la chromaticité, basées sur le diagramme CIE 1931.

- Colonne L « Chromaticité selon norme » indique si la chromaticité rencontre la norme ou non : VRAI lorsque la chromaticité est rencontrée, FAUX lorsqu'elle ne l'est pas.

Toutes les mesures ont été prises avec le SpectraScan PR-680 de PhotoResearch. Une seule exception : le feu jaune de Lac-Beauport en laboratoire. Les deux appareils sont équivalents et donnent la même mesure.

7.1 Variation d'intensité lumineuse

Le tableau ci-dessous compare les résultats obtenus sur le terrain par rapport à la mesure prise en laboratoire. La mesure prise en laboratoire est considérée comme étant la mesure de référence puisqu'elle a été prise dans des conditions très près de la norme : température similaire, environnement lumineux contrôlé, angle précis. La colonne « erreur relative à l'intensité lumineuse prise à l'extérieur » représente le facteur à ajouter à la mesure extérieure pour obtenir la mesure à l'intérieur.

Couleur	Forme	Lieu	Intensité lumineuse à l'extérieur (cd)	Intensité lumineuse à l'intérieur (cd)	Erreur relative à l'intensité lumineuse prise à l'extérieur
Vert	Flèche	Charlesbourg	134	157	+17 %
Vert	Circulaire	Boischatel	728	817	+12 %
Vert	Circulaire	Pintendre	728	857	+18 %
Vert	Flèche	Sillery	143	169	+18 %
Jaune	Flèche	Charlesbourg	287	208	-28 %
Jaune	Circulaire	Lac-Beauport	1261	920	-27 %
Rouge	Circulaire	Lac-Beauport	742	687	-7 %
Rouge	Circulaire	Boischatel	615	565	-8 %
Rouge	Circulaire	Pintendre	602	651	+8 %
Rouge	Circulaire	Sillery	488	542	+11 %

L'intensité lumineuse des feux verts précise en deçà de 18 % pour les quatre cas mesurés.
L'intensité lumineuse des feux jaunes précise en deçà de 28 % pour les deux cas mesurés.
L'intensité lumineuse des feux rouges précise en deçà de 11 % pour les quatre cas mesurés.

7.2 Chromaticité

La chromaticité a été mesurée en laboratoire. Seule la coordonnée x,y de chromaticité du feu jaune de Lac-Beauport est légèrement à l'extérieur de la norme (voir Figure 4).

Malheureusement, les mesures de chromaticité prises sur le terrain ont dû être rejetées car la mesure a été prise uniquement lorsque le feu était allumé. Tout comme l'intensité lumineuse, la chromaticité est grandement affectée par l'environnement lumineux.

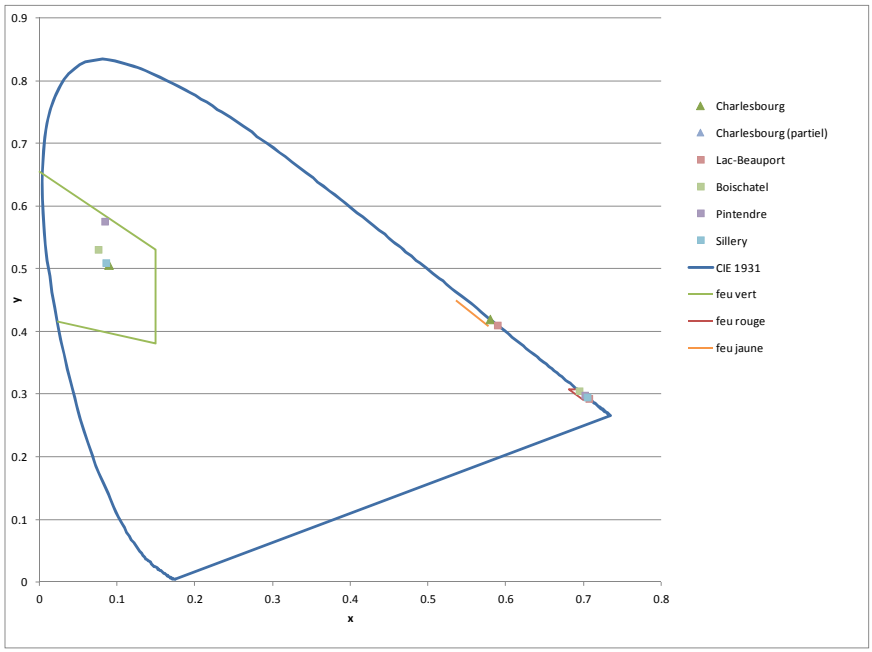

Figure 3. Graphique CIE 1931 avec les mesures de chromaticité des 10 feux mesurés à l'intérieur.

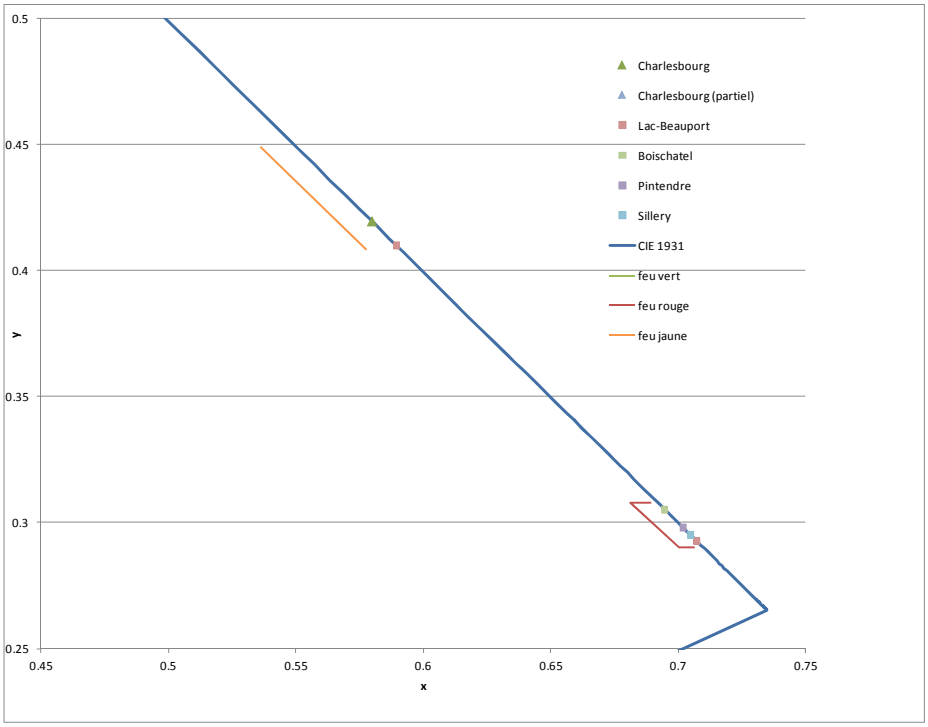

Figure 4. Graphique CIE 1931 avec les mesures de chromaticité des feux jaunes et rouges mesurés à l'intérieur.

8 CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS

Des mesures ont été prises sur 10 feux de circulations provenant de 5 intersections différentes. Lors de la prise de mesure des feux identifiés par le MTQ, tous rencontraient la norme, même avant le nettoyage. Chaque fois, le nettoyage apportait un gain significatif à l'intensité lumineuse. Le changement de feu a apporté une amélioration notable à Boischatel, Pintendre et le feu rouge de la Côte Gilmour à Sillery.

Il est à noter que des mesures supplémentaires ont été prises sur les feux vert, jaune et rouge à Charlesbourg. Ces feux n'ont pas été remplacés, mais ils ont été mesurés avant et après le nettoyage. Aucun de ces feux ne rencontrait la norme d'intensité lumineuse avant le nettoyage, et le feu rouge ne rencontre pas tout à fait la norme après le nettoyage.

La différence entre les mesures sur le terrain et les mesures en laboratoire démontre à quel point les facteurs d'erreur sont importants. Les principaux points sont les suivants :

- La température modifie l'efficacité des feux, donc leur intensité lumineuse. L'intensité mesurée sur le terrain devrait théoriquement être supérieure lorsque la température est froide, mais ce n'est pas toujours le cas. Nous ne connaissons pas le modèle de LEDs utilisés dans les feux, donc il est difficile de prévoir précisément le comportement en température.

- Il a été remarqué que le temps de mesure influence le résultat. Particulièrement aux feux jaunes, il a été remarqué que l'intensité lumineuse diminue rapidement dans le temps. Lors des mesures, une intégration sur un intervalle de temps doit être prise, mais puisque le feu jaune est allumé sur une courte période de temps, l'intensité ne peut pas se stabiliser. Nous avons tenté de prendre les mesures en laboratoire dans un laps de temps équivalent aux mesures extérieures.

- Il est possible de connaître précisément l'angle de mesure en laboratoire, mais sur le terrain, la mesure peut être faussée si le feu n'a pas été installé parfaitement au niveau (ce qui, semble-t-il, est fort probable). Plus l'angle de mesure s'éloigne de l'optimum à -2.5 degrés vertical, plus l'erreur d'angle a un impact important sur l'intensité minimale requise. Par exemple, l'intensité minimale requise est erronée de près de 32 % si l'angle réel est de -10 degrés au lieu de -7.5 degrés.

- Le soleil a lui aussi un impact important sur les mesures. C'est pour cette raison que la luminance au feu éteint a toujours été notée. Cette valeur est très importante sur le terrain mais négligeable en laboratoire. La position du soleil et la présence ou non de nuage impactent grandement la mesure d'intensité.

À partir des données obtenues, il est possible d'estimer l'erreur de mesure à :

- 18 % pour les feux verts (quatre cas)
- 28 % pour les feux jaunes (deux cas)
- 11 % pour les feux rouges (quatre cas)

Puisque les résultats obtenus montrent bien l'augmentation de l'intensité lumineuse des feux lorsqu'ils sont propres, notre première recommandation est évidemment de considérer un nettoyage des feux avant de les remplacer. La norme [1, Technical Note #1] recommande de nettoyer les feux à un intervalle de un ou deux ans.

Afin d’améliorer la qualité des mesures sur le terrain, il est recommandé de prendre des mesures le soir, ou du moins lorsque le ciel est sans nuage. En effet, l’intensité lumineuse mesurée sous un ciel avec passages nuageux donne des résultats instables.

La température a une influence sur l’efficacité des DELs puisqu’elles sont plus efficaces par temps froid. La norme indique que les mesures doivent être prises à 25 degrés Celsius, alors que la campagne de tests a été effectuée autour de 1 à 5 degrés Celsius. Plus la température extérieure s’approche de la norme, plus la marge d’erreur sur les résultats devrait être réduite. Il est recommandé de ne pas prendre de mesures sous les 15 degrés Celsius, ni au-delà de 35 degrés Celsius.

Pour plus de précision dans le programme de remplacement des feux, il est conseillé de poursuivre les travaux et de comparer davantage de feux de chaque type pour mieux caractériser l’erreur de mesure. Une étape de caractérisation de l’angle vertical d’installation des feux pourrait être ajoutée à la procédure pour mieux estimer les contributeurs à l’erreur de mesure. De plus, afin d’estimer la durée de vie restante des feux, il faudrait aussi idéalement connaître la date d’installation, un estimé de son temps d’opération et d’étudier périodiquement les résultats de mesure d’intensité afin de créer une base de données.

Enfin, il serait aussi possible de simplifier le temps de mesure des feux à l’aide d’une caméra photographique standard. Le coût d’achat de cette caméra serait beaucoup moins élevé que le coût d’un chromamètre, mais il faudra développer une méthode de calibration de la caméra. Comme la mesure sera alors simple et rapide, il sera possible d’équiper plusieurs équipes, qui feront peu d’erreurs.

ANNEXE 1 – MESURES ET PHOTOS PRISES SUR LE TERRAIN : CHARLESBOURG

Lieu	Québec (Charlesbourg)										
	76e rue - Doucet										
Approche	Nord										
Commentaires	allume sur une base régulière avec le vert clignotant de l'arrivée de l'autoroute										
Par:	Stéphane Melançon										
	Mesures extérieures	**Mesures en laboratoire**									
Date:	26-févr-13	28-févr-13									
Température:	2	21	C								
Angle vertical mesuré au télémètre	-6.68	-6.68	degrés								
Angle horizontal	0	0	degrés								
Distance	35.37	17.5	m								
demi-FOV chromamètre:	0.25	0.5	deg								

Marque	General Electrics										
Modèle	DR6										
Numéro de série	231200173	**C**	**D**	**E**	**F**	**G**	**H**	**I**	**J**	**K**	**L**
76		**Luminance mesurée feu éteint (cd/m²)**	**Luminance mesurée feu allumé (cd/m²)**	**Luminance source allumée-éteinte (cd/m²)**	**Intensité lumineuse mesurée (cd)**	**Intensité lumineuse minimale (cd)**	**Ratio mesure/min**	**Ratio mesure/max absolu**	**Chromaticité X**	**Chromaticité Y**	**Chromaticité selon norme**
	Avant nettoyage	120	1339	1219	91	65	1.40	1.20			
	Après nettoyage	294	2091	1797	134	65	2.07	1.77			
	Après remplacement	714	2397	1683	126	65	1.94	1.66			
	Après remplacement(bis)	725	2424	1699	127	65	1.96	1.67			
	Labo	1.359	2149	2148	157	65	2.42	2.07	0.0892	0.5066	VRAI

Marque	General Electrics										
Modèle	DR6										
Numéro de série	299800027	**C**	**D**	**E**	**F**	**G**	**H**	**I**	**J**	**K**	**L**
146		**Luminance mesurée feu éteint (cd/m²)**	**Luminance mesurée feu allumé (cd/m²)**	**Luminance source allumée-éteinte (cd/m²)**	**Intensité lumineuse mesurée (cd)**	**Intensité lumineuse minimale (cd)**	**Ratio mesure/min**	**Ratio mesure/max absolu**	**Chromaticité X**	**Chromaticité Y**	**Chromaticité selon norme**
	Avant nettoyage	121	2332	2211	165	125	1.32	1.13			
	Après nettoyage	731	3838	3107	232	125	1.86	1.59			
	Après remplacement	425	3660	3235	242	125	1.94	1.66			
	Labo	1.186	2840	2839	208	125	1.66	1.42	0.5796	0.4197	VRAI

		C	**D**	**E**	**F**	**G**	**H**	**I**
475		**Luminance mesurée feu éteint (cd/m²)**	**Luminance mesurée feu allumé (cd/m²)**	**Luminance source allumée-éteinte (cd/m²)**	**Intensité lumineuse mesurée (cd)**	**Intensité lumineuse minimale (cd)**	**Ratio mesure/min**	**Ratio mesure/max absolu**
	Avant nettoyage	780	6247	5467	409	409	1.00	0.86
	Après nettoyage	708	9651	8943	669	409	1.64	1.41
910		**Luminance mesurée feu éteint (cd/m²)**	**Luminance mesurée feu allumé (cd/m²)**	**Luminance source allumée-éteinte (cd/m²)**	**Intensité lumineuse mesurée (cd)**	**Intensité lumineuse minimale (cd)**	**Ratio mesure/min**	**Ratio mesure/max absolu**
	Avant nettoyage	667	9220	8553	640	783	0.82	0.70
	Après nettoyage	678	16624	15946	1193	783	1.52	1.31
365		**Luminance mesurée feu éteint (cd/m²)**	**Luminance mesurée feu allumé (cd/m²)**	**Luminance source allumée-éteinte (cd/m²)**	**Intensité lumineuse mesurée (cd)**	**Intensité lumineuse minimale**	**Ratio mesure/min**	**Ratio mesure/max absolu**
	Avant nettoyage	541	2659	2118	158	314	0.50	0.43
	Après nettoyage	463	4398	3935	294	314	0.94	0.81

73
NORD

50

ANNEXE 2 – MESURES ET PHOTOS PRISES SUR LE TERRAIN : LAC-BEAUPORT

Lieu	Québec (Lac Beauport)										
	Boulevard du Lac - Léo T. Julien										
Approche	Est										
Commentaires	rouge: reste allumé en mode attente-détection jaune: reste éteint en mode attente-détection										
Par:	Stephane Melançon										

	Mesures extérieures	Mesures en laboratoire	
Date:	26-févr-13	28-févr-13	
Température:	1.8 à 2.8	21	C
Angle vertical mesuré au télémètre JAUNE	-4.03	-6.68	degrés
Angle vertical mesuré au télémètre ROUGE	-4.63	-4.63	degrés
Angle horizontal	0	0	degrés
Distance JAUNE	38.88	17.98	m
Distance ROUGE	38.88	17.5	m
demi-FOV chromamètre:	0.25	0.5	deg

Marque General Electric
Modèle DR6
Numéro de série 229660085

910		C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
		Luminance mesurée feu éteint (cd/m²)	Luminance mesurée feu allumé (cd/m²)	Luminance source allumée-éteinte (cd/m²)	Intensité lumineuse mesurée (cd)	Intensité lumineuse minimale (cd)	Ratio mesure/min	Ratio mesure/max absolu	Chromaticité X	Chromaticité Y	Chromaticité selon norme
	Avant nettoyage	274	12238	11964	1082	892	1.21	1.19			
	Après nettoyage	350	14300	13950	1261	892	1.41	1.39			
	Après remplacement	540	13378	12837	1161	892	1.30	1.28			
	Labo	0.9	11900	11899	920	892	1.03	1.01	0.5892	0.4102	FAUX

Marque General Electric
Modèle DR6
Numéro de série 158050044

365		C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
		Luminance mesurée feu éteint (cd/m²)	Luminance mesurée feu allumé (cd/m²)	Luminance source allumée-éteinte (cd/m²)	Intensité lumineuse mesurée (cd)	Intensité lumineuse minimale (cd)	Ratio mesure/min	Ratio mesure/max absolu	Chromaticité X	Chromaticité Y	Chromaticité selon norme
	Avant nettoyage	318	7560	7243	655	354	1.85	1.79			
	Après nettoyage	291	8495	8204	742	354	2.10	2.03			
	Après remplacement	288	8671	8383	758	354	2.14	2.08			
	Labo	0.9891	9375	9374	687	354	1.94	1.88	0.707	0.2929	VRAI

ANNEXE 3 – MESURES ET PHOTOS PRISES SUR LE TERRAIN : BOISCHATEL

Lieu	Boischatel										
	Route 138 (Ste-Anne) - Dugal										
Approche	Nord										
Commentaires	Vert: reste éteint en mode attente-détection Rouge: reste allumé en mode attente-détection										
Par:	Stephane Melançon										
	Mesures extérieures	**Mesures en laboratoire**									
Date:	26-févr-13	28-févr-13									
Température:	3.8 à 4.6	21	C								
Angle vertical mesuré au télémètre ROUGE	-6.83	-6.83	degrés								
Angle vertical mesuré au télémètre VERT	-6.83	-6.68	degrés								
Angle horizontal	0	0	degrés								
Distance	39.542	17.5	m								
demi-FOV chromamètre:	0.25	0.5	deg								

Marque	EXYR Technologies INC										
Modèle	TL12: SR										
Numéro de série	TC12SR.450610.11899946	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
365		**Luminance mesurée feu éteint (cd/m²)**	**Luminance mesurée feu allumé (cd/m²)**	**Luminance source allumée-éteinte (cd/m²)**	**Intensité lumineuse mesurée (cd)**	**Intensité lumineuse minimale (cd)**	**Ratio mesure/min**	**Ratio mesure/max absolu**	**Chromaticité X**	**Chromaticité Y**	**Chromaticité selon norme**
	Avant nettoyage	467	5546	5079	475	310	1.53	1.30			
	Après nettoyage	454	7027	6573	615	310	1.98	1.68			
	Après remplacement	247	9089	8792	822	310	2.65	2.25			
	Labo	4.45	7714	7710	565	310	1.82	1.55	0.6944	0.3053	VRAI

Marque	General Electric										
Modèle	DR6										
Numéro de série	248020138	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
475		**Luminance mesurée feu éteint (cd/m²)**	**Luminance mesurée feu allumé (cd/m²)**	**Luminance source allumée-éteinte (cd/m²)**	**Intensité lumineuse mesurée (cd)**	**Intensité lumineuse minimale (cd)**	**Ratio mesure/min**	**Ratio mesure/max absolu**	**Chromaticité X**	**Chromaticité Y**	**Chromaticité selon norme**
	Avant nettoyage	285	5883	5598	524	404	1.30	1.10			
	Après nettoyage	340	8128	7788	728	404	1.80	1.53			
	Après remplacement	282	12745	12463	1166	404	2.89	2.45			
	Labo	1.399	11146	11145	817	409	2.00	1.72	0.0757	0.5309	VRAI

www.ino.ca

ANNEXE 4 – MESURES ET PHOTOS PRISES SUR LE TERRAIN : PINTENTRE

Lieu	Lévis (Pintendre)										
	Route 173-Harlaka										
Approche	Est										
Commentaires	Rouge: celui de gauche, reste allumé en mode attente-détection Vert: reste éteint en mode attente-détection										
Par:	Stephane Melançon										

	Mesures extérieures	Mesures en laboratoire	
Date:	27-févr-13	28-févr-13	
Température:	0.8	21	C
Angle vertical mesuré au télémètre	-5.38	-5.38	degrés
Angle horizontal	0	0	degrés
Distance	34.99	17.5	m
demi-FOV chromamètre:	0.25	0.5	deg

Marque	General Electric										
Modèle	DR12RA3										
Numéro de série	640940	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
365		Luminance mesurée feu éteint (cd/m2)	Luminance mesurée feu allumé (cd/m2)	Luminance source allumée-éteinte (cd/m2)	Intensité lumineuse mesurée (cd)	Intensité lumineuse minimale (cd)	Ratio mesure/min	Ratio mesure/max absolu	Chromaticité X	Chromaticité Y	Chromaticité selon norme
	Avant nettoyage	291	7949	7658	561	343	1.64	1.54			
	Après nettoyage	299	8518	8218	602	343	1.75	1.65			
	Après remplacement	335	12020	11685	856	343	2.49	2.34			
	Labo	0.9728	8890	8889	651	343	1.90	1.78	0.7017	0.2982	VRAI

Marque	General Electric										
Modèle	DR6										
Numéro de série	282470025	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
475		Luminance mesurée feu éteint (cd/m2)	Luminance mesurée feu allumé (cd/m2)	Luminance source allumée-éteinte (cd/m2)	Intensité lumineuse mesurée (cd)	Intensité lumineuse minimale (cd)	Ratio mesure/min	Ratio mesure/max absolu	Chromaticité X	Chromaticité Y	Chromaticité selon norme
	Avant nettoyage	452	8943	8491	622	447	1.39	1.31			
	Après nettoyage	492	10428	9936	728	447	1.63	1.53			
	Après remplacement	540	16178	15638	1145	447	2.56	2.41			
	Labo	1.373	11702	11701	857	447	1.92	1.80	0.0841	0.5758	VRAI

ANNEXE 5 – MESURES ET PHOTOS PRISES SUR LE TERRAIN : SILLERY (CÔTE GILMOUR)

Lieu	Québec (Sillery)										
	Boulevard Champlain-Gilmore										
Approche	Ouest										
Commentaires	Rouge: celui de droite reste allumé 4 à 5 mois par année Flèche verte virage à gauche										
Par:	Stephane Melançon										
	Mesures extérieures	**Mesures en laboratoire**									
Date:	27-févr-13	28-févr-13									
Température:	2.2	21	C								
Angle vertical mesuré au télémètre	-8.43	-8.43	degrés								
Angle horizontal	1.70	1.64	degrés								
Distance	33.632	17.5	m								
demi-FOV chromamètre:	0.25	0.5	deg								

Marque	General Electric										
Modèle	DS6										
Numéro de série	141990146	**C**	**D**	**E**	**F**	**G**	**H**	**I**	**J**	**K**	**L**
365		**Luminance mesurée feu éteint (cd/m²)**	**Luminance mesurée feu allumé (cd/m²)**	**Luminance source allumée-éteinte (cd/m²)**	**Intensité lumineuse mesurée (cd)**	**Intensité lumineuse minimale (cd)**	**Ratio mesure/min**	**Ratio mesure/max absolu**	**Chromaticité X**	**Chromaticité Y**	**Chromaticité selon norme**
	Avant nettoyage	324	5848	5525	374	252	1.48	1.02			
	Après nettoyage	381	7600	7220	488	252	1.94	1.34			
	Après remplacement	335	12577	12242	828	252	3.29	2.27			
	Labo	0.9131	7395	7394	542	252	2.15	1.48	0.7046	0.2953	VRAI

Marque	General Electric										
Modèle	DR6										
Numéro de série	248340088	**C**	**D**	**E**	**F**	**G**	**H**	**I**	**J**	**K**	**L**
76		**Luminance mesurée feu éteint (cd/m²)**	**Luminance mesurée feu allumé (cd/m²)**	**Luminance source allumée-éteinte (cd/m²)**	**Intensité lumineuse mesurée (cd)**	**Intensité lumineuse minimale (cd)**	**Ratio mesure/min**	**Ratio mesure/max absolu**	**Chromaticité X**	**Chromaticité Y**	**Chromaticité selon norme**
	Avant nettoyage	373	1711	1338	91	52	1.74	1.19			
	Après nettoyage	372	2483	2111	143	52	2.75	1.88			
	Après remplacement	197	2077	1880	127	52	2.45	1.67			
	Labo	1.054	2312	2311	169	52	3.26	2.23	0.0857	0.5097	VRAI

Canada